

Dott. Marco Sala
GEOLOGO



COMUNE DI PINAROLO PO

Provincia di Pavia

**COSTRUZIONE CAPANNONE IN C.A.P. PER RICOVERO ATTREZZI AGRICOLI
IN PINAROLO PO – VIA CÀ DEI GIORGI - C.na CAPSONA**

RELAZIONE GEOLOGICA e SISMICA

Committente:

Sig.
Remigio FORNI

Dott. Marco Sala
GEOLOGO
GEOLOGIA APPLICATA E AMBIENTALE - GEOTECNICA
Via Della Maiolica n.4 – 27057 Varzi (PV)
Tel. 340.5417043 – E-mail geol.marco.sala@gmail.com
PEC marco.sala@pec.epap.it
Ordine dei Geologi della Lombardia n.1574 AP
C.F. SLA MRC 83C01 F205S – P.IVA 02488590189

Redatto da:



Varzi (PV), ottobre 2024

INDICE

1.0 Premessa.....	pag. 3
1.1 Normativa di riferimento.....>>	4
2.0 Stato di fatto.....>>	5
3.0 Inquadramento geologico-geomorfologico.....>>	6
4.0 Inquadramento idrologico-idrogeologico.....>>	8
4.1 Reticolo idrografico superficiale.....>>	8
4.2 Assetto idrogeologico.....>>	8
4.2.1 Caratteri idrogeologici generali.....>>	8
4.2.2 Caratteri idrogeologici locali.....>>	10
5.0 Fattibilità - Vincoli Geologici, Idrogeologici e Idraulici.....>>	12
6.0 Indagini geognostiche.....>>	15
6.1 Prove penetrometriche.....>>	16
7.0 Caratterizzazione litostratigrafica.....>>	17
8.0 Caratterizzazione geotecnica.....>>	19
9.0 Caratterizzazione sismica.....>>	21
9.1 Caratteristiche macrosismiche dell'area.....>>	21
9.1.1 Pericolosità Sismica Locale.....>>	22
9.2 Definizione della pericolosità sismica di base.....>>	23
9.3 Categoria di sottosuolo e categoria topografica.....>>	24
9.4 Parametri sismici di riferimento.....>>	25
10.0 Valutazione del potenziale di liquefazione.....>>	28
11.0 Osservazioni – Prescrizioni.....>>	30
11.1 Fondazioni.....>>	30
11.2 Gestione delle acque.....>>	33
12.0 Terre e Rocce da scavo.....>>	34

ALLEGATI

- Allegato 1 - Corografia generale con ubicazione area in esame
- Allegato 2 - Planimetria generale con ubicazione punti di indagine
- Allegato 3 - Grafici prove penetrometriche
- Allegato 4 - Documentazione fotografica

1.0 Premessa

La presente relazione, redatta per conto del Sig. Remigio Forni, costituisce il supporto geologico-tecnico e sismico preliminare alla progettazione dei lavori per la realizzazione di un nuovo capannone agricolo su un terreno sito presso le esistenti strutture aziendali di proprietà in Comune di Pinarolo Po (PV), via Cà dei Giorgi, Cascina Capsona.

Lo studio è finalizzato alla definizione delle caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area e dell'assetto litostratigrafico e geotecnico nonché alla caratterizzazione sismica dei terreni di imposta della struttura in progetto; in particolare lo scopo dell'indagine è quello di fornire al Progettista utili indicazioni fra le possibili tipologie fondazionali, in funzione dei carichi di esercizio e delle effettive condizioni litostratigrafiche del volume significativo di terreno interessato dalle opere. Per tale scopo, oltre che tramite un rilievo morfologico e geologico dell'area, l'acquisizione diretta dei dati di campagna è avvenuta attraverso specifiche prospezioni geognostiche rappresentate da n.2 prove penetrometriche di tipo statico C.P.T., eseguite in data 28 settembre 2024. I dati raccolti sono stati integrati con quelli esistenti, derivanti da studi pregressi nella medesima zona ed in zone limitrofe, dalla letteratura di riferimento e dalla cartografia tecnica ufficiale.

Pertanto, considerando gli obiettivi sopra esposti, l'indagine si è articolata attraverso la successione delle seguenti fasi:

- esame dei dati geologici ed idrogeologici pregressi della zona, disponibili tramite bibliografia;
- rilevamento morfologico-geologico-idrologico speditivo dell'area e del suo relativo intorno;
- esecuzione delle prospezioni geognostiche in situ (C.P.T.);
- caratterizzazione sismica del sito;
- ricostruzione dell'assetto litostratigrafico e caratterizzazione geologico-tecnica dei terreni di fondazione con la definizione dei principali parametri geotecnici caratteristici;
- valutazione delle scelte fondazionali in relazione alle possibili interazioni tra terreno e sovrastruttura.

1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Lo studio è stato condotto in accordo con quanto previsto dalla normativa vigente:

- D.M. LL.PP. 11.03.88 *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”*;
- D.M. LL.PP. 17.01.18 *“Norme tecniche per le costruzioni – Testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni, di cui alla legge 5 novembre 1971, n.1086, alla legge 2 febbraio 1974, n.64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n.380, ed al decreto-legge 28 maggio 2004, n.136, convertito con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n.186”*;
- Circolare n.7 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 21.01.19 *“Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018”*;
- Eurocodice 7 *“Progettazione geotecnica – parte I: Regole Generali (1997) – parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) – parte III: progettazione assistita con prove in sito (2002)”*;
- Eurocodice 8 (1998) *“Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture – parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”*;
- O.P.C.M. n.3519 28.04.06 *“Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”*;
- Allegato al voto n.36 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici 27.07.07 *“Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale”*;
- D.G.R. n. IX/2616 30.11.2011 *“Aggiornamento dei ‘Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12’, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n.8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n.8/7374”*, pubblicata sul BURL n.50 Serie ordinaria del 15 dicembre 2012;
- D.P.R. n.120 13.06.2017 *“Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell’articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n.133, convertito, con modificazioni, della legge 11 novembre 2014, n.164”*;
- P.G.T. (Piano di Governo del Territorio) del Comune di Pinarolo Po *“Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica”* - Prof. Geol. Pier Luigi Vercesi, luglio 2010.

2.0 Stato di fatto e descrizione dell'intervento

L'area in esame è situata nella estrema porzione nord-orientale del territorio comunale di Pinarolo (fig. 1) in un ambito prettamente caratterizzato da attività agricole solo localmente interessato da insediamenti di carattere rurale; essa è catastalmente individuata dal Mappale n.251 del Foglio n.2 del Comune di Pinarolo Po. In corrispondenza dell'area insistono le esistenti strutture di proprietà.

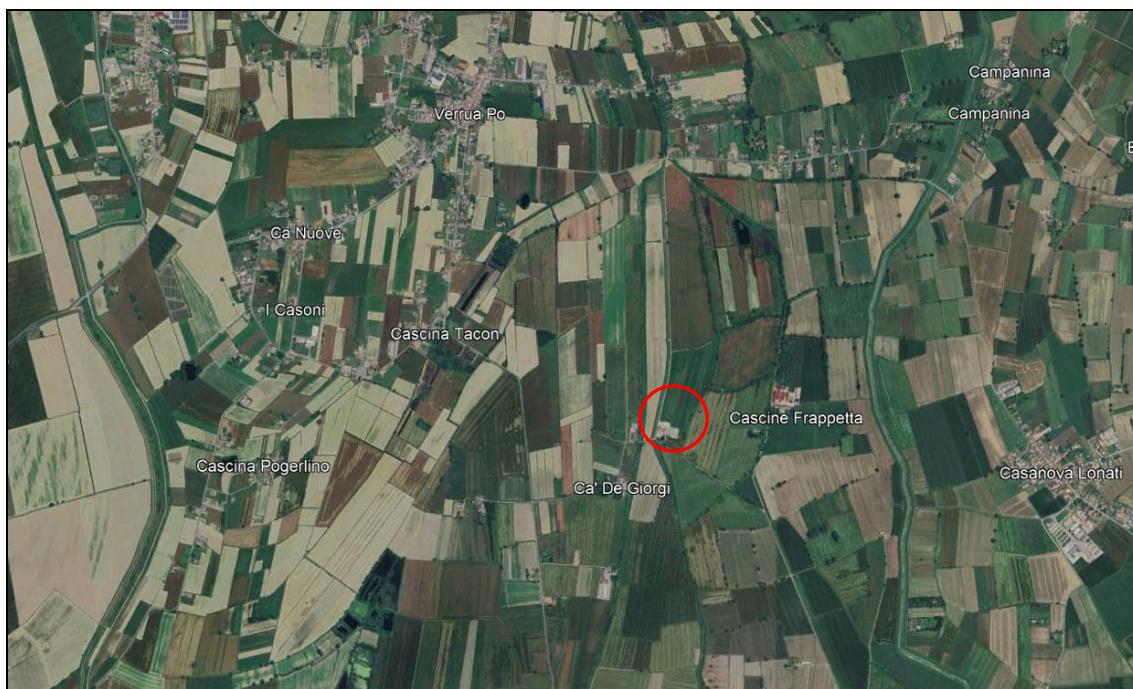


Figura 1: Foto satellitare con ubicazione area in esame (Google Earth).

Il progetto prevede la realizzazione, nella porzione di sedime posta a Nord/Nord-Est rispetto agli esistenti fabbricati, di un nuovo capannone agricolo in c.a.p. con pianta rettangolare con dimensioni planimetriche di mq 40.0 x 20.0 circa ed elevazione analoga agli esistenti fabbricati di analoga tipologia, da adibire a ricovero attrezzi agricoli.

3.0 Inquadramento geologico-geomorfologico

L'area è inserita nel contesto della zona penepianeggiante facente parte della pianura Pavese a Sud del fiume Po il quale scorre a poco meno di 4 chilometri in direzione Nord-Ovest dalla stessa. Il territorio in esame presenta debole pendenza (2%) verso Nord e risulta costituito dai sedimenti prevalentemente terrigeni Plio-pleistocenici che hanno colmato, per effetto dell'erosione della catena alpina ed appenninica, il Paleobacino Padano. Nello specifico l'assetto morfologico dell'area è tabulare con quota di circa 62 metri s.l.m..

La successione stratigrafica del sottosuolo è rappresentata dai sedimenti appartenenti al sistema deposizionale plio-pleistocenico padano i cui termini basali (Pliocene-Pleistocene inf.), di origine marina, sono complessivamente costituiti da marne argillo-siltose e da argille siltose. Tali depositi, reperibili a profondità elevate, risultano dal punto di vista strutturale essere interessati, non lontano dalla fascia in esame, da faglie dirette ed inverse sepolte con orientamento circa Nord-Est/Sud-Ovest.

Su di essi poggia la sequenza continentale (Pleistocene medio sup. - Olocene) formata dalla successione "Villafranchiana", costituita da depositi ambiente palustre-lacustre a bassa energia, litologicamente caratterizzati da un complesso limoso argilloso intercalato da ricorrenti livelli sabbiosi (Braga, Cerro e Pilla, 1998) e dal "materasso alluvionale", rappresentato da depositi di origine fluviale e fluvioglaciale (Pleistocene medio-superiore) per lo più costituiti da ghiaie e sabbie, a cui si intercalano orizzonti limosi e argillosi.

Sulla copertura alluvionale, che rappresenta l'ultima fase della sedimentazione nel bacino Padano, è impostato il Ripiano Fondamentale della Pianura sul quale hanno poi agito i corsi d'acqua incidendone i depositi e modellandone la superficie. Le azioni erosive perpetrate principalmente dal F.Po ed in subordine dai corsi d'acqua minori come il Riale Verzate ed il torrente Scuropasso, hanno prodotto più o meno marcate incisioni testimoniate dalle scarpate di raccordo fra tardoglaciale würmiano ed Olocene.

Il contesto geologico di pertinenza è stato desunto dalla Carta Geologica d'Italia – Foglio 59 – PAVIA, scala 1:100.000 (fig. 2): l'area si colloca sulle “Alluvioni sul fondo delle incisioni fluviali - Q_{2r} ”. Litologicamente si tratta di depositi alluvionali quaternari di età pleistocenica (Diluvium) rappresentati dal punto di vista granulometrico da terreni essenzialmente fini in superficie (argille, limi, sabbie fini) e localmente grossolani in profondità (sabbie, ghiaie).

