



Regione Lombardia

Est Ticino Villoresi



Consorzio di Bonifica

“INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA PER IL RIPRISTINO DELLA  
FUNZIONALITÀ DEL CANALE DERIVATORE DI MAGENTA NEI COMUNI DI ARCONATE ED  
INVERUNO (MI)”

C77H21005830002

PROGETTO DEFINITIVO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

ing. Stefano Burchielli

ELABORATO

**R.04**

IL PROGETTISTA

ing. Alessandro Di Leo

GRUPPO DI LAVORO

ing. Pietro Randazzo

dott.ssa Camilla Berra

geom. Daniele Alessio Donninelli

DESCRIZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

SCALA

DATA

MAGGIO 2022

REV.

DATA

DESCRIZIONE MODIFICA

REDATTO

CONTROLL.

APPROVATO

Est Ticino Villoresi



Consorzio di Bonifica

CONSORZIO DI BONIFICA EST TICINO VILLORESI

Via Ludovico Ariosto, 30

20145 - Milano

tel. 02 48561301

e.mail: [info@etvilloresi.it](mailto:info@etvilloresi.it) - PEC: [etvilloresi@pec.it](mailto:etvilloresi@pec.it)



**COMUNE DI INVERUNO**

Città Metropolitana di Milano

**REALIZZAZIONE NUOVO SCATOLARE SUL DERIVATORE DI MAGENTA  
IN COMUNE DI INVERUNO**

**RELAZIONE GEOLOGICA e SISMICA**

**Committente:**

CONSORZIO DI BONIFICA EST TICINO VILLORESI



**Maggio 2022**

## INDICE

---

1.0 Premessa.....	pag. 3
1.1 Normativa di riferimento.....>>	4
2.0 Stato di fatto e breve descrizione dell'intervento.....>>	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.....>>	9
5.0 Fattibilità - Vincoli Geologici, Idrogeologici e Idraulici.....>>	11
6.0 Indagini geognostiche.....>>	14
6.1 Prove penetrometriche.....>>	15
6.2 Stendimento sismico M.A.S.W.....>>	15
7.0 Caratterizzazione litostratigrafica.....>>	17
8.0 Caratterizzazione geotecnica.....>>	19
9.0 Caratterizzazione sismica.....>>	21
9.1 Rappresentazione ed interpretazione dei dati sismici.....>>	21
9.2 Caratteristiche macrosismiche dell'area.....>>	23
9.2.1 Pericolosità Sismica Locale.....>>	24
9.3 Definizione della pericolosità sismica di base.....>>	25
9.4 Categoria di sottosuolo e categoria topografica.....>>	27
9.5 Analisi di 2° livello.....>>	28
9.5.1 Effetti litologici – Stima del Fattore di Amplificazione $F_a$ .....>>	28
9.6 Parametri sismici di riferimento.....>>	31
10.0 Valutazione del potenziale di liquefazione.....>>	34
11.0 Terre e Rocce da scavo.....>>	36

## ALLEGATI

---

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

## 1.0 Premessa

---

La presente relazione, redatta per conto del Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi, costituisce il supporto geologico-tecnico e sismico preliminare alla progettazione dei lavori per la realizzazione di un nuovo scatolare in corrispondenza del Derivatore di Magenta nel territorio comunale di Inveruno (MI).

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 particolare lo scopo dell'indagine è quello di fornire al Progettista utili indicazioni inerenti il terreno di fondazione, in funzione dei carichi di esercizio e delle effettive condizioni litostratigrafiche del volume significativo di terreno interessato dalle opere in progetto. 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 dinamiche D.P.S.H. e da n.1 stendimento sismico con metodologia M.A.S.W., eseguiti in data 13 aprile 2022.

I dati raccolti sono stati inoltre integrati con quelli esistenti, derivanti da studi pregressi 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-idrologico speditivo dell'area e del suo relativo intorno;
- esecuzione delle prospezioni geognostiche in situ (D.P.S.H., M.A.S.W.);
- caratterizzazione sismica del sito con valutazione dei fattori di amplificazione litologici;
- ricostruzione dell'assetto litostratigrafico e caratterizzazione geologico-tecnica dei terreni di fondazione con la definizione dei principali parametri geotecnici caratteristici;
- osservazioni e prescrizioni circa il terreno di fondazione.

## **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 Inveruno *“Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica”* - Dott. Geol. Efrem Ghezzi, luglio 2011.

## 2.0 Stato di fatto e breve descrizione dell'intervento

---

L'area in esame si trova nella porzione di campagna esterna verso Nord-Est rispetto al centro abitato di Inveruno (fig. 1); essa è catastalmente individuata nel Foglio n.3 del Comune di Inveruno.



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

Il progetto, i cui dettagli sono tuttora in fase di completa definizione, prevede la realizzazione di un nuovo scatolare in corrispondenza dell'asta del Canale Derivatore di Magenta.

### 3.0 Inquadramento geologico-geomorfologico

---

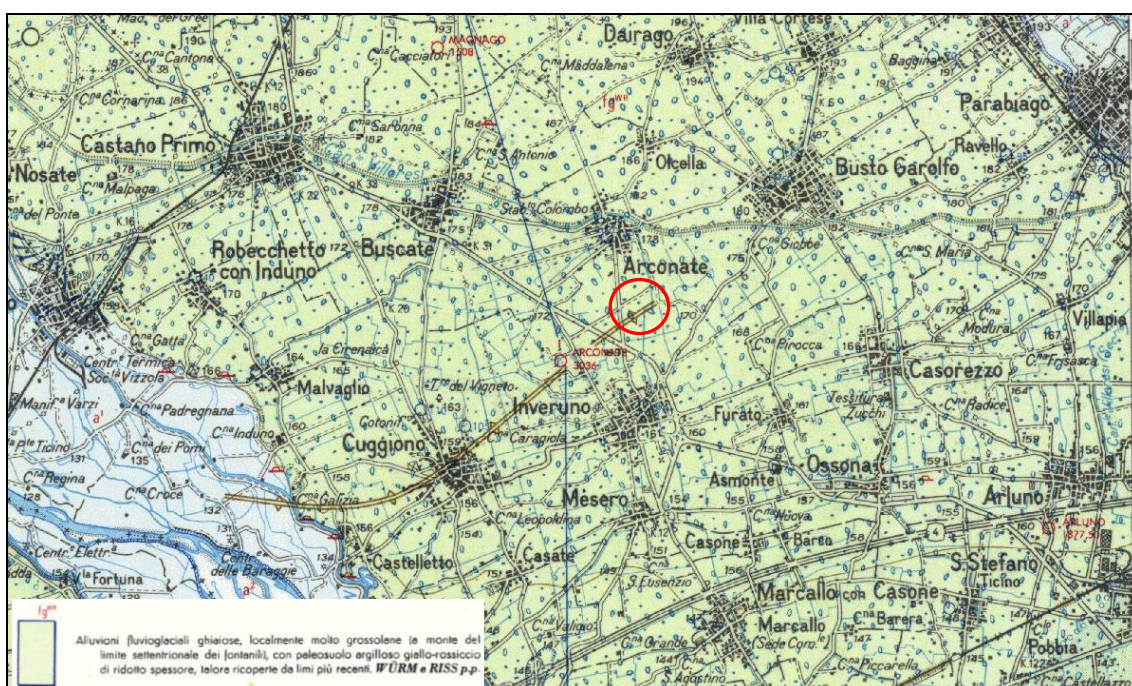
L'area è inserita nel contesto della vasta zona penepianeggiante facente parte della medio-alta Pianura Padana ad Est del fiume Ticino il quale scorre a circa 10 chilometri in direzione Ovest dalla stessa. Il territorio in esame presenta debole pendenza (2%) verso Sud/Sud-Est e risulta costituito dai 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 poco superiore a 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 argilloso-siltose e da argille siltose. Tali depositi, reperibili a profondità decisamente elevate, risultano dal punto di vista strutturale essere interessati, proprio in corrispondenza della fascia in esame, da pieghe anticlinali 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 fiume Ticino ed in subordine dai corsi d'acqua minori, quali il fiume Olona, hanno prodotto profonde incisioni testimoniate dalle grandi scarpate di raccordo fra tardoglaciale würmiano ed Olocene.

Il contesto geologico di pertinenza è stato desunto dall'esame del Foglio 44 (Novara) della *Carta Geologica d'Italia*, alla scala 1:100.000 (fig. 2): l'area su terreni appartenenti alle "Alluvioni fluvio-glaciali ghiaiose, localmente molto grossolane (a monte del limite settentrionale dei fontanili), con paleo suolo argilloso giallo-rossiccio di ridotto spessore, talora ricoperti da limi più recenti -  $fg^{WR}$ ". Litologicamente si tratta di depositi alluvionali quaternari di età tardo pleistocenica rappresentati dal punto di vista granulometrico da terreni essenzialmente grossolani ghiaioso-sabbiosi con possibile presenza di locali banchi e/o intercalazioni argilloso-limose.



**Figura 2:** Estratto *Carta Geologica d'Italia* - 1:100.000 - Foglio 44 Novara.

In superficie si riscontra in genere la presenza di uno strato eluvio-diluviale, limosoargilloso, con spessore di ordine generalmente da metrico a plurimetrico, spesso rimaneggiato o frammisto a materiali di riporto, talvolta di epoca storica.

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.

## **4.0 Inquadramento idrologico-idrogeologico**

---

### **4.1 Reticolo idrografico superficiale**

L'idrologia di superficie è caratterizzata dalla presenza del Canale Deviatore di Magenta, mentre a grande scala è da segnalare, come precedentemente riportato, la presenza del fiume Ticino che scorre a poco meno di 10 chilometri in direzione Ovest rispetto all'area dell'intervento.

Più nel dettaglio la fascia di territorio in esame è caratterizzata dalla presenza di una fitta rete di rogge e canalizzazioni ad uso agricolo irriguo asservite alla produzione in particolare di riso, mais e grano, che localmente risultano tombinate; tra queste il principale è chiaramente rappresentato dal Canale Deviatore di Magenta, oltre ad una numerosa serie di fossi e rogge minori.

Infine a poco più di 4 chilometri verso Sud-Est dell'area si segnala la presenza di alcune depressioni sedi di cava per l'estrazione di inerti, il cui fondo risulta localmente allagato (venuta a giorno della prima falda?).