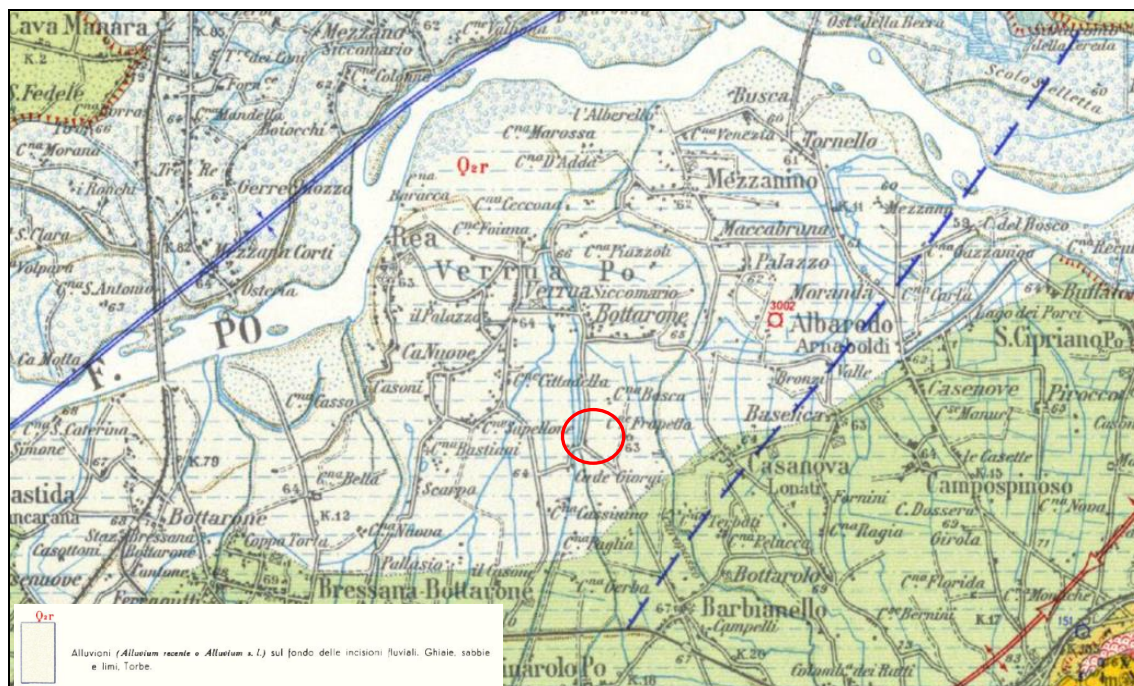


Figura 2: Estratto Carta Geologica d'Italia 1:100.000 - Foglio 59 Pavia.

A causa delle modalità di formazione dei depositi descritti, è comune osservare una locale variazione delle granulometrie, in senso sia verticale che orizzontale. A ciò si aggiungono le variazioni di origine antropica che hanno alterato l'assetto stratigrafico originario, almeno nei livelli più superficiali.

I descritti depositi sono a loro volta posti a copertura di un substrato di origine marina che come già descritto si rileva a profondità elevate ed è costituito da rocce marnoso-siltose, appartenenti alla serie del Bacino Oltrepadano ed affiorante in corrispondenza dei primi rilievi collinari appenninici localizzati a circa 10 chilometri verso Sud/Sud-Est.

4.0 Inquadramento idrologico-idrogeologico

4.1 RETICOLO IDROGRAFICO SUPERFICIALE

In relazione all'idrografia di superficie a grande scala l'elemento principale è ovviamente rappresentato dal Fiume Po il cui alveo attivo scorre, con andamento relativamente rettilineo Sud-Ovest/Nord-Est, a circa 3.8 chilometri a Nord-Ovest rispetto all'area in esame. In riferimento alle fasce fluviali relative alla cartografia P.A.I., l'area in esame ricade all'interno della fascia C - area di inondazione per piena catastrofica, per la quale valgono le disposizioni di cui all'articolo 31 delle Norme di Attuazione (vedi successivo capitolo 5.0)

Più nel dettaglio l'area in esame ricade nella porzione di territorio compresa tra il Riale Verzate ed il torrente Scuropasso, che scorrono con andamento più o meno rettilineo rispettivamente a poco meno di 150 metri in direzione Ovest ed a circa 1 chilometro in direzione Est dalla stessa; tale porzione di pianura risulta caratterizzata dalla presenza di una fitta rete di rogge e canalizzazioni ad uso agricolo irriguo asservite alla produzione in particolare di mais e grano; tra queste si segnalano la Roggia Coppella ed il Fosso Barbianello che scorrono rispettivamente a circa 80 metri in direzione Ovest ed a circa 450 metri ad Est dall'area in esame, oltre ad una serie di fossi e rogge minori.

4.2 ASSETTO IDROGEOLOGICO

4.2.1 Caratteri idrogeologici generali

Sulla base dei dati riscontrati in bibliografia, in questa porzione di pianura il sottosuolo risulta costituito da sedimenti che appartengono al sistema deposizionale continentale-padano, il quale, sostenuto di sedimenti di origine marina (marne argilloso-limose), è articolato in due sequenze litostratigrafiche principali sovrapposte e di origine continentale, quella inferiore del Villafranchiano e quella superiore alluvionale pleistocenica.

La prima, di origine palustre-lacustre, è litologicamente costituita da un complesso limo-argilloso, al cui interno si osservano spesso livelli sabbiosi, mentre la seconda comprende sedimenti depositatisi in ambiente fluviale (Pleistocene medio-superiore), costituiti soprattutto da ghiaie e sabbie, intercalate ad orizzonti limosi e argillosi. Lungo le principali incisioni fluviali si rinvencono infine orizzonti di spessore decisamente inferiore ai precedenti, sempre di natura continentale formati da ghiaie, sabbie e limi dal modesto sviluppo verticale (alluvioni antiche e recenti oloceniche).

Dal punto di vista idrogeologico l'intera sequenza deposizionale descritta può essere suddivisa in tre unità principali:

- materasso alluvionale;
- successione villafranchiana;
- basamento sedimentario marino.

La prima unità è sede dei serbatoi idrici di maggiore importanza, sia per la loro estensione che per la loro elevata trasmissività ed in genere all'interno di essa è possibile distinguere una falda freatica, caratterizzata da una soggiacenza soggetta a sensibili variazioni stagionali e che può, come nel caso della zona in esame, attestarsi anche a pochi metri dal piano campagna, e diversi acquiferi più profondi che ospitano falde con un regime di artesianità. Più nel dettaglio la porzione superficiale del materasso alluvionale è caratterizzata dalla prevalenza di litotipi sabbiosi, con locali intercalazioni di lenti argilloso-limose le quali permettono la formazione di orizzonti freatici sospesi che, in funzione dei locali assetti litostratigrafici, si posizionano a profondità varie, spesso anche a pochi metri dal piano campagna. Tali orizzonti sospesi traggono la propria alimentazione dalla locale infiltrazione superficiale (acque di precipitazione meteorica ed acque irrigue) ed hanno generalmente un flusso diretto verso meridione, anche che localmente esso risulta condizionato dalla presenza delle principali incisioni fluviali che svolgono funzione drenante. Più in profondità è presente una sequenza di depositi sabbiosi con locali livelli ghiaiosi la quale ospita un acquifero a pelo libero (falda freatica di "fondo") di notevole importanza sia per il suo spessore che per la sua estensione areale; tale sequenza poggia su un orizzonte impermeabile continuo costituito da sedimenti argillosi compatti. A profondità comprese tra 30 metri circa e 100 metri circa si rinvencono almeno quattro acquiferi artesiani di potenza anche pluridecаметrica e caratterizzati da una buona continuità laterale.

La sottostante unità del Villafranchiano è arealmente meno estesa, ma ha grande sviluppo verticale ed è sede di un secondo serbatoio idrico separato da quello ospitato nei depositi alluvionali da una potente sequenza argillosa ed argilloso-limosa. Qui gli acquiferi sono contraddistinti da un regime idrodinamico artesiano i quali possiedono un moto di movimento delle acque fortemente condizionato dalle strutture sepolte modellate sul basamento marino; quest'ultima unità risulta caratterizzata da un comportamento pressoché impermeabile.

4.2.2 Caratteri idrogeologici locali

Dal punto di vista idrogeologico locale, l'area in esame risulta caratterizzata dalla presenza di una prima falda freatica sita a profondità di ordine plurimetrico dal piano campagna, come già espresso regolata principalmente dagli afflussi meteorici stagionali e dalle pratiche agricole irrigue nelle campagne circostanti l'abitato di Pinarolo Po. Nella carta di *Inquadramento Idrogeologico* allegata allo Studio Geologico a supporto del P.G.T. comunale e redatta dal Prof. Geol. Pier Luigi Vercesi, luglio 2010 (fig. 3), la soggiacenza della falda in corrispondenza dell'area è segnalata ad una quota di circa 59 metri s.l.m., corrispondente a profondità di circa 3 metri dal piano campagna.

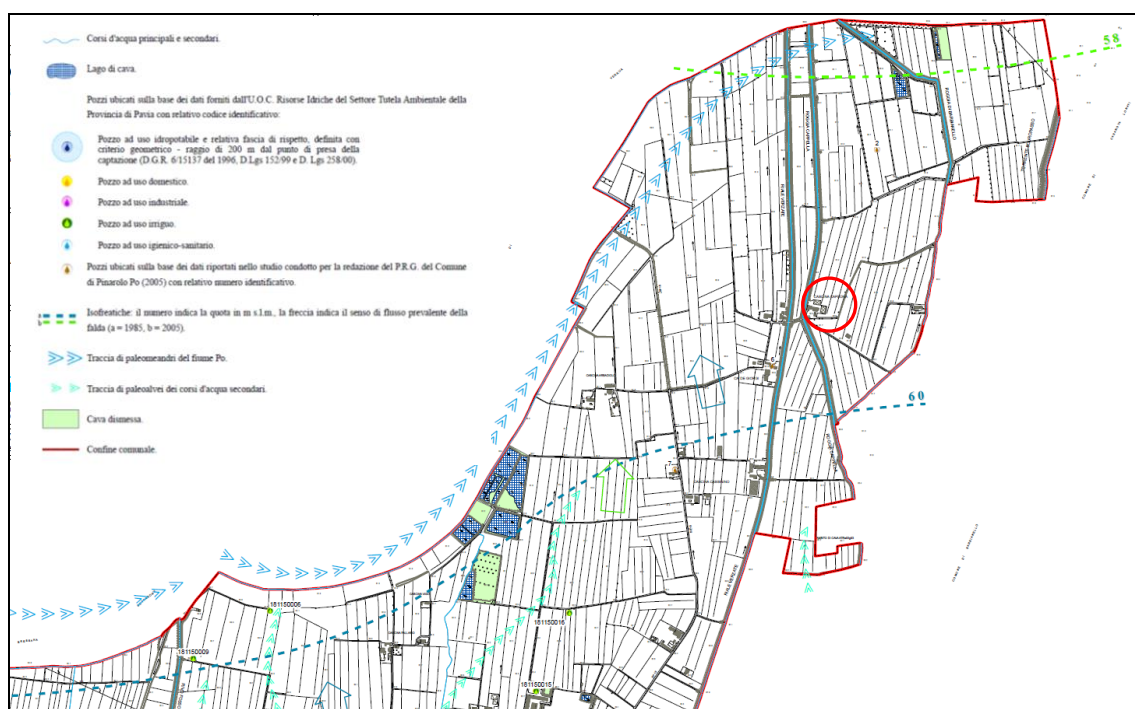


Figura 3: Estratto della carta di *Inquadramento Idrogeologico* (P.G.T. Comune di Pinarolo Po).

Tale livello è suscettibile di variazioni anche significative ed in riferimento ad esso, come indicato nella Relazione Geologica contenuta nello studio a supporto del P.G.T. comunale *“si ritiene logico porre la falda freatica ad una profondità superiore a 5m rispetto al piano campagna; tuttavia, il possibile instaurarsi di locali falde sospese nei livelli porosi sconsiglia, come già menzionato, la realizzazione di scantinati e piani interrati senza opportuni accorgimenti progettuali atti all'impermeabilizzare e alla salvaguardia dei fabbricati”*.

A tal proposito durante l'esecuzione delle indagini in sito (settembre 2024) è stata rilevata indirettamente presenza di acqua in corrispondenza di entrambi i fori di prova, a quote di circa -5.0/-6.0m dall'attuale piano campagna.

La falda principale risulta invece presente a profondità di ordine decametrico e risulta ospitata in un acquifero sigillato rispetto a quello soprastante da un livello di *“argille limose grigie estremamente plastiche nella parte superiore e via via più ricche di frazione limoso-sabbiosa verso il basso; si tratta di un orizzonte litologico relativamente continuo e a permeabilità estremamente bassa ($k < 10^{-8}$ m/s)”*.

5.0 Fattibilità – Vincoli Geologici, Idrogeologici ed Idraulici

L'area in esame ricade entro aree sottoposte a vincoli di carattere idrogeologico, come riportato nella cartografia geologico-tecnica di riferimento. In particolare nella *Carta dei Vincoli* (fig. 3) pertinente lo Studio Geologico a supporto del P.G.T. comunale (Prof. Geol. Pier Luigi Vercesi, luglio 2010 – fig. 4) il sedime ricade in ricade sia nella Fascia C del P.A.I. che comprende le “Aree di inondazione per piena catastrofica” in cui è competenza degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica la regolamentazione delle attività consentite, dei limiti e dei divieti, sia nelle “Aree di tutela di fiumi, torrenti e corsi d'acqua pubblici (A) e relative sponde o piede degli argini per una fascia di 150 metri (B) ai sensi del D.Lgs 22 gennaio 2004, n.42 art. 142, lettera c)”, in riferimento al vicino Rile Verzate.