### **4.2 ASSETTO IDROGEOLOGICO**

#### **4.2.1 Caratteri idrogeologici generali**

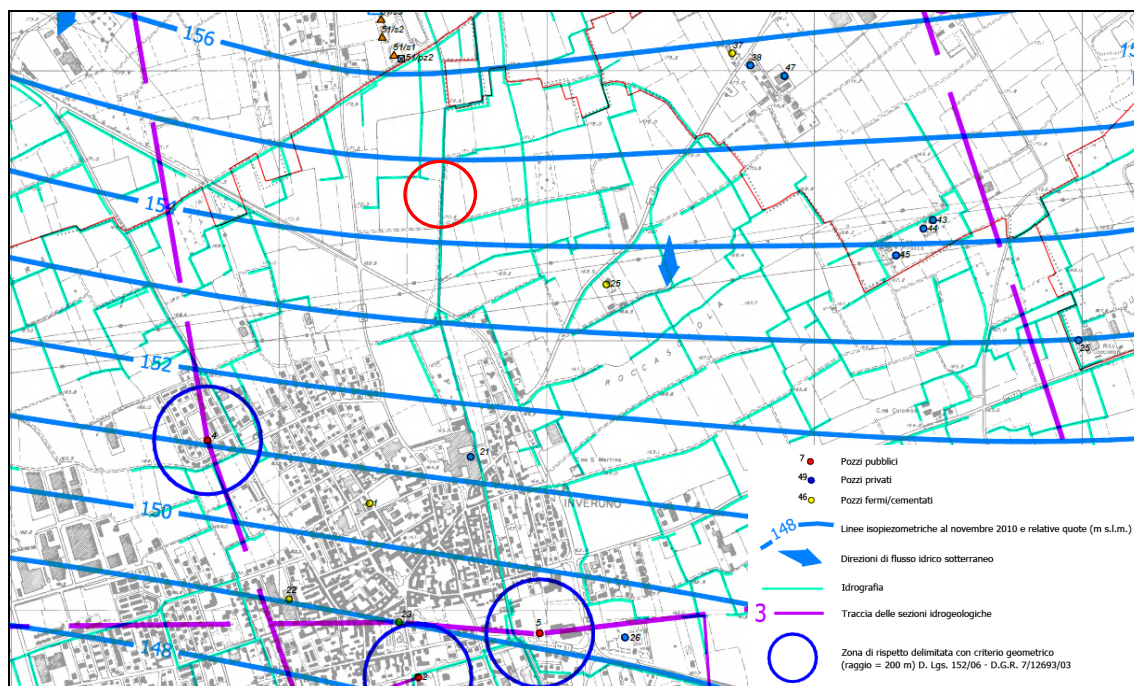
Sulla base dei dati riscontrati in bibliografia, in questa porzione di pianura il sottosuolo risulta costituito da sedimenti che appartengono al sistema deposizionale continentale padano, il quale, sostenuto di sedimenti di origine marina, è articolato in quattro gruppi acquiferi principali sovrapposti e di origine continentale, secondo lo studio "Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia" pubblicato nel 2002 ed aggiornato nel 2005 ed in cinque unità idrostratigrafiche, secondo lo studio di Avanzini M., Beretta Beretta G.P., Francani V. e Nespoli M. (1995).

Se ne illustrano di seguito le principali peculiarità.

- Gruppo Acquifero A – Unità ghiaioso-sabbiosa: rappresenta il cosiddetto “Primo acquifero” ovvero la porzione superiore costituita da facies fluviali dell'Olocene-Pleistocene Superiore dell’“Acquifero Tradizionale” che contiene la falda tradizionalmente sfruttata dai pozzi nell’area milanese, unitamente a quella contenuta nel gruppo acquifero successivamente descritto. Si tratta di un sistema multi falda assimilato ad un monostrato acquifero caratterizzato da litotipi prevalentemente grossolani con lenti argillose e livelli limoso-argillosi di limitato spessore areale che diventano invece preponderanti nel settore della bassa pianura dando luogo ad acquiferi con falde semi-confinare e confinate.
- Gruppo Acquifero B – Unità sabbioso-ghiaiosa: rappresenta invece la porzione basale dell’“Acquifero Tradizionale”, costituita da facies fluviali del Pleistocene Medio ed identificata dal punto di vista idrogeologico come “Secondo Acquifero”; è caratterizzata dall’alternanza di depositi ghiaioso-sabbiosi, sabbiosi e limoso-argillosi, talora con lenti cementate conglomeratiche o arenitiche. Gli acquiferi ospitati sono separati da quelli soprastanti da setti poco permeabili limosi ed argillosi che limitano gli interscambi tra la falda del primo acquifero e quelle del secondo acquifero che possono risultare semiconfinare e localmente confinate.
- Gruppi Acquiferi C e D – Unità sabbioso-argillosa: costituita da facies continentali e transizionali, riconducibili al Pleistocene Inferiore, al Villafranchiano Superiore e Medio; essa, rappresentata da argille e limi prevalentemente con subordinate intercalazioni di sabbie ghiaie e conglomerati, forma il substrato delle falde tradizionalmente sfruttate ed ospita acquiferi con falde confinate (“Terzo Acquifero”/“Acquiferi Profondi”).

#### **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 decametrico dal piano campagna, come già espresso regolata principalmente dagli afflussi meteorici stagionali e dalle pratiche agricole irrigue nelle campagne circostanti l’abitato di Inveruno. Nella carta dei *Caratteri Idrogeologici* allegata allo Studio Geologico a supporto del P.G.T. comunale e redatta dal Dott. Geol. Efrem Ghezzi, ottobre 2010 (fig. 3), la soggiacenza della falda in corrispondenza dell’area è segnalata a quote comprese tra 154 e 155 metri s.l.m., corrispondenti ad una profondità di circa 15.0÷16.0 metri dal piano campagna.



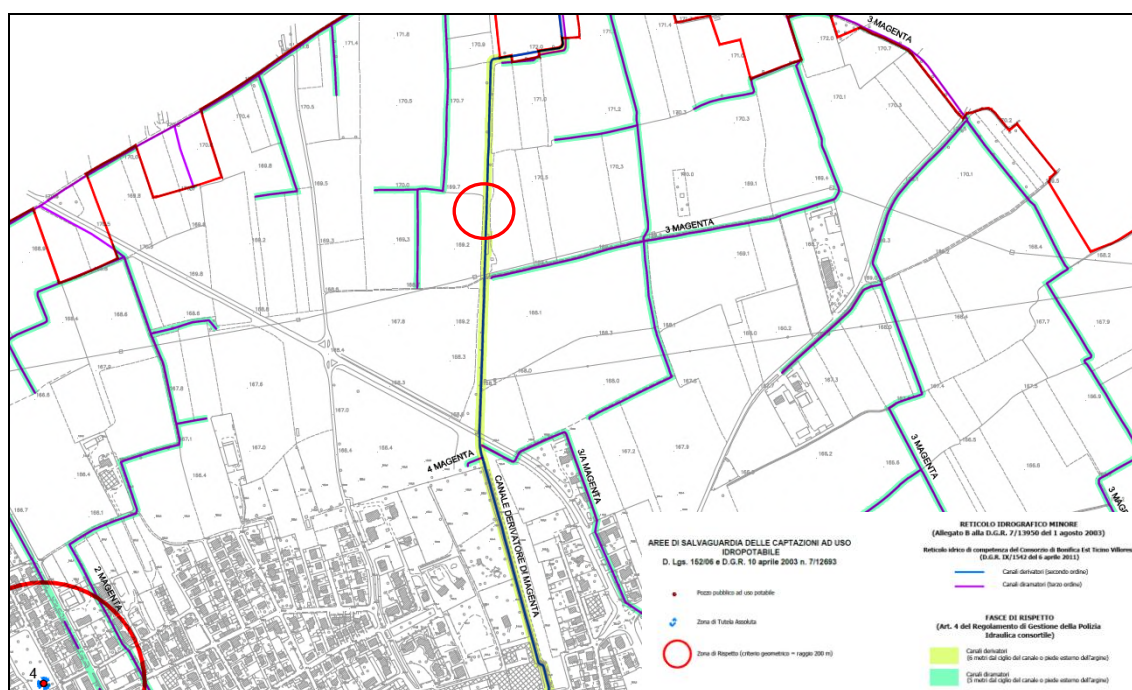
**Figura 3:** Estratto carta dei *Caratteri Idrogeologici* (P.G.T. Comune di Inveruno).

Più in superficie sussistono filtrazioni idriche "sospese", rilevate durante l'esecuzione delle indagini, per lo più di carattere temporaneo e di intensità variabile in relazione alle condizioni meteorologiche stagionali, localizzate nei livelletti di materiali incoerenti permeabili per porosità, direttamente interconnesse con il Canale Derivatore di Magenta.

Nel settore in oggetto, secondo l'elaborazione analizzata, tale falda presenta una direzione generale di flusso con direttrice disposta in senso Nord/Sud, che risulta debolmente condizionata solo localmente da limitati abbassamenti dovuti all'attività di emungimento delle acque di falda da parte sia dei pozzi acquedottistici che di quelli delle attività agricole presenti, condizioni in ogni caso non determinano importanti zone di depressione della superficie piezometrica.

## 5.0 Fattibilità – Vincoli Geologici, Idrogeologici ed Idraulici

L'area in esame ricade entro aree sottoposte a vincolo idraulico, come riportato nella cartografia geologico-tecnica di riferimento: nella *Carta dei Vincoli* (fig. 4) pertinente lo Studio Geologico a supporto del P.G.T. comunale (Dott. Geol. Efrem Ghezzi, luglio 2011) essa risulta compresa nella fascia di rispetto di 6 metri dei canali derivatori misurata a partire dal ciglio di sponda o dal piede esterno dell'argine. In tale fascia di rispetto valgono le disposizioni contenute nell'art. 4 del Regolamento di gestione della polizia idraulica del Consorzio Est Ticino-Villoresi, di cui alla D.G.R. 6 aprile 2011 n. IX/1542.



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

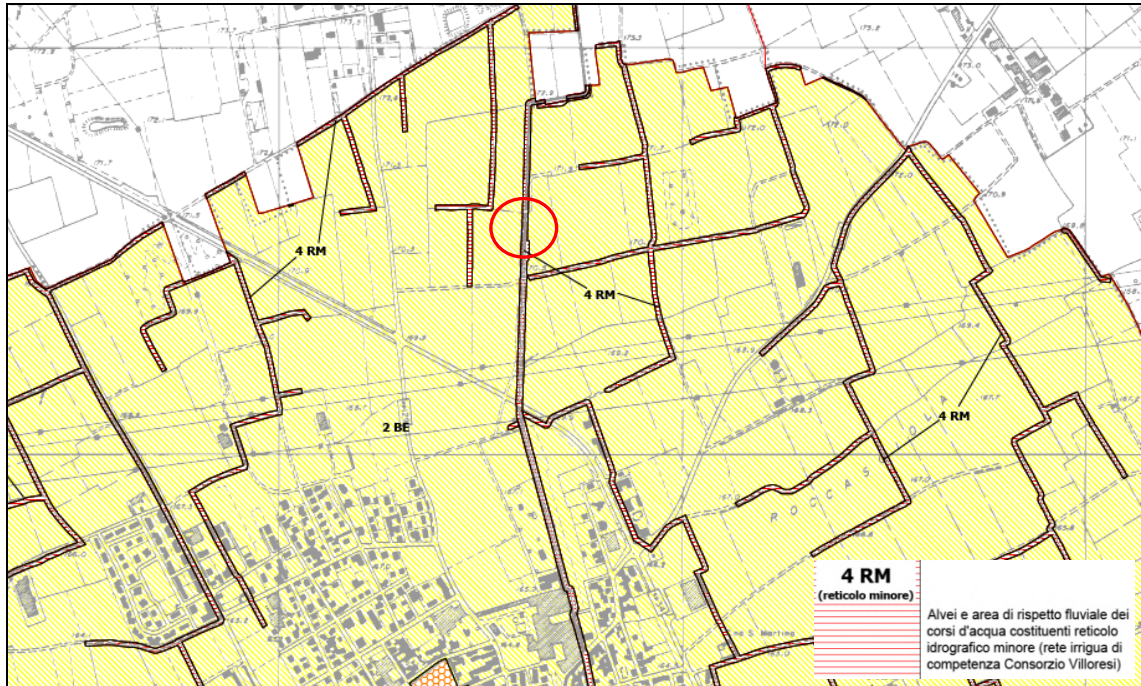
Nella cartografia *P.G.R.A.-Po* (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po), redatta in riferimento al D.Lgs. n.49 del 23.02.2010 ed attuativo della Direttiva Europea 2007/60/CE, revisione 2020 (fig. 5) il sedime risulta esterno alle aree allagabili individuate con scenari di pericolosità P1-L, P2-M e P3-H e conseguentemente alle aree a rischio R1, R2, R3 ed R4.



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

Nella carta della *Fattibilità Geologica* (fig. 6) l'area in esame è classificata nella Classe 4 di Fattibilità Geologica, “*fattibilità con gravi limitazioni*” nella quale ricadono “*alvei e area di rispetto fluviale dei corsi d'acqua costituenti reticolo idrografico minore (rete irrigua di competenza Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi)*” in cui risulta inclusa l’*area di rispetto fluviale necessaria a consentire l’accessibilità ai canali irrigui ai fini della loro manutenzione, fruizione e riqualificazione ambientale. Costituisce l’area di riferimento per l’attività di polizia idraulica di competenza del consorzio di Bonifica Est Ticino – Villoresi.*”

In tali aree “*è vietata qualsiasi nuova opera edificatoria, ad eccezione di eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico solo se non altrimenti localizzabili, corredati da uno studio di compatibilità idraulica degli interventi [...]. Valgono comunque le limitazioni previste dal Regolamento consortile di Polizia Idraulica.*”



**Figura 6:** Estratto carta della *Fattibilità Geologica* (P.G.T. Comune di Inveruno).

In conclusione, dal punto di vista della fattibilità geologica generale, l'area è giudicata idonea ad accogliere l'intervento programmato, fatte salve tutte le necessarie verifiche idrauliche non oggetto del presente elaborato e le prescrizioni di carattere geologico-geotecnico che verranno indicate nei paragrafi successivi, sulla base delle indagini puntuali svolte in sito.

## 6.0 Indagini geognostiche

---

Il programma di indagine, definito su disposizioni della committenza rappresentata dall'Ing. Alessandro Di Leo si è così articolato:

- n.2 prove penetrometriche dinamiche D.P.S.H. (Dynamic Probing Super Heavy), spinte entrambe a profondità di rifiuto rispettivamente di -6.20m (D.P.S.H. 1) e di -5.60 (D.P.S.H. 2) dall'attuale p.c.;
- n.1 base sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) della lunghezza complessiva di 60.0m (L1).

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



**Figura 7:** Foto satellitare con ubicazione punti di indagine.

## **6.1 PROVE PENETROMETRICHE**

Per l'acquisizione dei dati è stato impiegato un penetrometro semovente statico-dinamico PAGANI modello TG 63-150, 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 dinamiche ha comportato la verifica del numero di colpi  $N$  del maglio necessari per infiggere verticalmente nel terreno, per intervalli consecutivi della lunghezza di 20 cm, l'apposita punta conica collegata ad una batteria di aste. Le caratteristiche tecniche dell'attrezzatura in modalità dinamica sono le seguenti:

<i>Peso della massa battente</i>	63.5 Kg
<i>Altezza di caduta</i>	75 cm
<i>Superficie della punta</i>	20 cm <sup>2</sup>
<i>Diametro della punta</i>	51 mm, con conicità 90°
<i>Diametro delle aste</i>	32 mm
<i>Peso delle aste</i>	6.31 Kg/m
<i>Passo infissione</i>	20 cm

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

- il numero di colpi  $N_{20}$  necessari per avanzamenti della punta di 20 cm;
- i valori di resistenza dinamica alla punta ( $R_{pd}$ ) assimilabili ai valori di  $R_p$ .
- i valori di resistenza  $N_{SPT}$  ricavati dai valori di  $N_{20}$  tramite la correlazione  $N_{SPT} = 1.47 \cdot N_{20}$ .

## **6.2 STENDIMENTO SISMICO M.A.S.W.**

L'acquisizione di campagna è stata condotta con il sismografo Pasi modello Gea 24 con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno automatico del segnale (in ampiezza). Sono stati utilizzati n.12 geofoni verticali da 4.5 Hz spazati di 5m con offset a 5m di distanza dal primo geofono, l'energizzazione è avvenuta tramite mazza del peso di 10 Kg.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (M.A.S.W.), il dataset è stato ottenuto mediante le seguenti modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
  - n.12 geofoni verticali da 4.5 Hz
  - Energizzazione verticale su piastra quadrata in lega di alluminio

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW 3C 7.2 beta e nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF). Una volta individuato il dataset da utilizzare è stato determinato lo spettro di velocità e successivamente è stata effettuata la modellazione.

È necessario sottolineare che l'interpretazione delle indagini geofisiche viene fatta nell'ipotesi che gli strati del sottosuolo siano omogenei, orizzontali e con superfici di separazione piano parallele. Si rammenta infine come, in ogni caso, la valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira attorno al 10-15%.

## 7.0 Caratterizzazione litostratigrafica

---

L'insieme dei dati attualmente disponibili, derivanti dalle indagini geognostiche (D.P.S.H., M.A.S.W.) ed i rilevamenti eseguiti in sito oltre che dall'esame di indagini geognostiche già eseguite nelle vicinanze dell'area di intervento, ha consentito di definire uno schema nel quale si identificano degli orizzonti litostratigrafici sovrapposti, aventi parametri litologici e geomeccanici specifici.

Le variazioni del parametro  $N_{20}$  rilevate lungo le singole verticali di prova e del parametro  $V_{s,eq}$  rilevate in corrispondenza dello stendimento M.A.S.W., 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:

Limi argillosi e sabbiosi da molli a poco consistenti, con locali ciottoli poligenici ed eterometrici sub-arrotondati, localmente sormontati e frammiste a materiali eterogenei di riporto; i valori caratteristici di  $N_{20}$  sono compresi tra **2 e 4**.

### LIVELLO II:

Sabbie ghiaiose mediamente addensate in matrice fine limoso-argillosa più o meno abbondante, caratterizzate da  $N_{20} = 20 \div 25$  (**LIVELLO II-A**) passanti a ghiaie sabbiose grossolane addensate in poca matrice fine argilloso-limosa e valori di  $N_{20}$  inizialmente compresi tra **25 ÷ 40**, quindi **>100 (LIVELLO II-B)**.

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

Con riferimento alla quota di inizio prova (corrispondente al **piano campagna in destra orografica del Canale Derivatore di Magenta** alla data di esecuzione delle prospezioni), i rapporti stratigrafici nei diversi punti di indagine possono essere così schematizzati:

Punto di prova n°		D.P.S.H. P1	D.P.S.H. P2
Quota inizio prova		Piano Campagna	
Prof. da <u>piano di prova</u> interfaccia strati (m)	I – II-A	-4.00	-3.80
	II-A – II-B	-5.40	-5.20
Prof. fine prova (m da piano prova)		-6.20	-5.60

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

Nel corso delle indagini non è stato possibile riscontrare presenza di acque sotterranee in quanto i fori di prova risultavano ostruiti superficialmente; come precedentemente espresso la falda principale si attese a profondità di ordine decametrico (15m) dal p.c.; più in superficie è accertata la presenza di filtrazioni idriche direttamente interconnesse al Canale Derivatore di Magenta, solitamente di carattere temporaneo e correlate in particolare ai periodi intensamente piovosi.