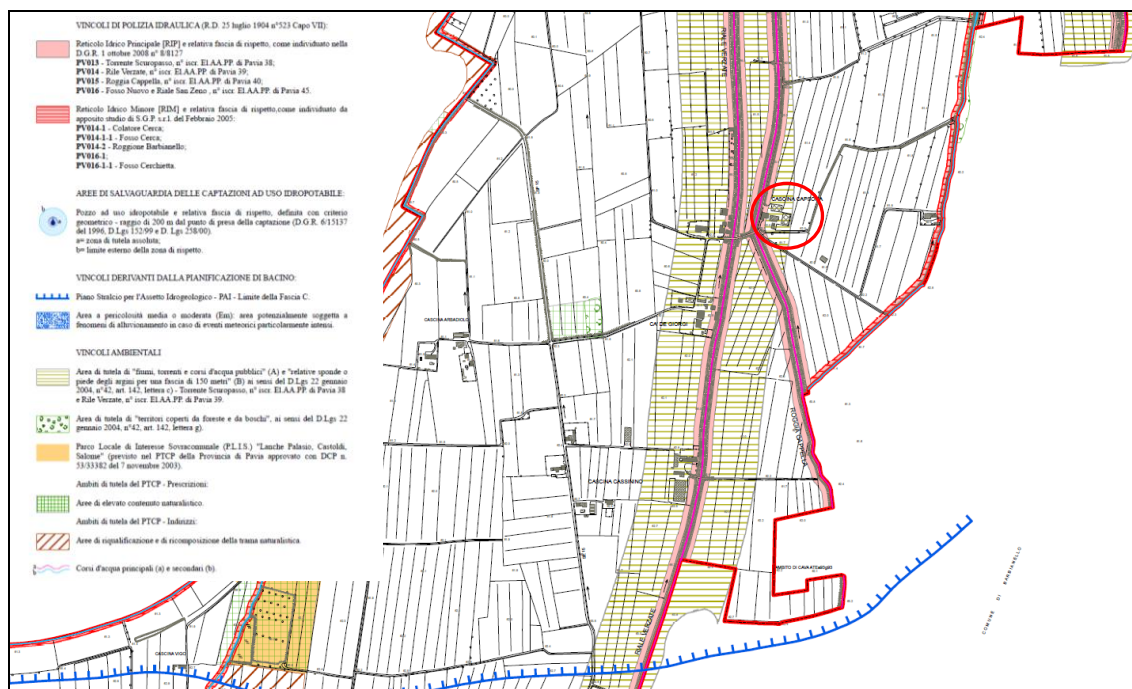


Figura 4: Estratto *Carta dei Vincoli* (P.G.T. Comune di Pinarolo Po).

Allo stesso modo nella cartografia *P.G.R.A.-Po* (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po), redatta in riferimento al D.Lgs. n.49 del 23.02.2010 ed attuativo della Direttiva Europea 2007/60/CE, revisione 2022 (fig. 5) il sedime risulta incluso nelle aree allagabili con scenario di pericolosità PL-M (raro) “aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti” e nelle aree a rischio R1.

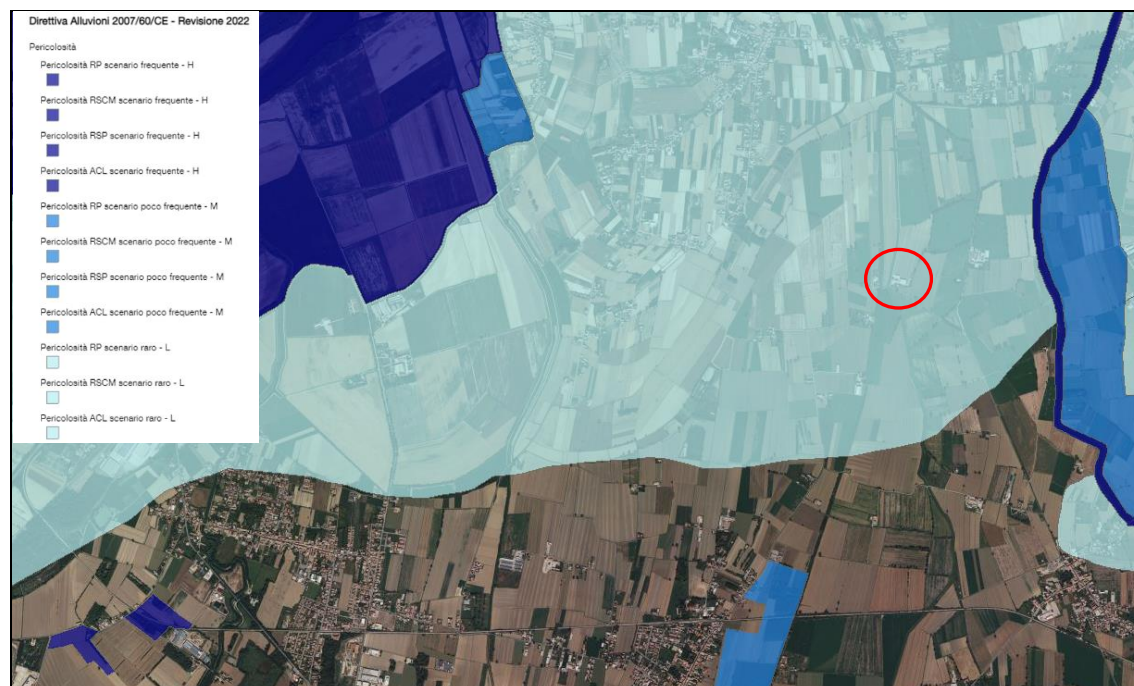


Figura 5: Estratto cartografia del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Po (Geoportale della Lombardia).

Tali aree presentano una scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (L = low) e possono pertanto essere interessate da alluvioni rare con tempo di ritorno maggiore di 500 anni, o massimo storico registrato (raro); il livello di rischio associato all'area in esame risulta R1 – basso ed in tali aree si applicano le disposizioni previste per la fascia C di cui all'art. 30 delle N.d.A. del P.A.I., di seguito integralmente riportate:

1. *Nella Fascia C il Piano persegue l'obiettivo di integrare il livello di sicurezza alle popolazioni, mediante la predisposizione prioritaria da parte degli Enti competenti ai sensi della L. 24 febbraio 1992, n. 225 e quindi da parte delle Regioni o delle Province, di Programmi di previsione e prevenzione, tenuto conto delle ipotesi di rischio derivanti dalle indicazioni del presente Piano.*
2. *I Programmi di previsione e prevenzione e i Piani di emergenza per la difesa delle popolazioni e del loro territorio, investono anche i territori individuati come Fascia A e Fascia B.*
3. *In relazione all'art. 13 della L. 24 febbraio 1992, n. 225, è affidato alle Province, sulla base delle competenze ad esse attribuite dagli artt. 14 e 15 della L. 8 giugno 1990, n. 142, di assicurare lo svolgimento dei compiti relativi alla rilevazione, alla raccolta e alla elaborazione dei dati interessanti la protezione civile, nonché alla realizzazione dei Programmi di previsione e prevenzione sopra menzionati. Gli organi tecnici dell'Autorità di bacino e delle Regioni si pongono come struttura di servizio nell'ambito delle proprie competenze, a favore delle Province interessate per le finalità ora menzionate. Le Regioni e le Province, nell'ambito delle rispettive competenze, curano ogni opportuno raccordo con i Comuni interessati per territorio per la stesura dei piani comunali di protezione civile, con riferimento all'art. 15 della L. 24 febbraio 1992, n. 225.*

Nella *Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano* (fig. 6) l'area in esame è classificata nella Classe 2 di Fattibilità Geologica, *"fattibilità con modeste limitazioni"*.

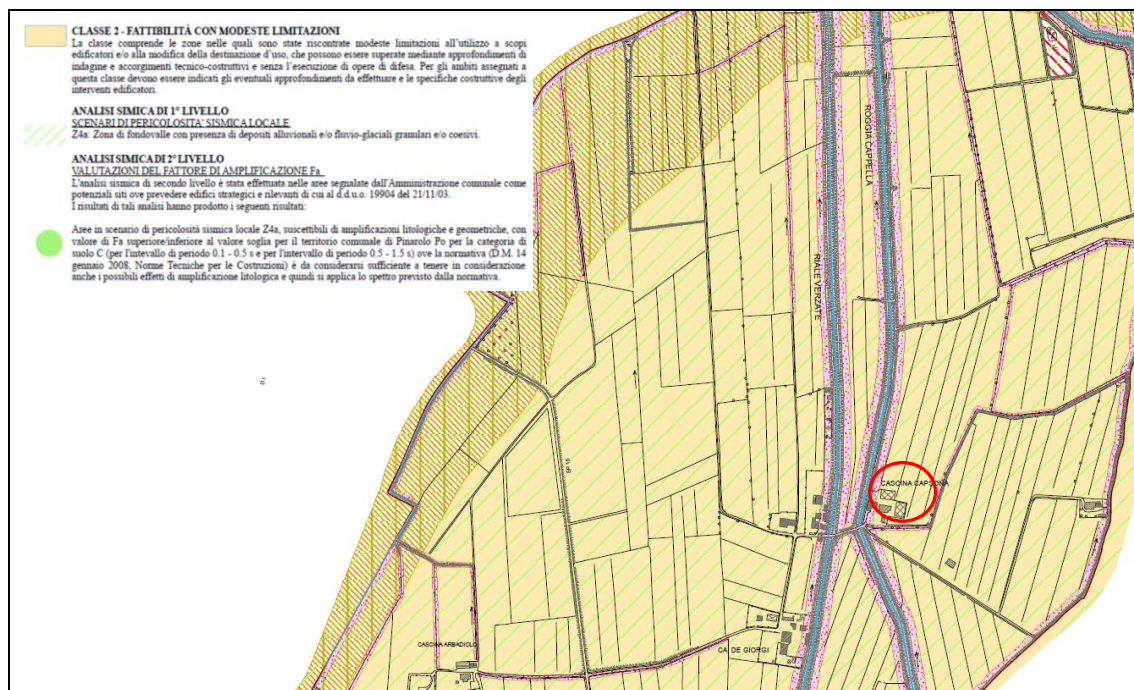


Figura 6: Estratto Carta di Fattibilità Geologica (P.G.T. Comune di Pinarolo Po).

In tale classe, che comprende le *"aree caratterizzate dalla locale presenza di orizzonti argillosi, argillo-sabbiosi e argillo-limosi con caratteristiche geotecniche potenzialmente scadenti e dove localmente la soggiacenza della falda acquifera è ridotta per la locale presenza di lenti sabbiose confinate negli strati argillosi che determinano l'instaurarsi di un regime a falde sospese, [...] le analisi geologiche da esperire ai fini di ottemperare al D.M. 14/01/2008 dovranno essere, in particolare, finalizzate alla definizione della profondità del piano di posa delle fondazioni e delle caratteristiche geotecniche del substrato per consentire il corretto dimensionamento delle strutture fondazionali."*

A tal proposito, sulla base di quanto sopra espresso, dal punto di vista della fattibilità geologica, l'area è giudicata idonea ad accogliere l'intervento edificatorio, fatte salve le prescrizioni di carattere geologico-geotecnico che verranno indicate nei paragrafi successivi, sulla base dei dati attualmente disponibili e delle verifiche puntuali svolte tramite le indagini geognostiche realizzate in sito.

6.0 Indagini geognostiche

Il programma di indagine si è così articolato:

- n.2 prove penetrometriche statiche C.P.T (Cone Penetration Test), spinte a profondità di rifiuto rispettivamente di -7.40m (P1) e -7.80m (P2) dall'attuale piano campagna.

Di seguito si riporta la planimetria generale con l'ubicazione delle indagini (fig. 7) e successivamente se ne illustrano i dettagli e le modalità esecutive.

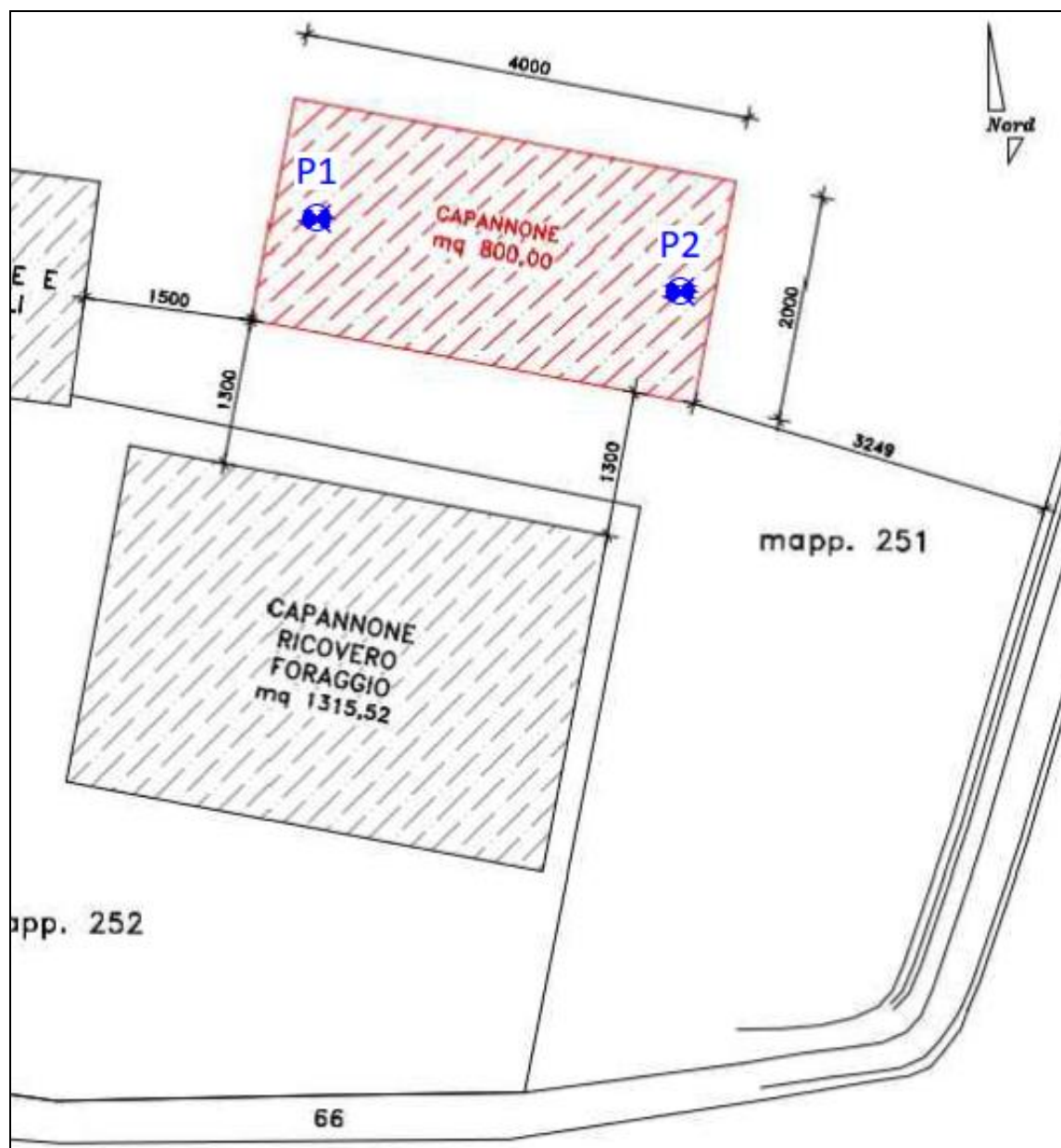


Figura 7: Planimetria generale con ubicazione dei punti di indagine.

6.1 PROVE PENETROMETRICHE

Per l'acquisizione dei dati è stato impiegato un penetrometro semovente statico-dinamico PAGANI modello TG 63-200, dotato di opportuni elicoidi di ancoraggio e punta meccanica Begemann per le prove statiche e di sgancio automatico per le prove dinamiche.

L'esecuzione delle prove statiche ha comportato la verifica ad intervalli regolari di 20 cm della resistenza in Kg/cm² opposta dal terreno all'avanzamento dell'apposita punta meccanica Begemann (R_p) e del relativo manicotto laterale (R_l) per mezzo del dispositivo Friction Jacket Cone. Dall'analisi di R_p/R_l è possibile effettuare una valutazione indicativa della litologia dei terreni attraversati e definire la granulometria (Begemann 1965- Schmertmann 1969).

Le caratteristiche tecniche dell'attrezzatura in modalità statica sono le seguenti:

<i>Forza di infissione</i>	<i>200 kN</i>
<i>Velocità di infissione</i>	<i>2 ± 0.5 cm/sec</i>
<i>Superficie della punta</i>	<i>10 cm²</i>
<i>Diametro della punta</i>	<i>35.7 mm, con conicità 60°</i>
<i>Altezza manicotto laterale</i>	<i>13.3 mm</i>
<i>Superficie del manicotto</i>	<i>150 cm²</i>
<i>Diametro delle aste</i>	<i>36 mm</i>
<i>Passo di lettura</i>	<i>20 cm</i>

I risultati riscontrati in campagna vengono visualizzati attraverso grafici che riportano per ogni verticale di prova:

- la resistenza alla punta (R_p) in Kg/cm²;
- la somma della resistenza alla punta (R_p) e di attrito laterale (R_l) in Kg/cm²;
- il rapporto delle resistenze R_p/R_l (adimensionale).

7.0 Caratterizzazione litostratigrafica

L'esame dei diagrammi di resistenza penetrometrica unitamente all'analisi di indagini geognostiche già eseguite nelle vicinanze dell'area di intervento hanno consentito di definire uno schema nel quale si identificano degli orizzonti litostratigrafici sovrapposti, aventi caratteristiche di resistenza alla penetrazione statica/dinamica e parametri litologici e geomeccanici specifici. Le variazioni dei parametri R_p , R_l ed R_p/R_l , rilevate lungo le verticali di prova penetrometrica sono normalmente riconducibili sia a cambiamenti geolitologici e granulometrici dei terreni attraversati che al diverso stato di addensamento o consistenza degli stessi.

Con il ricorso a inevitabili schematizzazioni il modello litostratigrafico locale può essere così proposto:

LIVELLO I:

Argille limose sovraconsolidate per essiccamento, localmente sormontate da materiali eterogenei di riporto; i valori caratteristici di R_p sono mediamente compresi tra **20 e 30 kg/cm²**.

LIVELLO II:

Alternanze di argille limose e limi argillosi con grado di compattezza più o meno elevato da poco a mediamente compatte con $R_p = 10 \div 16$ kg/cm².

LIVELLO III:

Sabbie limose ed argillose da poco a mediamente addensate con ciottoli eterometrici più o meno abbondanti, caratterizzate da $R_p = 40 \div 60$ kg/cm².

LIVELLO IV:

Sabbie e sabbie ghiaiose da mediamente addensate ad addensate con ciottoli eterometrici e possibile presenza di ghiaietto in matrice fine argilloso-limosa più o meno abbondante, caratterizzate da R_p costantemente **>100 kg/cm²**.

Sulla base delle stratigrafie disponibili sul territorio comunale (P.G.T. Comunale, Banca Dati Regione Lombardia i litotipi sabbioso-ghiaiosi riferibili al sopra descritto livello IV presentano spessori decametrici e si rinvencono con continuità fino a profondità dell'ordine di 25.0÷30.0 metri.

Si precisa che la successione stratigrafica sopra illustrata deriva dalla interpretazione dei grafici penetrometrici, e quindi da valutazioni che potranno trovare conferma attraverso sondaggi a carotaggio continuo e/o trincee esplorative.

Con riferimento alla quota di inizio prova (corrispondente al piano campagna alla data di esecuzione delle prospezioni), i rapporti stratigrafici nei diversi punti di indagine possono essere così schematizzati:

Punto di prova n°		C.P.T. P1	C.P.T. P2
Quota inizio prova		Piano campagna	
Prof. da <u>piano di prova</u> interfaccia strati (m)	I - II	-1.40	-1.20
	II - III	-4.60	-4.00
	III - IV	-6.80	-5.80
Prof. fine prova (m da p. prova)		-7.40	-7.80
Livello acqua (m da p. prova)		-6.0/6.50	-6.0/6.50

Tabella 1: Profondità interfacce strati riferite al piano campagna al momento delle prospezioni.

Come indicato nelle tabelle nel corso delle indagini è stata rilevata indirettamente presenza di acqua in corrispondenza di entrambi i fori di prova, a quote di circa -6.0m/6.50m dall'attuale piano campagna, a profondità maggiori di quanto riportato nella carta di *Inquadramento Idrogeologico* allegata allo Studio Geologico a supporto del P.G.T. Comunale (Prof. Geol. Pier Luigi Vercesi, luglio 2010) nel quale la soggiacenza della falda in corrispondenza dell'area è segnalata ad una quota di poco superiore a 59 metri s.l.m., corrispondente ad una profondità di circa 3 metri dal piano campagna.

Si segnala che tale livello è suscettibile di variazioni anche significative in innalzamento essendo legato sia al regime idrografico (periodi di piena e di magra) del vicino fiume Po, sia alle locali pratiche irrigue stagionali connesse alle attività agricole.

8.0 Caratterizzazione geotecnica

La definizione dei parametri geotecnici che caratterizzano i livelli investigati è stata eseguita basandosi sui risultati delle prove realizzate in sito, utilizzando le principali correlazioni semi-empiriche e sperimentali note in letteratura. Partendo dai valori ottenuti (valori medi nominali) al modello litostratigrafico esposto al capitolo precedente si possono attribuire i valori caratteristici ai sensi del D.M.L.P.P. 17.01.2018 riportati nella seguente tabella.

LIVELLO		I	II	III	IV
Comportamento geotecnico		coesivo	coesivo	incoerente	incoerente
Valori medio-minimi di R_p [Kg/cm ²]		20÷25	10÷14	40÷50	110÷175
Peso di volume secco γ [t/m ³]	γ_k stima della media	1.80	1.75	1.85	1.95
	γ_k stima del minimo	1.75	1.70	1.80	1.90
Peso di volume immerso γ_i [t/m ³]	$\gamma_{i,k}$ stima della media	-	-	0.85	1.00
	$\gamma_{i,k}$ stima del minimo	-	-	0.80	0.95
Densità relativa D_r [%]	$D_{r,k}$ stima della media	-	-	45.0	65.0
	$D_{r,k}$ stima del minimo	-	-	40.0	60.0
Coesione non drenata C_u [Kg/cm ²]	$C_{u,k}$ stima della media	0.70	0.50	-	-
	$C_{u,k}$ stima del minimo	0.60	0.40	-	-
Coesione efficace c' [Kg/cm ²]	c'_k stima della media	0.0	0.0	0.0	0.0
	c'_k stima del minimo	0.0	0.0	0.0	0.0
Angolo di attrito efficace ϕ' [°]	ϕ'_k stima della media	25.0	23.5	29.0	33.5
	ϕ'_k stima del minimo	24.0	22.5	28.0	32.0
Modulo Edometrico M [Kg/cm ²]	M_k stima della media	100.0	60.0	250.0	300.0
	M_k stima del minimo	80.0	50.0	200.0	250.0
Modulo Elastico E [Kg/cm ²]	E_k stima della media	-	-	150.0	180.0
	E_k stima del minimo	-	-	100.0	150.0
Modulo Elastico non drenato E_u [Kg/cm ²]	$E_{u,k}$ stima della media	325.0	250.0	-	-
	$E_{u,k}$ stima del minimo	275.0	200.0	-	-
Coefficiente di Poisson ν	ν_k stima della media	0.25	0.30	0.25	0.20
	ν_k stima del minimo	0.30	0.35	0.30	0.25

Tabella 2: Valori caratteristici dei principali parametri geotecnici.

I valori sopra riportati sono stati determinati mediante una valutazione statistica cautelativa sia dei valori medi che dei valori minimi utilizzando il metodo di calcolo del 5° percentile:

- F_k (stima della media) = $\mu + t^{5\%} \cdot s / \sqrt{n}$
- F_k (stima del minimo) = $\mu \cdot [1 - 1.645 \cdot C.O.V.]$

μ = media dei valori; $t^{5\%}$ = t di student al 5° percentile; s = deviazione standard dei valori

n = numero di valori; C.O.V. = coefficiente di variazione pari a s / μ

Per la scelta dei parametri da utilizzare in fase di progettazione esecutiva si fa riferimento a quanto indicato nella Circolare n.7 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 21.01.19 *“Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018”*, ovvero che è giustificato l'utilizzo dei valori caratteristici derivanti dall'approccio di calcolo statistico mediante la stima cautelativa dei valori medi quando l'opera interessa un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura stessa è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti, mentre si dovranno utilizzare quali valori caratteristici quelli derivanti dall'approccio di calcolo statistico mediante la stima cautelativa dei valori minimi nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni o nel caso in cui la struttura non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità.

Nel caso in esame si ritiene plausibile utilizzare quali **valori caratteristici** quelli derivanti dall'approccio di calcolo statistico mediante **la stima cautelativa dei valori medi**, in quanto per le strutture in progetto si ritengono plausibili fondazioni a plinto collegate rigidamente tra loro, fatto che permetterà il trasferimento delle azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti (resistenze compensate).

I parametri così derivati sono da considerare validi per gli scopi prefissati dalla presente indagine, per una loro definizione di maggior dettaglio sarà invece necessario ricorrere ad ulteriori e più specifiche indagini in sito ed analisi di laboratorio su campioni di terreno indisturbati.

9.0 Caratterizzazione sismica

9.1 CARATTERISTICHE MACROSISMICHE DELL'AREA

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519 del 28 aprile 2006 – “*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*” riferita all'intero territorio nazionale, e recepita dalla Regione Lombardia tramite la D.G.R. n.X/2129 - 11.07.2014 il territorio comunale di Pinarolo Po risulta classificato in **zona sismica 3** a “sismicità bassa”, cui corrisponde un valore massimo di a_g pari a 0.15g (fig. 8).