## 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-A	II-B
Comportamento geotecnico		coesivo	incoerente	incoerente
Valori medio-minimi di $N_{20}$		2÷3	20÷22	25÷30
Peso di volume secco $\gamma$ [t/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_k$ stima della media	1.75	1.85	1.90
	$\gamma_k$ stima del minimo	1.70	1.80	1.85
Peso di volume immerso $\gamma_i$ [t/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{i,k}$ stima della media	-	-	-
	$\gamma_{i,k}$ stima del minimo	-	-	-
Densità relativa $D_r$ [%]	$D_{r,k}$ stima della media	-	75.0	90.0
	$D_{r,k}$ stima del minimo	-	65.0	85.0
Coesione non drenata $C_u$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]	$C_{u,k}$ stima della media	0.35	-	-
	$C_{u,k}$ stima del minimo	0.25	-	-
Coesione efficace $c'$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]	$c'_k$ stima della media	0.0	0.0	0.0
	$c'_k$ stima del minimo	0.0	0.0	0.0
Angolo di attrito efficace $\phi'$ [°]	$\phi'_k$ stima della media	23.5	30.0	34.0
	$\phi'_k$ stima del minimo	22.0	29.0	21.0
Modulo Edometrico $M$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]	$M_k$ stima della media	40.0	110.0	185.0
	$M_k$ stima del minimo	30.0	100.0	150.0
Modulo Elastico $E$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]	$E_k$ stima della media	-	240.0	330.0
	$E_k$ stima del minimo	-	220.0	260.0
Modulo Elastico non drenato $E_u$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]	$E_{u,k}$ stima della media	180.0	-	-
	$E_{u,k}$ stima del minimo	140.0	-	-
Coefficiente di Poisson $\nu$	$\nu_k$ stima della media	0.35	0.25	0.20
	$\nu_k$ stima del minimo	0.40	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) =  $\mu \cdot [1 - 1.645 \cdot C.O.V.]$

$\mu$  = 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  $s / \mu$

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 l'apparato fondazionale del nuovo scatolare sarà verosimilmente costituito da una platea, tipologia che permetterà il trasferimento delle azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti (resistenze compensate).

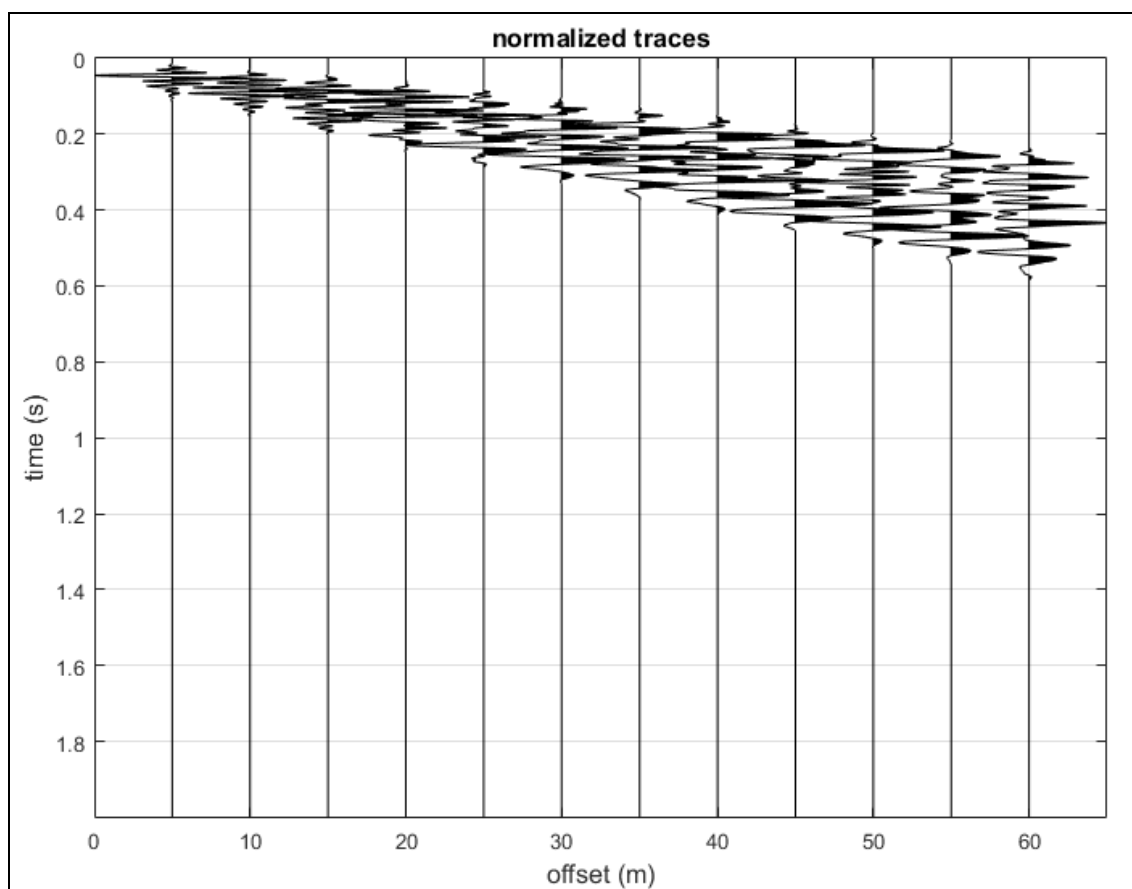
## 9.0 Caratterizzazione sismica

### 9.1 RAPPRESENTAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI SISMICI

Al fine di fornire i valori delle  $V_{s,eq}$ , necessarie per la caratterizzazione sismica del sito, è stata realizzata una stesa sismica denominata L1, di lunghezza pari a 60m con distanza intergeofonica pari a 5.0 metri.

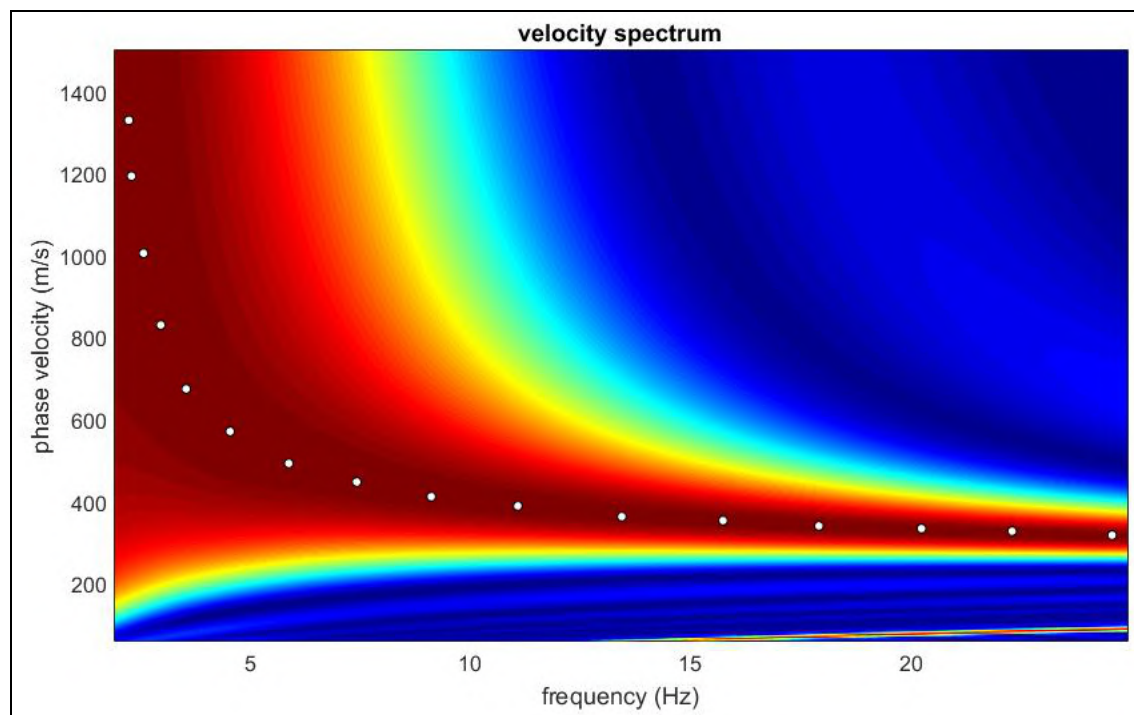
L'energizzazione del terreno (sorgente di energia), per la lettura dei tempi di arrivo delle onde Superficiali (Rayleigh), è stata ottenuta impiegando una mazza battente da 10 kg in senso verticale su di una piastra in lega di alluminio aderente al suolo. L'energizzazione è stata effettuata agli estremi dello stendimento ad una distanza di 5.0m ed è stata eseguita più volte per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati.

Si riporta di seguito il sismogramma frutto della somma di ciascuna acquisizione, filtrato di eventuali disturbi di fondo, scelto per la modellazione (fig. 8):



**Figura 8:** Sismogramma ZVF (onde Rayleigh) base sismica L1.

L'elaborazione del sismogramma ha consentito di estrapolare lo spettro di velocità dal quale si è risalito tramite picking alla curva di dispersione (fig. 9) che consente di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.

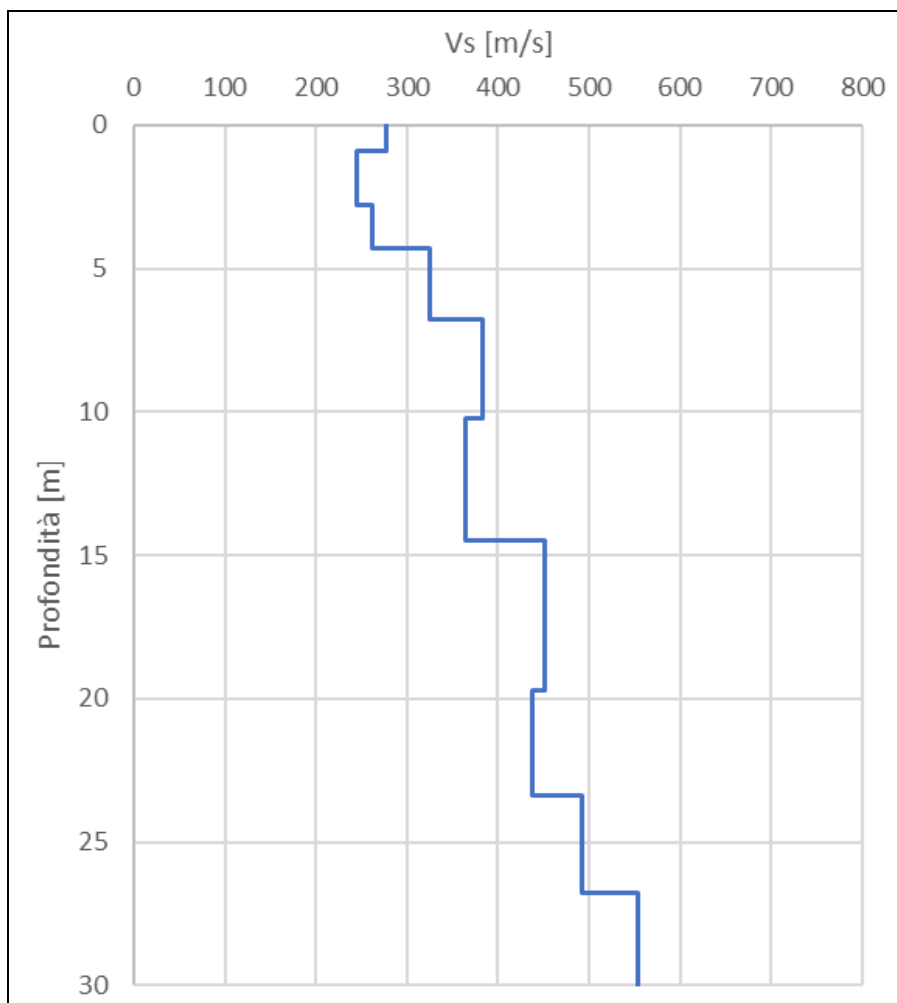


**Figura 9:** Spettro di velocità base sismica L1 con picking.

Dall'inversione della curva di dispersione si è ottenuta la ricostruzione del sottosuolo in orizzonti aventi differenti spessori e valori di velocità, come indicato nella tabella seguente.