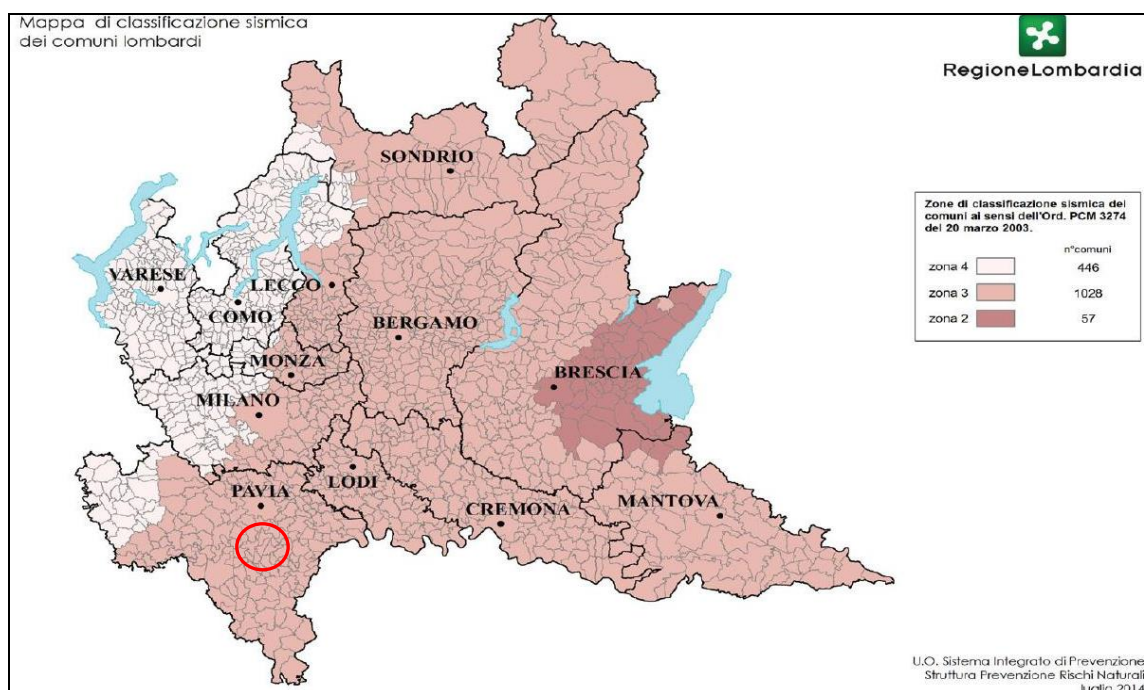


Figura 8: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia a seguito della D.G.R. n. X/2129.

Allo stesso modo i valori di a_g agli SLU dinamici, calcolati secondo il D.M. 17.01.2018 “*Norme tecniche per le costruzioni*” (e riportati nei successivi paragrafi) per le coordinate che identificano il sito ovvero lat. 45.06928° e long. 9.16901°, risultano compresi nel range $0.05 < a_g \leq 0.15g$ relativo alla **zona sismica 3** (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Allegato al Voto n.36 del 27.07.2007 – “*Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale*”).

9.1.1 Pericolosità Sismica Locale (PSL)

L'area ricade entro lo scenario di Pericolosità Sismica Locale Z4a "*Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi*", come riportato nella *Carta della Pericolosità Sismica Locale* pertinente lo Studio Geologico a supporto del P.G.T. comunale (Prof. Geol. Pier Luigi Vercesi, luglio 2010 - fig. 9). Tale scenario è legato ad eventuali amplificazioni di sito di tipo litologico e geometrico e da normativa vigente, ricadendo il territorio comunale in Zona sismica 3, è richiesta una analisi con approfondimento di 2° livello per la determinazione dei fattori di amplificazione F_a .

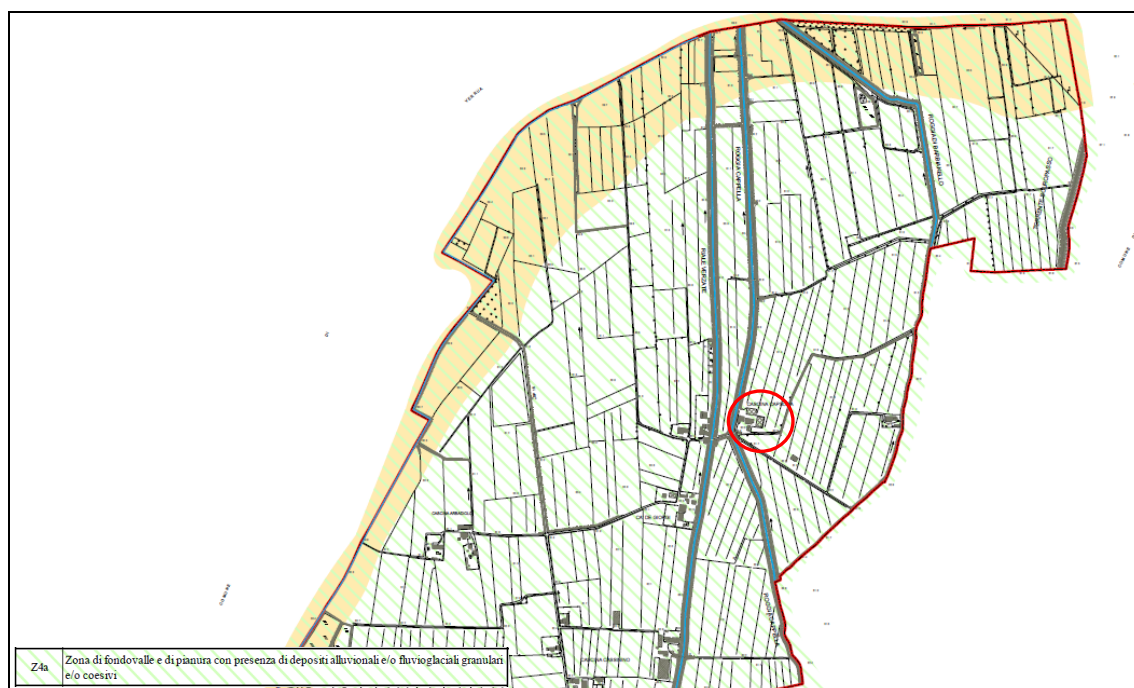


Figura 9: Estratto Carta della Pericolosità Sismica Locale (P.G.T. Comune di Pinarolo Po).

A tale proposito ci si basa sulle risultanze delle indagini geofisiche già eseguite nelle immediate adiacenze dell'area in esame mediante le quali è stata attribuita la categoria di sottosuolo tipo C; negli approfondimenti di II livello sia per edifici bassi (periodo $0.1 \div 0.5$ s) che per edifici alti (periodo $0.5 \div 1.5$ s) i valori degli F_a calcolati sono risultati inferiori ai valori di soglia, quindi la normativa è sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione del sito. Pertanto, dal punto di vista della sismicità, l'area è giudicata idonea ad accogliere l'intervento programmato, fatte salve le prescrizioni di carattere sismico che verranno indicate nei paragrafi successivi.

9.2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La normativa prevede che le azioni sismiche di progetto agenti su una costruzione si definiscano a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, la quale è rappresentata dalla probabilità che in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento V_R espresso in anni) nel sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; tale probabilità è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” (P_{VR}). Il D.M. 14.01.2008 ed il successivo D.M. 17.01.2018 hanno introdotto un nuovo elemento metodologico nella stima della pericolosità sismica di base la quale non risulta più associata alla zona sismica di appartenenza (criterio “zona dipendente”) ma viene definita mediante un approccio “sito dipendente”. Pertanto essa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero (free field) su sito di riferimento con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita al § 3.2.2 delle NTC 2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito. Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g	accelerazione orizzontale massima al sito;
F_0	valore massimo di fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
T^*_c	periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alle NTC i suddetti valori vengono forniti in funzione delle coordinate geografiche del sito, per una griglia di punti prefissati sul territorio (*reticolo di riferimento*); per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi (siti di riferimento) del reticolo di riferimento tali valori si ottengono per interpolazione sui quattro vertici adiacenti.

Per la valutazione finale dell'azione sismica di progetto deve essere inoltre tenuta in considerazione la cosiddetta risposta sismica locale, peculiare delle condizioni stratigrafiche del sottosuolo e della morfologia della superficie topografica del sito in questione, le quali esercitano una diretta influenza sulla propagazione e sull'eventuale amplificazione delle onde sismiche nel sottosuolo. Tale valutazione è conseguibile, con buona approssimazione, tramite la definizione della categoria di sottosuolo del terreno di fondazione e della categoria topografica del sito. Da queste ultime vengono infatti ricavati i coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica (S_s ed S_T) che subentrano nella ricostruzione degli spettri di risposta elastici definiti per la pericolosità sismica di base.

9.3 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CATEGORIA TOPOGRAFICA

Per quanto riguarda la determinazione della categoria di sottosuolo il D.M. 17.01.2018 prevede una classificazione in cinque categorie principali riportate nella tabella 3.2.II (fig. 10) definite in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,eq}$ corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio a partire dal piano di fondazione (per fondazioni superficiali e per muri di sostegno di terrapieni), dalla testa dei pali o dalla testa dell'opera (per opere di sostegno di terreni naturali), fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità di tale substrato superiore a 30 metri la velocità equivalente $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30 metri. Infine, nel caso in cui tale parametro non sia disponibile la classificazione può essere effettuata tramite relazioni empiriche con i risultati di altre prove in sito, quali prove penetrometriche dinamiche per terreni a grana grossa e prove penetrometriche statiche per i terreni coesivi.

Come già espresso per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata stimata sulla base dei dati acquisiti tramite un pregresso stendimento sismico M.A.S.W. eseguito nelle immediate vicinanze dell'area in esame: sulla base di tale indagine il terreno risulta classificabile di **categoria C** "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

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

Figura 10: Tabella 3.2.II “Categorie di sottosuolo” – D.M. 17.01.2018.

In riferimento alle categorie topografiche riportate nella tabella 3.2.III del D.M. (fig. 11), il sito può essere classificato nella **categoria T1** “Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ”.

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

Figura 11: Tabella 3.2.III “Categorie topografiche” – D.M. 17.01.2018.

9.4 PARAMETRI SISMICI DI RIFERIMENTO

Di seguito si riportano i parametri di riferimento, propri del sito in questione, per la definizione della pericolosità sismica di base ed i parametri sismici necessari per la valutazione delle azioni sismiche di progetto attese.

Nel caso in esame il sito presenta le seguenti coordinate (sistema di riferimento ED50):

Latitudine	Longitudine
45.06928°	9.16901°

Per il calcolo delle grandezze a_g , F_0 e T^*_c si devono considerare i seguenti parametri:

- **Classe d'uso: II** - Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- **Vita nominale V_N : ≥ 50 anni** (tabella 2.4.I - tipi di costruzioni classe 2): Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari.
- **Coefficiente d'uso C_U : 1.0** relativo alla classe d'uso II.
- **Periodo di riferimento per l'azione sismica: $V_R = V_N * C_U = 50 * 1.0 = 50$ anni.**

Pertanto, a partire dai dati sopra riportati, in funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} vengono calcolati i valori a_g , F_0 , T^*_c e del periodo di ritorno $T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$:

Stati limite		P_{VR}	Periodo di ritorno (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (sec)
SLE	SLO	81%	30	0.025	2.496	0.194
	SLD	63%	50	0.032	2.519	0.213
SLU	SLV	10%	475	0.086	2.455	0.275
	SLC	5%	975	0.115	2.450	0.279

Da questi ultimi è possibile ricavare, sulla base della **CATEGORIA C** del suolo di fondazione, gli ulteriori parametri:

Stati limite		S_s	C_c	S_t	T_B (s)	T_c (s)	T_D (s)	F_v
SLE	SLO	1.50	1.803	1.00	0.117	0.350	1.700	0.53
	SLD	1.50	1.749	1.00	0.124	0.373	1.729	0.61
SLU	SLV	1.50	1.608	1.00	0.147	0.442	1.944	0.97
	SLC	1.50	1.599	1.00	0.149	0.447	2.061	1.12

Dove:

SLE = stati limite di esercizio:

- **SLO** = Stato Limite di Operatività;
- **SLD** = Stato Limite di Danno;

SLU = stati limite ultimi:

- **SLV** = Stato Limite di salvaguardia della Vita;
- **SLC** = Stato Limite di prevenzione del Collasso;

S_s= coefficiente di amplificazione stratigrafica;

C_c= coefficiente di categoria di sottosuolo;

S_t= coefficiente di amplificazione topografica;

T_B= periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante spettro delle componenti orizzontali;

T_C= periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante spettro delle componenti orizzontali;

T_D= periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante spettro delle componenti orizzontali;

F_V= fattore di amplificazione spettrale.

Per calcolare il valore di A_{max} (accelerazione massima) occorre moltiplicare il valore di a_g per i coefficienti di amplificazione sismica (S) tramite la relazione: $A_{max}=a_g \text{ (m/s}^2\text{)} \cdot S$; l'accelerazione massima deve essere fornita in m/s^2 ; pertanto, i valori nominali di a_g precedentemente calcolati vanno moltiplicati per 9.81 m/s^2 e successivamente moltiplicati per i coefficienti di amplificazione sismica $S = S_s \cdot S_t$.

Stati limite		a_g (g)	a_g (m/s ²)	S ($S_s \cdot S_t$)	A_{max} (g)	A_{max} (m/s ²)
SLE	SLO	0.025	0.245	1.50	0.038	0.368
	SLD	0.032	0.314	1.50	0.048	0.471
SLU	SLV	0.086	0.844	1.50	0.129	1.265
	SLC	0.115	1.128	1.50	0.173	1.692

Infine i coefficienti K_h (coefficiente sismico orizzontale) e K_v (coefficiente sismico verticale) assumono i seguenti valori:

Stati limite		K_h	K_v
SLE	SLO	0.007	0.004
	SLD	0.010	0.005
SLU	SLV	0.025	0.013
	SLC	0.041	0.020

10.0 Valutazione del potenziale di liquefazione

Il fenomeno della liquefazione interessa generalmente depositi sabbiosi e/o sabbioso-limosi sciolti, saturi e a granulometria uniforme, i quali a seguito di una sollecitazione sismica passano dallo stato solido a quello fluido, denotando una diminuzione della resistenza al taglio a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali (u), tale da generare deformazioni permanenti significative o persino dell'annullamento delle pressioni efficaci (σ') nel terreno.

La verifica della suscettibilità alla liquefazione deve essere effettuata quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda. Secondo il D.M. 17.01.2018 tale verifica può invece essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometriche esterne alle zone indicate nella figura 12, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in figura 13, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

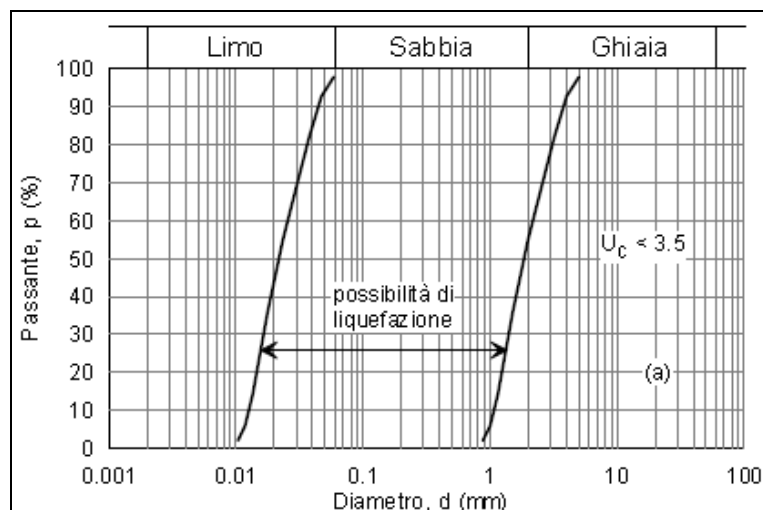


Figura 12: Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione con $U_c < 3.5$.

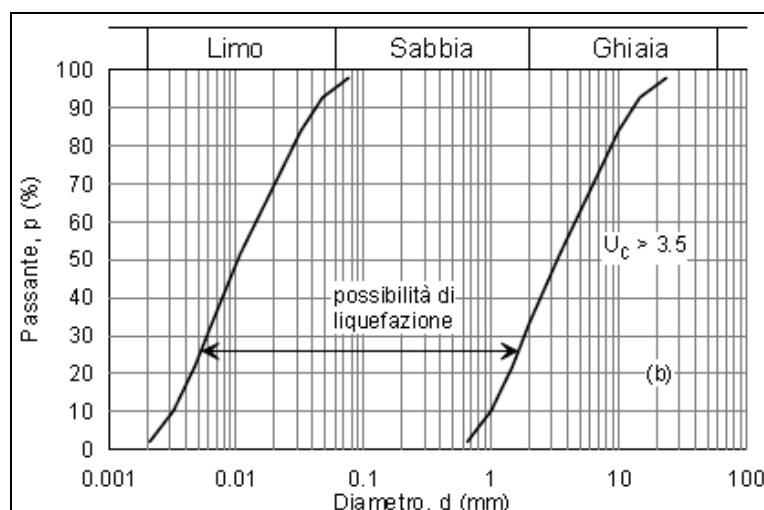


Figura 13: Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione con $U_c > 3.5$.

Nel caso in esame si esclude il rischio di liquefazione in quanto non sussistono le circostanze di cui al precedente punto 4., in ragione della natura coesiva ed eterogenea dei materiali pertinenti agli orizzonti individuati e precedentemente descritti, costituiti da depositi argilloso-limosi (livelli I e II) e sabbioso-ghiaiosi (livello III), la cui distribuzione granulometrica ricade all'esterno delle fasce indicate in fig. 12 e fig. 13.

11.0 Osservazioni - Prescrizioni

11.1 FONDAZIONI

Per il supporto della nuova struttura si ritengono plausibili fondazioni superficiali a plinto in cui piano di appoggio fondazionale dovrà preferibilmente essere reperito a profondità $>1.50\div 2.0\text{m}$ dall'attuale piano campagna, al fine di minimizzare le problematiche legate alle escursioni volumetriche determinate dalle variazioni stagionali del grado di umidità naturale; tale fenomeno, noto quale "ritiro-rigonfiamento", si esplica fino a circa $1.50\div 2.0\text{m}$ di profondità e comporta la contrazione volumetrica dei materiali argillosi nei periodi asciutti ed il rigonfiamento nei successivi periodi umidi; esso è di carattere ciclico e potrebbe comportare deformazioni delle strutture di appoggio.

Per conseguire tale approfondimento si potrà ricorrere all'esecuzione di sottofondazioni "a pozzo": in riferimento a questa soluzione, da realizzare per l'intera impronta delle nuove fondazioni, si segnala che la loro riuscita è strettamente legata alla corretta esecuzione operativa delle stesse, in particolare per quanto riguarda la pulizia del fondo dai residui dello scavo (la quale dovrà essere particolarmente accurata) e l'immediatezza nel ripristino dello stesso con c.l.s. debolmente armato. Dovranno necessariamente essere evitati riempimenti con materiali (es ghiaie, sabbie, misto frantumato, misto riciclato, ecc.) diversi dal c.l.s. in quanto fungerebbero da richiamo ed accumulo per le acque sotterranee e di percolazione favorendo accumuli di acqua con conseguente decadimento delle caratteristiche geotecniche e delle proprietà meccaniche del terreno a discapito e della stabilità delle strutture.

Inoltre, in considerazione del fatto che le nuove strutture saranno realizzate non lontano da strutture esistenti, in fase pre-esecutiva dovrà necessariamente esserne verificata la quota di imposta delle fondazioni, al fine della sicurezza degli scavi nei confronti del piano fondazionale delle stesse ed al fine di prevedere una opportuna disposizione delle nuove fondazioni in modo da evitare o quanto meno ridurre al minimo le interferenze tra i rispettivi bulbi delle pressioni.

A tal proposito studi di letteratura (v. Joseph E. Bowles, 1991) affermano che si ha la possibilità che lo scavo provochi il cedimento del terreno di fondazione della struttura portante per la perdita del contributo del carico del terreno adiacente nel caso in cui le nuove fondazioni vengano disposte ad una profondità uguale rispetto quelle esistenti (fig. 14), inoltre il bulbo di carico della nuova struttura potrà interferire con quello della vecchia struttura generando un incremento del carico gravante sul terreno di fondazione.

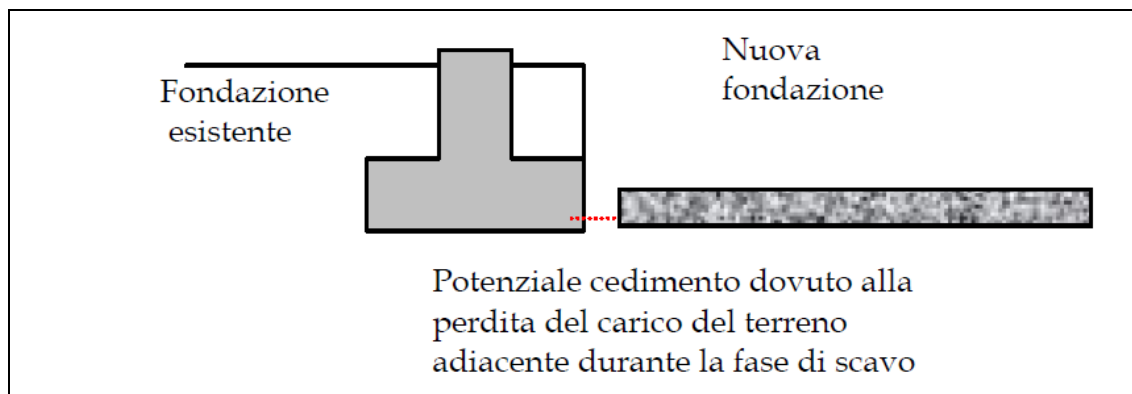


Figura 14: Configurazione non in sicurezza tra esistente e nuova fondazione (Joseph E. Bowles, 1991).

Nel caso in cui le nuove fondazioni vengano disposte ad una profondità maggiore rispetto a quelle esistenti si ha la possibilità che il terreno scorra lateralmente al di sotto della fondazione già esistente, a danno della stabilità della struttura stessa (fig. 15). In tale configurazione risulta difficile stabilire quanto sia possibile avvicinarsi alla fondazione esistente senza disturbare la stabilità della struttura adiacente, occorre quindi ricorrere all'esecuzione di adeguate strutture di sostegno (es. paratia di micropali) al fine di contenere il terreno al di fuori dello scavo nella condizione di spinta a riposo.

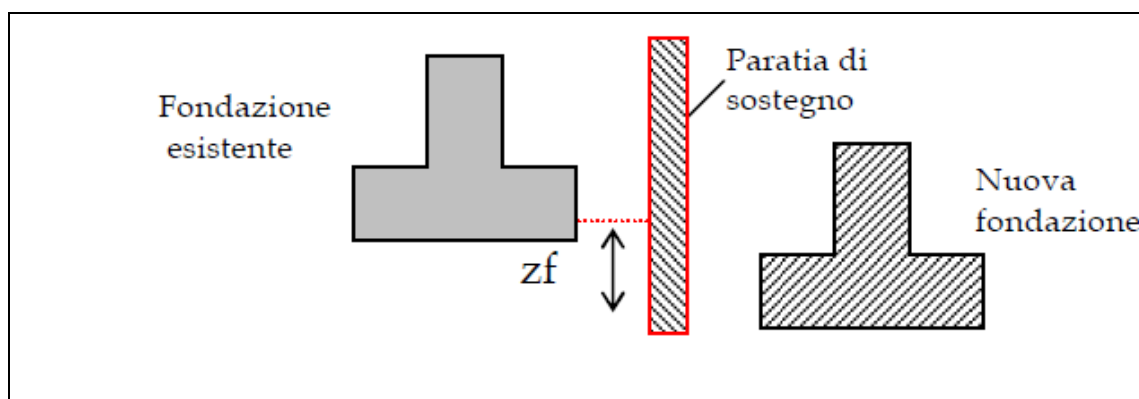


Figura 15: Configurazione in sicurezza (presenza paratia) tra esistente e nuova fondazione (Joseph E. Bowles, 1991).

Infine nel caso in cui le nuove fondazioni siano impostate ad una profondità inferiore rispetto a quelle esistenti la configurazione che da luogo a pressioni di sicurezza tali da evitare interferenze tra le vecchie e le nuove strutture prevede che la linea congiungente la base delle nuove fondazioni con la base delle fondazioni esistenti deve formare un angolo non superiore a 45° con il piano orizzontale; da ciò ne consegue che la distanza orizzontale m deve essere maggiore della distanza verticale tra le due fondazioni, z_f (fig. 16). In caso contrario i bulbi di pressione delle strutture potranno interferire tra loro e si dovrà pertanto determinare il reale contributo del carico della nuova fondazione rispetto all'attuale condizione di equilibrio terreno-struttura.

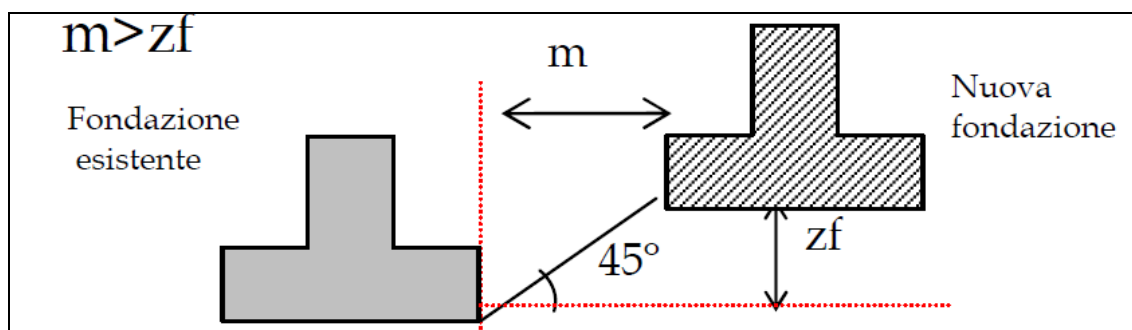


Figura 16: Configurazione di sicurezza tra esistente e nuova fondazione (Joseph E. Bowles, 1991).