L1		
Spessore (m)	Profondità (m)	V <sub>s</sub> (m/sec)
0.90	0.00 - 0.90	<b>278</b>
1.90	0.90 - 2.80	<b>244</b>
1.50	2.80 - 4.30	<b>261</b>
2.50	4.30 - 6.80	<b>325</b>
3.40	6.80 - 10.20	<b>383</b>
4.30	10.20 - 14.50	<b>364</b>
5.20	14.50 - 19.70	<b>451</b>
3.70	19.70 - 23.40	<b>437</b>
3.40	23.40 - 26.80	<b>492</b>
3.20	26.80 - 30.00	<b>553</b>

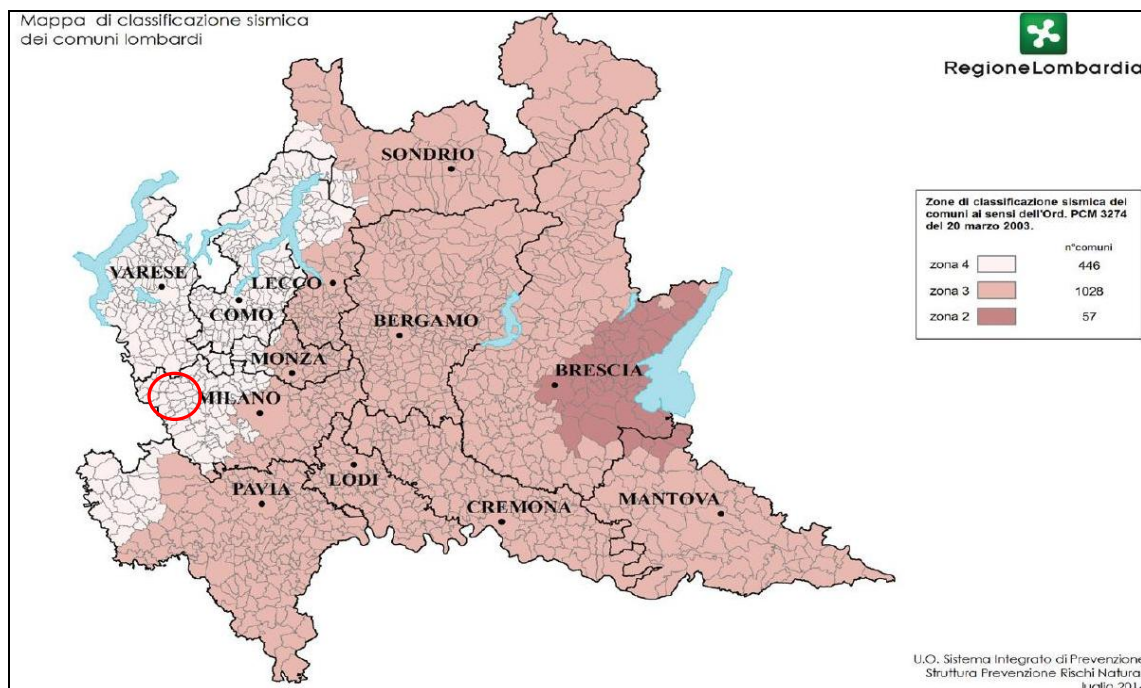
**Tabella 3:** Orizzonti individuati e relativi valori di V<sub>s</sub>.



**Figura 10:** Diagramma delle velocità  $V_s$  riferite ai vari strati intercettati nella base sismica L1.

## **9.2 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 Inveruno è classificato in **zona sismica 4** a “sismicità molto bassa”, cui corrisponde un valore massimo di  $a_g$  pari a 0.05g (fig. 11).

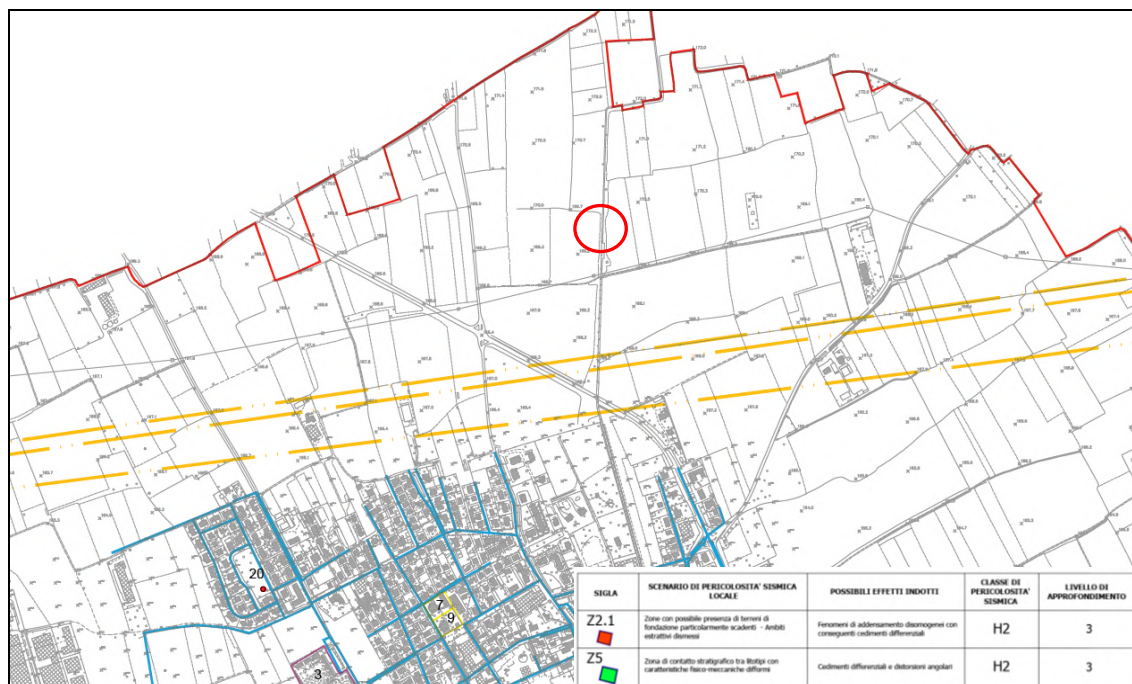


**Figura 11:** Classificazione sismica dei comuni della Lombardia a seguito della D.G.R. n. X/2129.

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. 45.52826° e long. 8.85484°, risultano  $< 0.05g$  relativo alla **zona sismica 4** (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*”).

### **9.2.1 Pericolosità Sismica Locale (PSL)**

L’area in esame non ricade direttamente in nessuno scenario di pericolosità sismica locale, come riportato nella carta della *Pericolosità Sismica Locale* pertinente lo Studio Geologico a supporto del P.G.T. comunale (Dott. Geol. Efrem Ghezzi, luglio 2011 - fig. 12).



**Figura 12:** Estratto carta della *Pericolosità Sismica Locale* (P.G.T. Comune di Inveruno).

Pertanto, dal punto di vista della sismicità, l'area è giudicata idonea ad accogliere l'intervento di edificazione programmato, fatte salve le prescrizioni di carattere sismico che verranno indicate nei paragrafi successivi.

### **9.3 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.

## 9.4 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. 13) definite in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,eq}$  corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio 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 30m la velocità equivalente  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30m. L'espressione per la determinazione della velocità equivalente  $V_{s,eq}$  è la seguente:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_i}}$$

$h_i$  = Spessore in metri dello strato i-esimo  
 $V_i$  = Velocità dell'onda di taglio i-esima  
 $N$  = Numero di strati  
 $H$  = Profondità del substrato sismico con  $V_s > 800$  m/s

Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata determinata tramite i dati ottenuti dallo stendimento sismico con metodologia M.A.S.W. eseguito in corrispondenza dell'area di indagine. Dall'elaborazione di tali dati il terreno presenta per la linea eseguita, valori delle  $V_{s,eq}$  corrispondenti alle  $V_{s,30}$  (il substrato sismico non è stato individuato nei primi 30m di profondità) pari a **385.37 m/s**, riferiti all'attuale piano campagna; il terreno è pertanto classificabile in **categoria B** "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s".

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

Figura 13: 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. 14), 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 14:** Tabella 3.2.III “Categorie topografiche” – D.M. 17.01.2018.