Pertanto si ribadisce come dovranno essere definite le caratteristiche geometriche delle strutture di fondazione esistenti al fine di determinare il reale contributo del carico delle nuove fondazioni rispetto all'attuale condizione di equilibrio terreno-struttura.

I valori della capacità portante del sistema terreno-fondazione, accertando che la condizione $E_d \leq R_d$ (valore di progetto delle azioni \leq valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico), dovranno essere determinati nel dettaglio nella specifica Relazione Geotecnica da redigere a corredo del progetto e nella quale dovranno essere necessariamente stimati i cedimenti attesi del terreno di fondazione (in funzione delle effettive geometrie fondazionali e dei carichi di esercizio) che condizioneranno e determineranno i valori della portata di esercizio agli S.L.E. (Stati Limite di Esercizio) tenendo in considerazione che generalmente per gli edifici e le strutture di uso più comune si impone un valore limite al cedimento pari a 4 cm per fondazioni in appoggio su materiali argillosi e di 2 cm per fondazioni in appoggio su materiali sabbiosi in modo tale da evitare cedimenti differenziali di elevata entità.

Si ribadisce infine come le fondazioni con piano di appoggio superficiale su materiali argillosi possano risentire delle problematiche legate alle escursioni volumetriche determinate dalle variazioni stagionali del grado di umidità naturale. Tale fenomeno, precedentemente descritto, potrebbe comportare blande deformazioni della trave di appoggio.

11.2 GESTIONE DELLE ACQUE

Le necessarie condizioni di stabilità nelle fasi successive alla realizzazione delle opere in progetto, in riferimento alle fondazioni delle strutture, potranno essere salvaguardate nel tempo solo con la costante e corretta gestione delle acque meteoriche di scorrimento superficiale. In particolare tali acque dovranno essere completamente raccolte e quindi evacuate attraverso canalizzazioni che ne favoriscano il rapido smaltimento nei collettori esistenti, al fine di evitare ristagni superficiali o filtrazioni nel sottosuolo pregiudizievoli per l'integrità delle nuove strutture; le modalità di gestione di tali acque dovranno rispettare il **principio dell'invarianza idraulica ed idrologica** secondo i criteri e i metodi contenuti nel R.R. n.8 del 19 aprile 2019 *“disposizioni sull'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n.7 (Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n.12 'Legge per il governo del territorio')”*.

Come già precedentemente riportato negli scavi di fondazione dovranno necessariamente essere evitati riempimenti con materiali (es ghiaie, sabbie, misto frantumato, misto riciclato, ecc.) diversi dal c.l.s. in quanto fungerebbero da richiamo ed accumulo per le acque sotterranee e di percolazione favorendo accumuli di acqua con conseguente decadimento delle caratteristiche geotecniche e delle proprietà meccaniche del terreno a discapito della stabilità delle strutture.

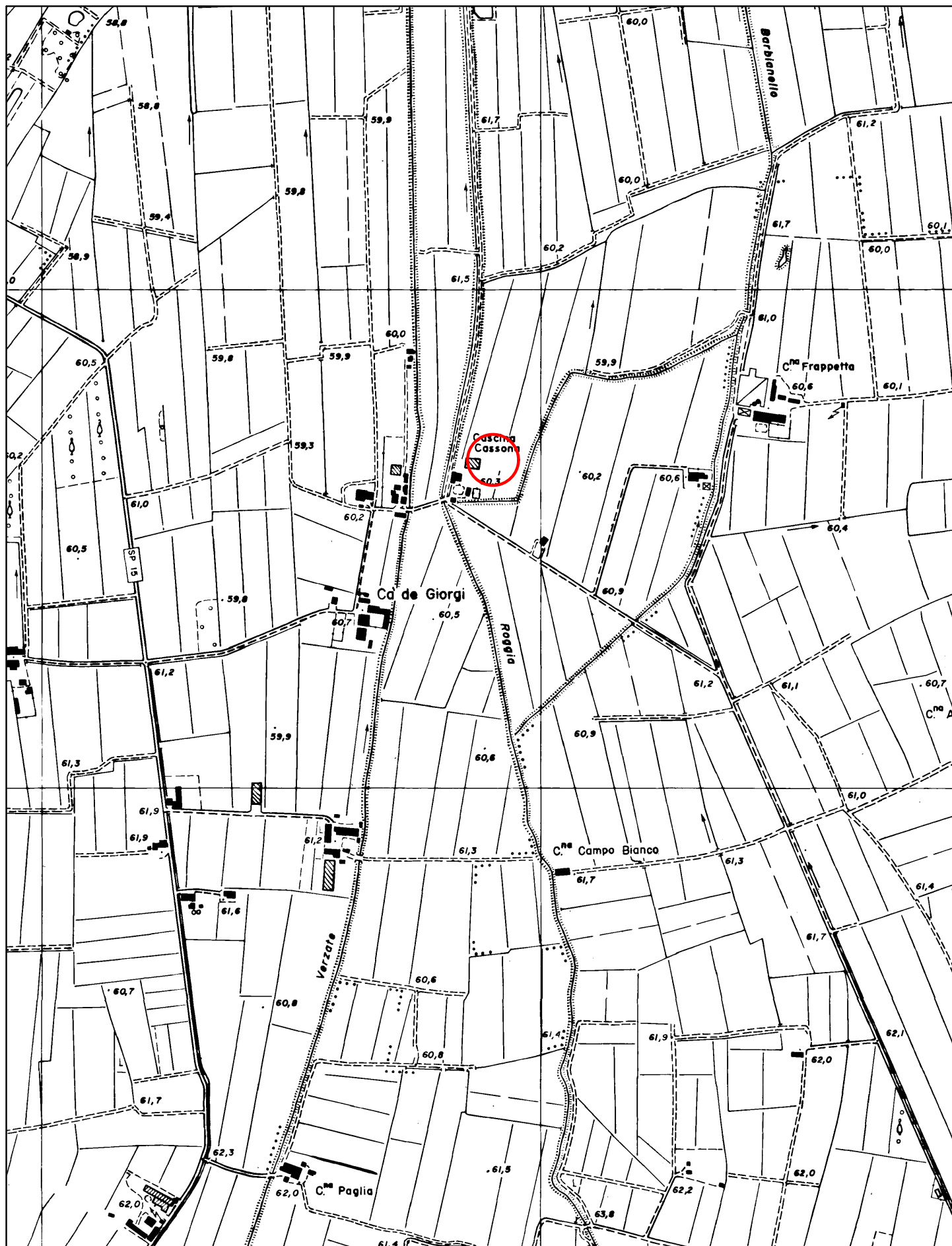
12.0 Terre e Rocce da scavo

Per l'eventuale riutilizzo dei materiali di risulta degli scavi si potrà fare riferimento al D.P.R. n.120 del 13.06.2017 (che riunisce e sostituisce gli articoli n.184, n.185 e n.186 del D.Lgs. n.152 del 03.04.2006 ed il D.M. n.161 del 10.08.2012, disciplinato dall'articolo n.41-bis della L. n.98 del 09.08.2013) o, in caso contrario, essi dovranno essere gestiti come rifiuto secondo quanto previsto dalla parte IV del D.Lgs. n.152 del 03.04.2006.

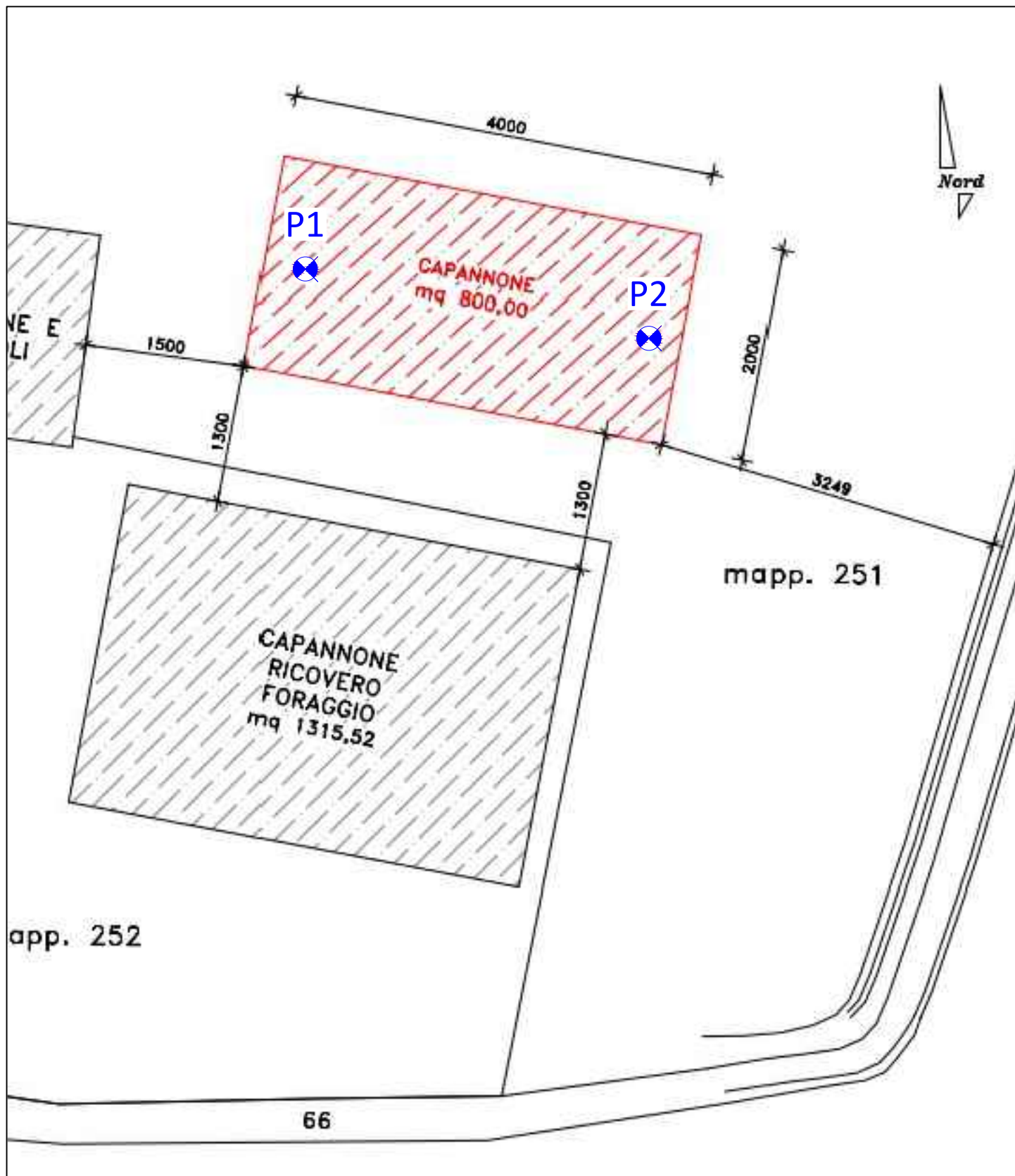
Varzi (PV), ottobre 2024




Dott. Geol. Marco SALA



Committente: Sig. Remigio FORNI	A cura di: Dott. Geol. Marco SALA Via Della Maiolica n.4 27057 Varzi (PV)	COSTRUZIONE CAPANNONE IN C.A.P. PER RICOVERO ATTREZZI AGRICOLI IN PINAROLO PO VIA CA' DE GIORGI C.na CAPSONA COMUNE DI PINAROLO PO (PV) Corografia generale con ubicazione area in esame		Data: Ottobre 2024 Scala: 1:10.000	ALL.1
--	--	---	--	---	--------------



Legenda

 Prova penetrometrica statica C.P.T.