## 9.5 ANALISI DI 2° LIVELLO

### 9.5.1 Effetti litologici – Stima del Fattore di Amplificazione $F_a$

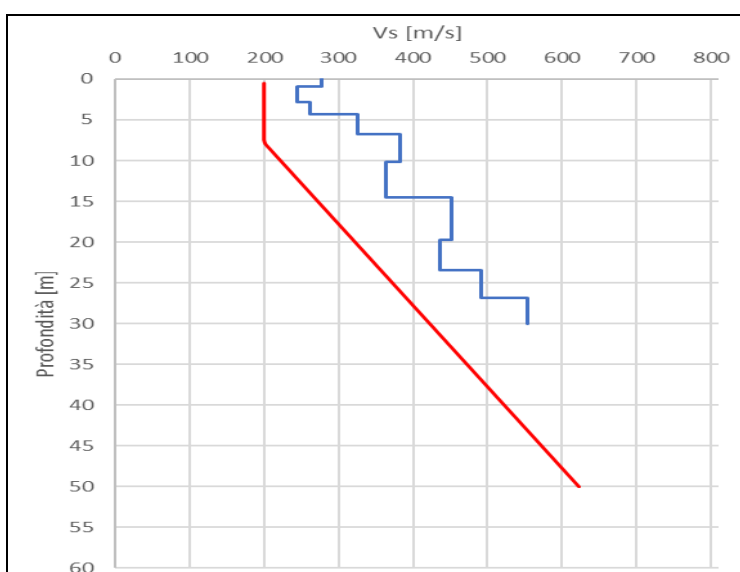
La valutazione degli effetti di amplificazione dovuti alla litologia è avvenuta mediante la procedura semplificata di 2° livello riportata nella D.G.R. 8/7374 del 28 Maggio 2008 e successivamente ripresa dalla D.G.R. IX/2616 del 30 Novembre 2011 di Regione Lombardia; la sua applicazione richiede la conoscenza della litologia prevalente dei materiali presenti in sito; e dell’andamento delle  $V_{s,eq}$  con la profondità (spessore e velocità  $V_{s,eq}$  di ciascuno strato); per la loro determinazione sono stati utilizzati i risultati ottenuti dalla esecuzione delle prove penetrometriche realizzate in sito unitamente ai dati relativi ad indagini geognostiche già realizzate ed alle stratigrafie delle indagini eseguite sul territorio comunale oltre che ai risultati emersi dall’esecuzione dell’indagine geofisica M.A.S.W.. La procedura fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valori di Fattori di Amplificazione ( $F_a$ ) dal punto di vista degli effetti litologici, al fine di determinare se la normativa nazionale risulta sufficiente o meno nella stima degli effetti di amplificazione sismica locale sulla base del confronto tra gli  $F_a$  calcolati e quelli di riferimento indicati dalla Regione Lombardia per ciascun comune; lo studio è condotto con metodi quantitativi semplificati, validi per le amplificazioni litologiche ed è utilizzato per caratterizzare l’area in esame in funzione del fattore  $F_a$ . Tale valore di  $F_a$  si riferisce quindi agli intervalli di periodo 0.1-0.5s e 0.5-1.5s, in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie più rappresentate sul territorio regionale, rispettivamente riferibili a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide (max. 4 piani) ed a strutture alte e flessibili (5 o più piani).

Sulla base dei parametri geotecnici e litologici si individua la litologia prevalente del sito e da questa si sceglie la relativa scheda di riferimento tra quelle riportate nella citata normativa regionale, che può essere utilizzata se l'andamento delle  $V_{s,eq}$  ricade nel campo di validità dell'apposito diagramma riportato nella scheda. Successivamente ricavando lo spessore del primo "sismo-strato" con  $V_{s,eq}$  pari ad almeno 200 m/s (il cui spessore deve essere di almeno 4 metri) si determina quali curve tra quelle riportate nella scheda per i due diversi intervalli di periodo descritti occorre utilizzare per la valutazione del Fattore di Amplificazione, sulla base del periodo T del sito (calcolato a partire dall'andamento delle  $V_{s,eq}$  con la profondità fino agli 800 m/s direttamente misurati o ipotizzati con adeguato gradiente).

**STIMA DEGLI EFFETTI LITOLOGICI**  
ai sensi della D.G.R. IX/2616 - 30.11.2011 di Regione Lombardia

**Scheda "LITOLOGIA LIMOSO-SABBIOSA TIPO 2"**

L1		
Spess. (m)	Prof. (m)	$V_s$ (m/s)
0.90	0.90	278
1.90	2.80	244
1.50	4.30	261
2.50	6.80	325
3.40	10.20	383
4.30	14.50	364
5.20	19.70	451
3.70	23.40	437
3.40	26.80	492
3.20	30.00	553



$V_{s,eq}$ (m/s)	Cat. sottosuolo
385.37	B

Periodo T (s)
0.45

Primo strato	
Prof. (m)	4.30
$V_s$ (m/s)	257.0

Curva caratteristica	
n.	3

		Profondità primo strato (m)																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	35	40	50	60							
Velocità primo strato (m/s)	200				1	1	1	1	1	1	1																			
	250				2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1														
	300				3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2													
	350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3												
	400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3											
	450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3										
	500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3									
	600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3								
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3								

**VERIFICA**

Periodo	Valori $F_a$ di sito	Valori $F_a$ di soglia Comune di INVERUNO			
		Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
$0.1 < T < 0.5$ s	<b>1.77</b>	1.40	<b>1.80</b>	2.20	2.00
$0.5 < T < 1.5$ s	<b>1.43</b>	<b>1.70</b>	2.40	4.20	3.10

La procedura ha permesso di stimare gli  $F_a$  con le schede di valutazione sopra riportate e di confrontarlo con i corrispettivi valore di soglia, considerando una variabilità di  $\pm 0.1$ , che tiene conto la variabilità del valore di  $F_a$  ottenuto.

Il valore di **Fa calcolato risulta essere, per EDIFICI BASSI (periodo  $0.1 \div 0.5$  s), superiore al valore di soglia di riferimento per la categoria del suolo B**, tuttavia, in questi casi, la normativa regionale vigente (D.G.R. n.IX/2616 del 30.11.2011) prevede all'All. 5 "punto 2.2.2 Effetti litologici" due possibilità:

- il passaggio allo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore con il seguente schema: anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- studio di terzo livello.

Pertanto, in accordo con la vigente normativa, sarà possibile utilizzare in fase di progettazione **per EDIFICI BASSI** la categoria di suolo C in quanto il valore di  $F_a$  calcolato ( $F_a = 1.77$ ) è inferiore al valore di soglia per la categoria di suolo C ( $F_a = 1.80$ ). Per quanto riguarda gli edifici alti (periodo  $0.1 \div 0.5$  s) il valore di  $F_a$  calcolato ( $F_a = 1.43$ ) è inferiore al valore di soglia di 1.70.

In conclusione solo **nel caso di EDIFICI E STRUTTURE ALTE lo spettro proposto dalla normativa per suoli di tipo B risulta sufficiente** a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito, mentre **in caso di EDIFICI E STRUTTURE BASSE è necessario passare alla categoria di suolo successiva, ovvero alla CATEGORIA C.**

## 9.6 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
45.52826°	8.85484°

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  $V_N$ :  $\geq 50$  anni** (tabella 2.4.I - tipologie costruttive 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	0.015	2.546	0.159
	SLD	63%	50	0.019	2.525	0.168
SLU	SLV	10%	475	0.039	2.651	0.282
	SLC	5%	975	0.046	2.686	0.306

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)	$F_V$
<b>SLE</b>	<b>SLO</b>	1.50	1.924	1.00	0.100	0.307	1.661	0.42
	<b>SLD</b>	1.50	1.891	1.00	0.106	0.318	1.676	0.46
<b>SLU</b>	<b>SLV</b>	1.50	1.594	1.00	0.150	0.450	1.755	0.71
	<b>SLC</b>	1.50	1.552	1.00	0.158	0.475	1.785	0.78

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  $\text{m/s}^2$ , pertanto i valori nominali di  $a_g$  precedentemente calcolati vanno moltiplicati per  $9.81 \text{ m/s}^2$  e successivamente moltiplicati per i coefficienti di amplificazione sismica  $S = S_s \cdot S_t$ .

Stati limite		$a_g$ (g)	$a_g$ (m/s <sup>2</sup> )	$S$ ( $S_s \cdot S_t$ )	$A_{max}$ (g)	$A_{max}$ (m/s <sup>2</sup> )
<b>SLE</b>	<b>SLO</b>	0.015	0.147	1.50	0.023	0.221
	<b>SLD</b>	0.019	0.186	1.50	0.029	0.280
<b>SLU</b>	<b>SLV</b>	0.039	0.383	1.50	0.059	0.574
	<b>SLC</b>	0.046	0.451	1.50	0.069	0.677

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	0.005	0.002
	SLD	0.006	0.003
SLU	SLV	0.012	0.006
	SLC	0.014	0.007

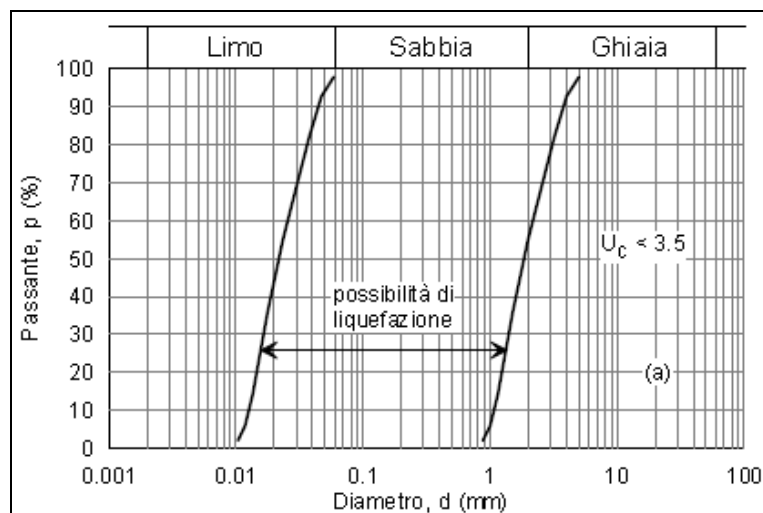
## 10.0 Valutazione del potenziale di liquefazione

---

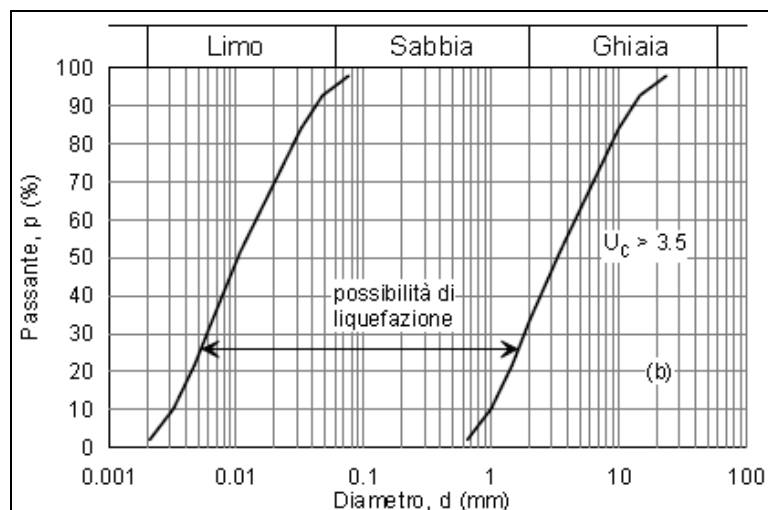
Il fenomeno della liquefazione interessa generalmente depositi sabbiosi e/o sabbioso-limosi sciolti, saturi e a granulometria uniforme, i quali a seguito di una sollecitazione sismica passano dallo stato solido a quello fluido, denotando una diminuzione della resistenza al taglio a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali ( $u$ ), tale da generare deformazioni permanenti significative o persino dell'annullamento delle pressioni efficaci ( $\sigma'$ ) 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 15, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  ed in figura 16, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .



**Figura 15:** Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione con  $U_c < 3.5$ .



**Figura 16:** 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 1., in quanto l'accelerazione massima attesa allo stato limite SLC risulta  $A_{\max}$  (g) pari a  $0.069g < 0.1g$ .

## 11.0 Terre e Rocce da scavo

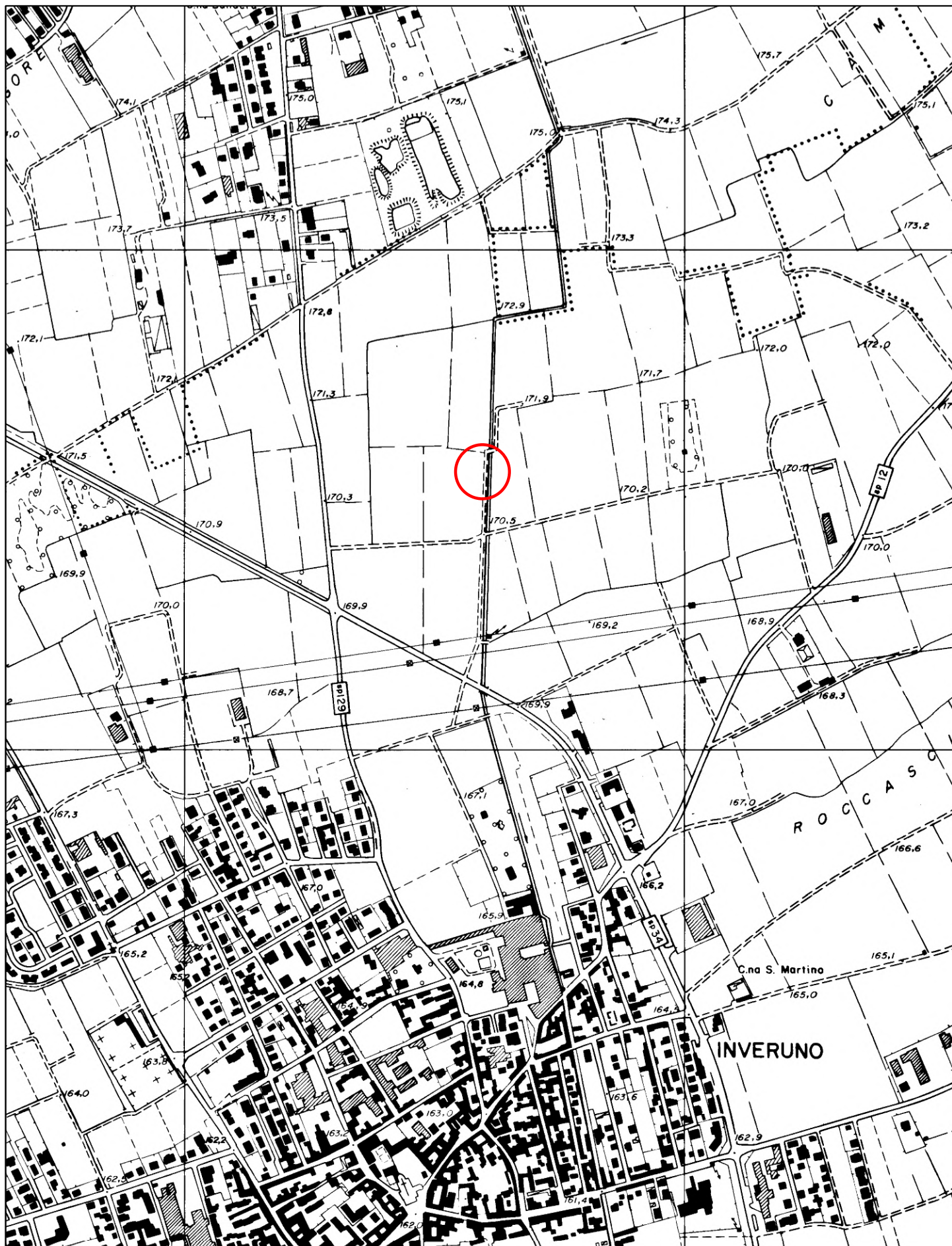
---

Per il riutilizzo dei materiali di risulta di eventuali 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.

Rivalta Scrivia (AL), maggio 2022

A circular professional stamp of the Ordine dei Geologi della Lombardia. The text inside the stamp reads: "Dr. Geologo MASSIMO FERRI n. 955". Below the stamp is a handwritten signature in dark ink that appears to read "Massimo Ferri".

Dott. Geol. Massimo FERRI



Committente:  Consorzio di Bonifica Est Ticino Villorese	A cura di:  PERFORMA S.r.l. C.so Montebello n.1/A 15057 Tortona (AL)	REALIZZAZIONE NUOVO SCATOLARE SUL DERIVATORE DI MAGENTA IN COMUNE DI INVERUNO (MI)	Data: Maggio 2022
	Corografia generale con ubicazione area in esame	ALL.1	Scala: 1:10.000



#### Legenda

- Zona oggetto di intervento
- Linea sismica M.A.S.W. con interdistanza geofonica di 5.0m
- X Prova penetrometrica dinamica D.P.S.H.
- Punto di energizzazione



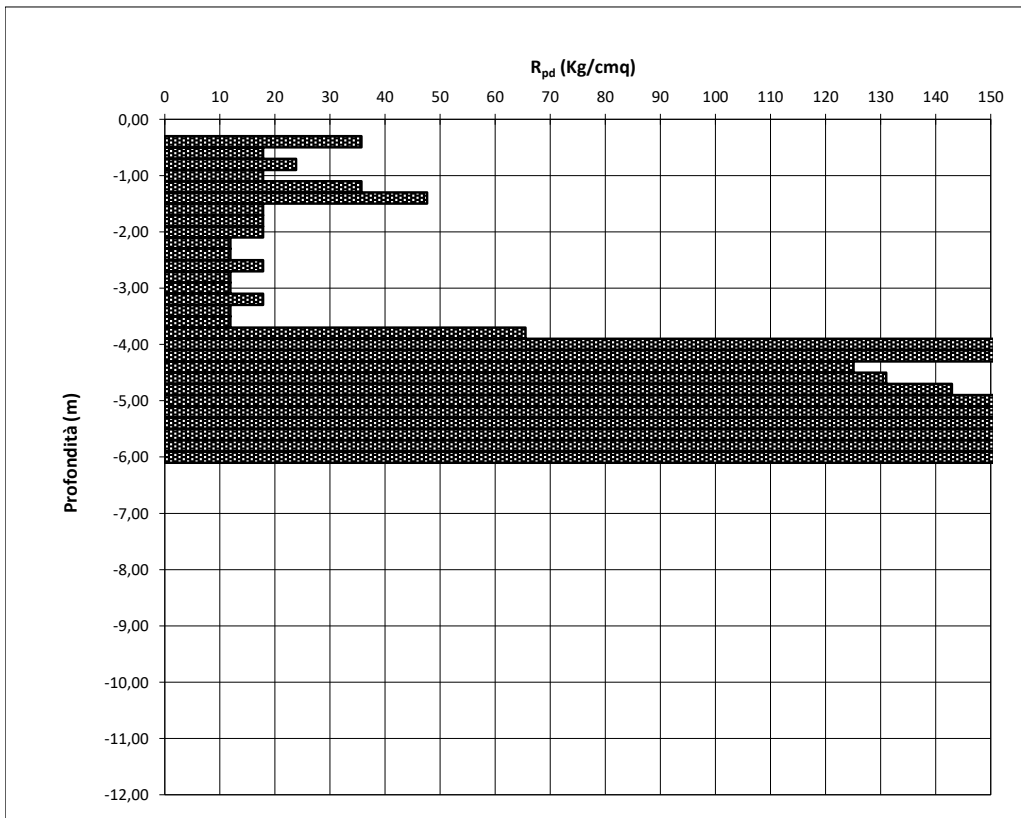
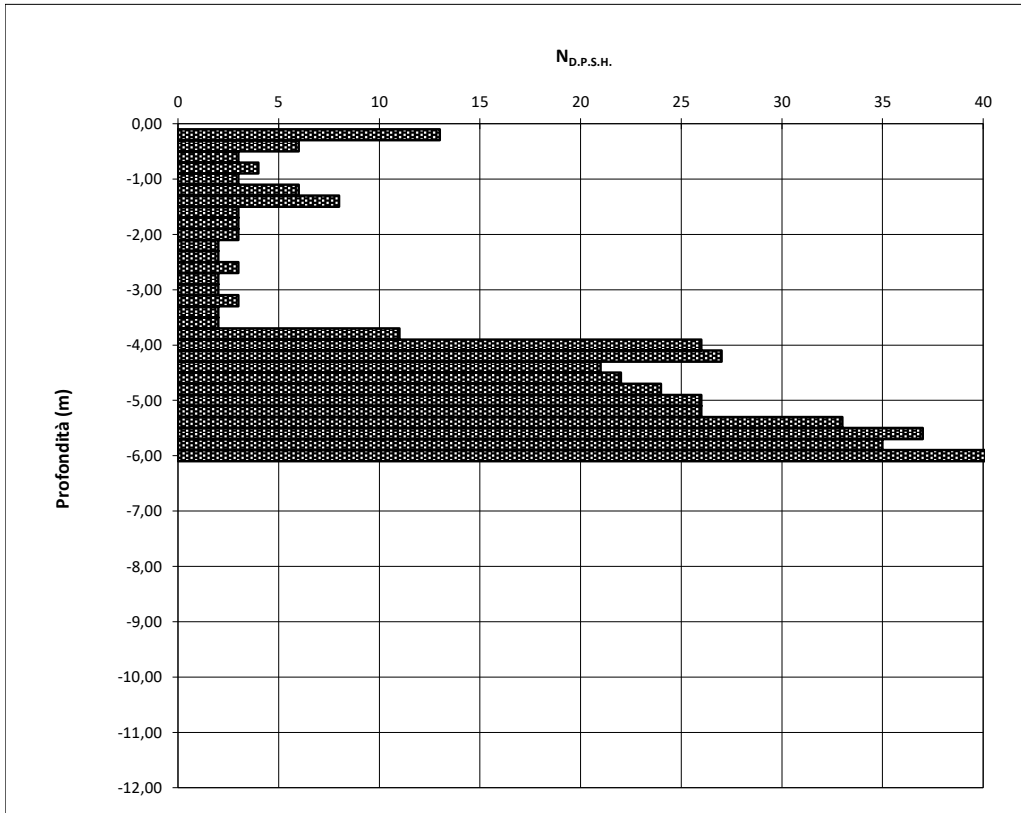
Committente: Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi	A cura di: PERFORMA S.r.l. C.so Montebello n.1/A 15057 Tortona (AL)	REALIZZAZIONE NUOVO SCATOLARE SUL DERIVATORE DI MAGENTA IN COMUNE DI INVERUNO (MI)		Data: Maggio 2022
		Foto aerea con ubicazione punti di indagine	ALL.2	Scala: 1:500