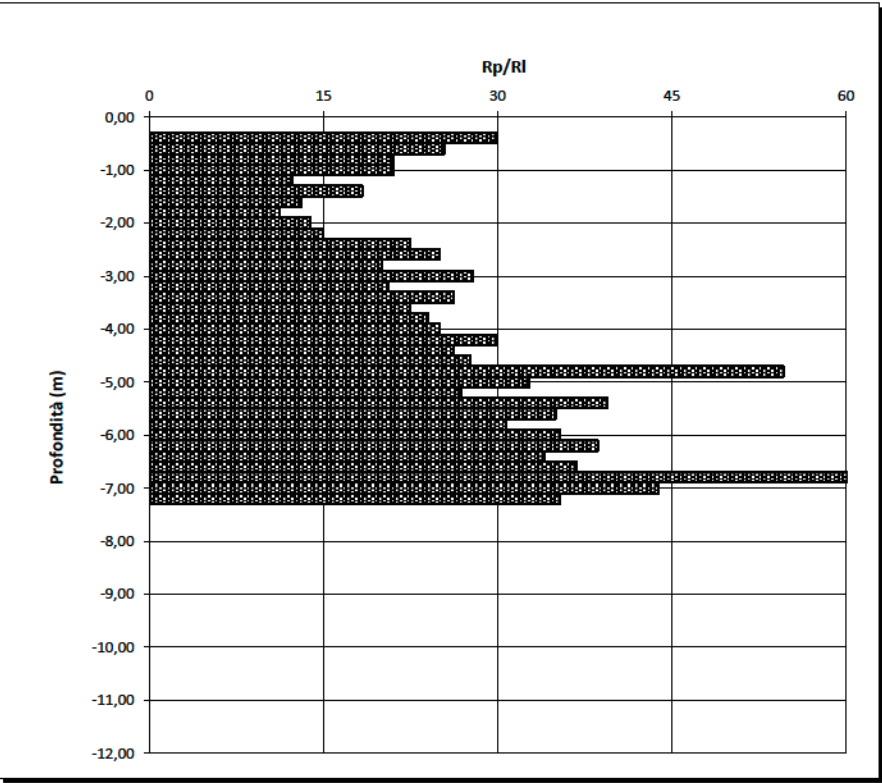
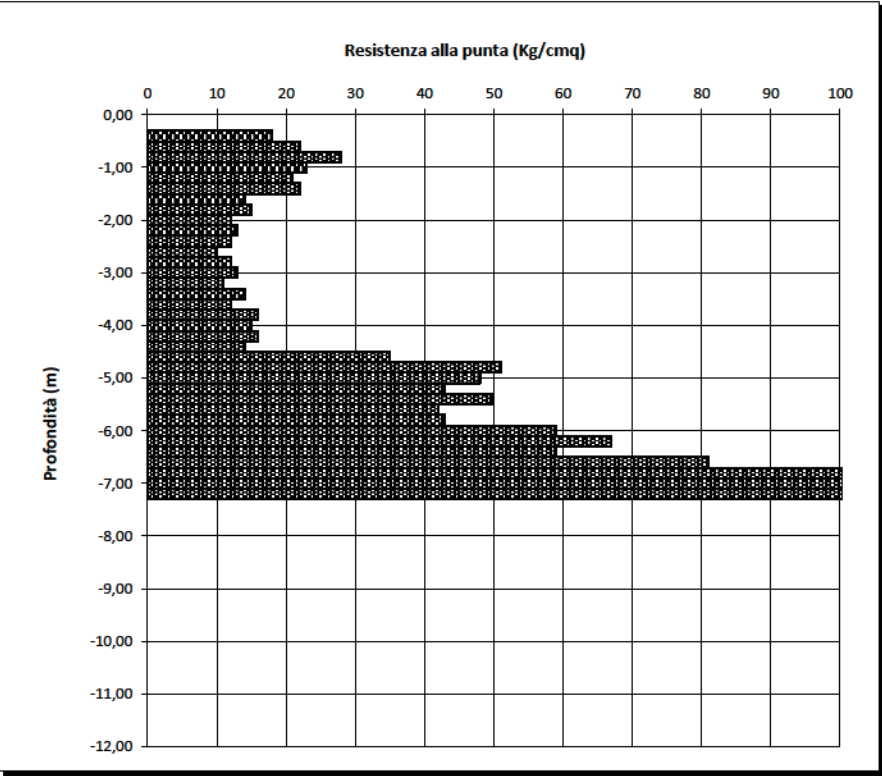
Committente: Sig. Remigio FORNI	A cura di: Dott. Geol. Marco SALA Via Della Maiolica n.4 27057 Varzi (PV)	COSTRUZIONE CAPANNONE IN C.A.P. PER RICOVERO ATTREZZI AGRICOLI IN PINAROLO PO VIA CA' DE GIORGI C.na CAPSONA COMUNE DI PINAROLO PO (PV)	Data: Ottobre 2024
		Planimetria generale con ubicazione punti di indagine	Scala: 1:500

ALL.2

Committente: Sig. Remigio FORNI	A cura di: Dott. Geol. Marco SALA Via Della Maiolica n.4 27057 Varzi (PV)	COSTRUZIONE CAPANNONE IN C.A.P. PER RICOVERO ATTREZZI AGRICOLI IN PINAROLO PO VIA CA' DE GIORGI C.na CAPSONA COMUNE DI PINAROLO PO (PV)		Data: Ottobre 2024
		Grafici prove penetrometriche	ALL.3	Scala: //

Prova penetrometrica statica n. **P1**

Località: **Via Ca' de Giorgi - Pinarolo Po (PV)** Data: **28.09.2024**
Committente: **Sig. Remigio FORNI** Quota inizio: **piano campagna**



Quota	Rp	Rp + Rm	Rp/Rl
0,00	0	0	0
-0,20	0	0	0
-0,40	18	27	30
-0,60	22	35	25
-0,80	28	48	21
-1,00	23	51	21
-1,20	21	34	12
-1,40	22	40	18
-1,60	14	30	13
-1,80	15	35	11
-2,00	12	25	14
-2,20	13	26	15
-2,40	12	20	23
-2,60	10	16	25
-2,80	12	21	20
-3,00	13	20	28
-3,20	11	19	21
-3,40	14	22	26
-3,60	12	20	23
-3,80	16	26	24
-4,00	15	24	25
-4,20	16	24	30
-4,40	14	22	26
-4,60	35	54	28
-4,80	51	65	55
-5,00	48	70	33
-5,20	43	67	27
-5,40	50	69	39
-5,60	42	60	35
-5,80	43	64	31
-6,00	59	84	35
-6,20	67	93	39
-6,40	59	85	34
-6,60	81	114	37
-6,80	166	202	69
-7,00	187	251	44
-7,20	203	289	35
-7,40	RIFIUTO		
-7,60			
-7,80			
-8,00			
-8,20			
-8,40			
-8,60			
-8,80			
-9,00			
-9,20			
-9,40			
-9,60			
-9,80			
-10,00			
-10,20			
-10,40			
-10,60			
-10,80			
-11,00			
-11,20			
-11,40			
-11,60			
-11,80			
-12,00			

Foro ostruito a -3.60m da p.c., aste bagnate da circa -6.0/-6.50m.

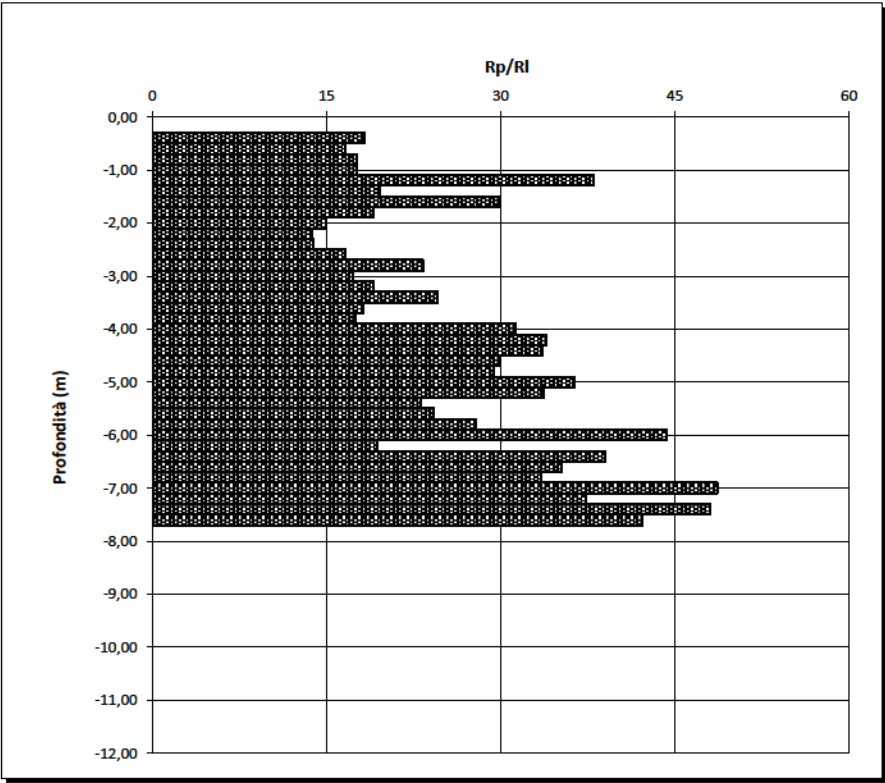
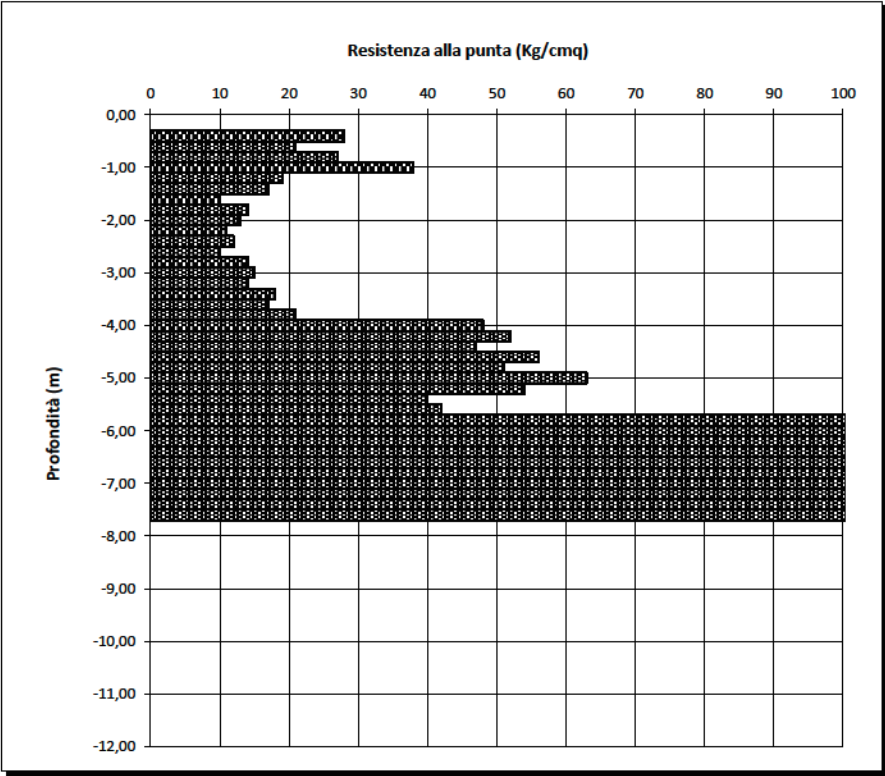
Prova penetrometrica statica n. **P2**

Località: **Via Ca' de Giorgi - Pinarolo Po (PV)**

Quota inizio: **piano campagna**

Data: **28.09.2024**

Committente: **Sig. Remigio FORNI**



Quota	Rp	Rp + Rm	Rp/Rl
0,00	0	0	0
-0,20	0	0	0
-0,40	28	51	18
-0,60	21	40	17
-0,80	27	50	18
-1,00	38	53	18
-1,20	19	27	38
-1,40	17	30	20
-1,60	10	15	30
-1,80	14	25	19
-2,00	13	26	15
-2,20	11	23	14
-2,40	12	25	14
-2,60	10	19	17
-2,80	14	23	23
-3,00	15	28	17
-3,20	14	25	19
-3,40	18	29	25
-3,60	17	31	18
-3,80	21	39	18
-4,00	48	71	31
-4,20	52	75	34
-4,40	47	68	34
-4,60	56	84	30
-4,80	51	77	29
-5,00	63	89	36
-5,20	54	78	34
-5,40	40	66	23
-5,60	42	68	24
-5,80	117	180	28
-6,00	136	182	44
-6,20	102	181	19
-6,40	125	173	39
-6,60	134	191	35
-6,80	116	168	33
-7,00	159	208	49
-7,20	142	199	37
-7,40	218	286	48
-7,60	259	351	42
-7,80	RIFIUTO		
-8,00			
-8,20			
-8,40			
-8,60			
-8,80			
-9,00			
-9,20			
-9,40			
-9,60			
-9,80			
-10,00			
-10,20			
-10,40			
-10,60			
-10,80			
-11,00			
-11,20			
-11,40			
-11,60			
-11,80			
-12,00			

Foro ostruito a -2.80m da p.c., aste bagnate da circa -6.0/-6.50m.



Foto 1: Punto di prova C.P.T. P1.



Foto 2: Punto di prova C.P.T. P2.

Committente: Sig. Remigio FORNI	A cura di: Dott. Geol. Marco SALA Via Della Maiolica n.4 27057 Varzi (PV)	COSTRUZIONE CAPANNONE IN C.A.P. PER RICOVERO ATTREZZI AGRICOLI IN PINAROLO PO VIA CA' DE GIORGI C.na CAPSONA COMUNE DI PINAROLO PO (PV)		Data: Ottobre 2024
		Documentazione fotografica	ALL.4	Scala: //