Committente: Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi	A cura di: PERFORMA S.r.l. C.so Montebello n.1/A 15057 Tortona (AL)	REALIZZAZIONE NUOVO SCATOLARE SUL DERIVATORE DI MAGENTA IN COMUNE DI INVERUNO (MI)		Data: Maggio 2022
		Grafici prove penetrometriche	ALL.3	Scala: //

**Prova penetrometrica dinamica n. D.P.S.H. 1**

Località: **Inveruno (MI)**  
Committente: **Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi**

Data: **13.04.2022**  
Quota inizio: **piano campagna**



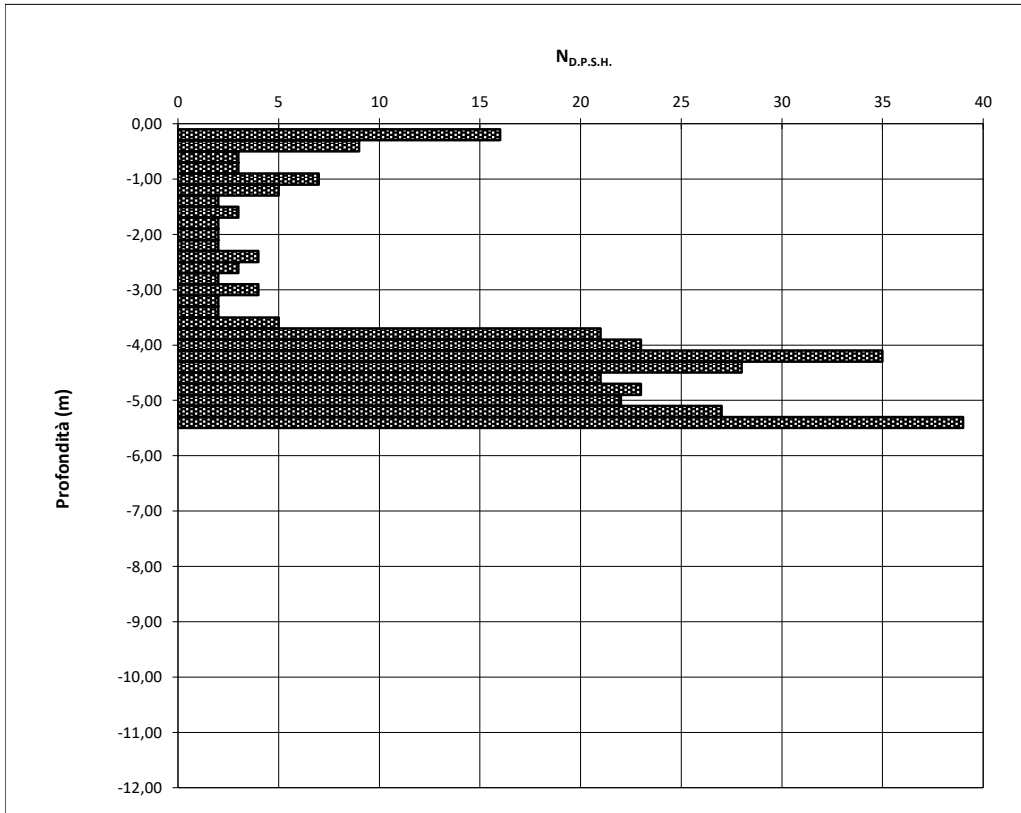
Quota	N <sub>20</sub>	R <sub>pd</sub>	N <sub>SPT</sub>
0,00	0	0	0
-0,20	13	0	19
-0,40	6	36	9
-0,60	3	18	4
-0,80	4	24	6
-1,00	3	18	4
-1,20	6	36	9
-1,40	8	48	12
-1,60	3	18	4
-1,80	3	18	4
-2,00	3	18	4
-2,20	2	12	3
-2,40	2	12	3
-2,60	3	18	4
-2,80	2	12	3
-3,00	2	12	3
-3,20	3	18	4
-3,40	2	12	3
-3,60	2	12	3
-3,80	11	66	16
-4,00	26	155	38
-4,20	27	161	40
-4,40	21	125	31
-4,60	22	131	32
-4,80	24	143	35
-5,00	26	155	38
-5,20	26	155	38
-5,40	33	197	49
-5,60	37	220	54
-5,80	35	208	51
-6,00	44	262	65
-6,20	RIFIUTO		
-6,40			
-6,60			
-6,80			
-7,00			
-7,20			
-7,40			
-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 in superficie.

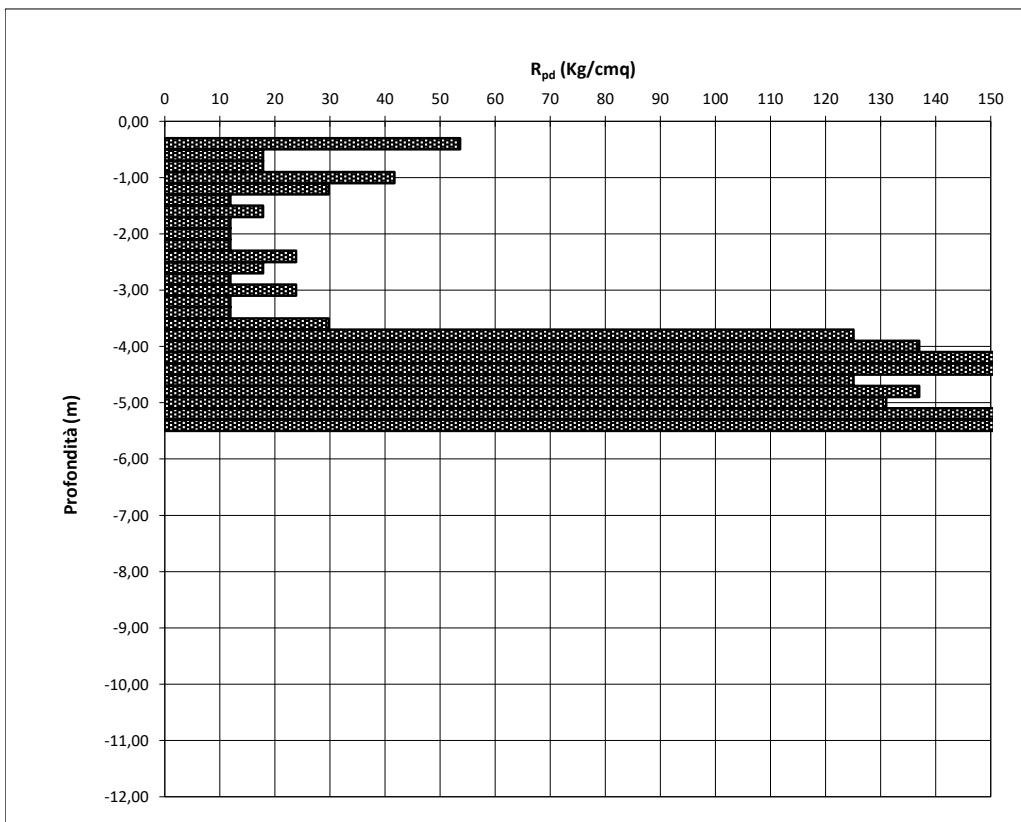
**Prova penetrometrica dinamica n. D.P.S.H. 2**

Località: **Inveruno (MI)**  
Committente: **Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi**

Data: **13.04.2022**  
Quota inizio: **piano campagna**



Quota	N <sub>20</sub>	R <sub>pd</sub>	N <sub>SPT</sub>
0,00	0	0	0
-0,20	16	0	24
-0,40	9	54	13
-0,60	3	18	4
-0,80	3	18	4
-1,00	7	42	10
-1,20	5	30	7
-1,40	2	12	3
-1,60	3	18	4
-1,80	2	12	3
-2,00	2	12	3
-2,20	2	12	3
-2,40	4	24	6
-2,60	3	18	4
-2,80	2	12	3
-3,00	4	24	6
-3,20	2	12	3
-3,40	2	12	3
-3,60	5	30	7
-3,80	21	125	31
-4,00	23	137	34
-4,20	35	208	51
-4,40	28	167	41
-4,60	21	125	31
-4,80	23	137	34
-5,00	22	131	32
-5,20	27	161	40
-5,40	39	232	57
-5,60	RIFIUTO		
-5,80			
-6,00			
-6,20			
-6,40			
-6,60			
-6,80			
-7,00			
-7,20			
-7,40			
-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 in superficie.



**Foto 1:** Punto di prova D.P.S.H. P1.



**Foto 2:** Punto di prova D.P.S.H. P2.

Committente: Consorzio di Bonifica Est Ticino Villorese	A cura di: PERFORMA S.r.l. C.so Montebello n.1/A 15057 Tortona (AL)	REALIZZAZIONE NUOVO SCATOLARE SUL DERIVATORE DI MAGENTA IN COMUNE DI INVERUNO (MI)		Data: Maggio 2022
		Documentazione fotografica	ALL.4	Scala: //



**Foto 3:** Stendimento sismico M.A.S.W. L1.

Committente: Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi	A cura di: PERFORMA S.r.l. C.so Montebello n.1/A 15057 Tortona (AL)	REALIZZAZIONE NUOVO SCATOLARE SUL DERIVATORE DI MAGENTA IN COMUNE DI INVERUNO (MI)		Data: Maggio 2022
		Documentazione fotografica	ALL.4	Scala: //