

COMUNE DI INDUNO OLONA

Provincia di Varese

VICOM S.R.L.

**Piano Integrato di Intervento
Comparto Solai e Travi
via Bidino – via Campagna**

RELAZIONE GEOLOGICA

AI SENSI DELLA D.G.R. 2616/2011 E DEL D.M. 17/01/2018

N. Commessa: L23014

Data: Marzo 2023



Studio di geologia applicata

Dott. Geol. Paolo Granata

Via Varese n° 23 - 21050 Cantello (VA)

Tel. 0332/242283 - Fax 0332/241231

e-mail: info@studiocongeo.it



INDICE

1	PREMESSA	3
1.1	Descrizione intervento	4
2	COMPONENTE GEOLOGICA DEL P.G.T. COMUNALE.....	7
2.1	Fattibilità geologica.....	7
2.2	Pericolosità sismica locale	7
2.3	Vincoli geologici	9
3	INQUADRAMENTO GEOAMBIENTALE	11
3.1	Caratteri geologici e geomorfologici	11
3.2	Assetto idrogeologico	12
4	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	16
4.1	Prove penetrometriche dinamiche pesanti	16
4.2	Indagine sismica	18
4.3	Indagini pregresse	24
5	MODELLO GEOLOGICO	26
6	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	28
6.1	Pericolosità sismica di base	29
6.2	Pericolosità sismica locale	31
6.3	Verifica del fattore di amplificazione	34
6.4	Sintesi dei parametri sismici.....	37
6.5	Considerazioni sul potenziale di liquefazione	39
7	STIMA PRELIMINARE DEGLI IMPATTI AMBIENTALI.....	41
1.1	Suolo e sottosuolo	41
1.2	Acque sotterranee	42
8	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	44

Tavole

Tav. n. 1 – Corografia, scala 1:10.000

Allegati

All. n. 1 – Ubicazione indagini geognostiche, scala 1:500

All. n. 2 – Sezione geognostica interpretativa, scala 1:500/1:100

Appendici

App. n. 1 – Prove penetrometriche dinamiche

App. n. 2 – Indagini sismiche

1 PREMESSA

Lo Scrivente ha ricevuto l'incarico di effettuare un'analisi geologica di supporto alla progettazione degli interventi previsti dal Piano Integrato di Intervento per la riqualificazione dell'area Ex Solai e Travi Varese nel Comune di Induno Olona (Tav. n. 1 e Fig. n. 1.1).



Fig. n. 1.1 – Vista aerea del sito di indagine (da Google Earth).

Lo studio, partendo dagli aspetti geologici generali, entra nel dettaglio, analizzando il comparto oggetto dell'intervento sulla base della documentazione disponibile (studio della componente geologica, idrogeologica e sismica dei P.G.T. del Comune di Induno Olona) e di una campagna di indagini geognostiche appositamente realizzata, definendo la compatibilità dell'intervento previsto nei riguardi degli aspetti ambientali legati alle componenti geologiche (suolo e sottosuolo, acque superficiali e acque sotterranee) ed il modello geologico e sismico di riferimento per la sua corretta progettazione.

La presente relazione è redatta conformemente alle prescrizioni della L.R. n. 33 del 12 ottobre 2015 (*"Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche"*), della D.G.R. n. 5001 del 30 marzo 2016 (*"Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica"*), della D.G.R. n. 2616 del 30 novembre 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'"*), del D.M. 17/01/18 (aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni") e della D.G.R. 9 luglio 1999 n. 6/44161 (Adempimenti previsti dall'art. 7, comma 3 della legge regionale 12 aprile 1999, n. 9 «Disciplina dei programmi integrati di intervento»).

1.1 DESCRIZIONE INTERVENTO

L'ambito interessato dall'intervento è localizzato nei pressi dell'asse viario principale che attraversa Induno Olona, via B. Jamoretti, la direttrice che collega la città di Varese con la Valceresio.

Attualmente l'intero comparto è abbandonato e non più utilizzato dal 2011.

L'obiettivo è quello della riqualificazione di una parte della città. Questo viene perseguito mediante la strategia della "rigenerazione" degli edifici dismessi, attraverso la loro sostituzione edilizia con nuovi fabbricati contenenti plurali destinazioni e differenti tipologie edilizie; unitamente saranno corredati da opere infrastrutturali che favoriscono la loro integrazione con la restante parte del territorio.

Sono previsti nuovi ed indipendenti edifici destinati ad attività commerciale (media struttura di vendita di tipo alimentare e non), oltre ad edifici abitativi, che risultano ben inseriti nel contesto residenziale esistente nelle vicinanze. Il nuovo complesso risulta collegato con la città tramite la viabilità locale, ora rafforzata con inserimento della mobilità dolce - di tipo ciclabile e pedonale.

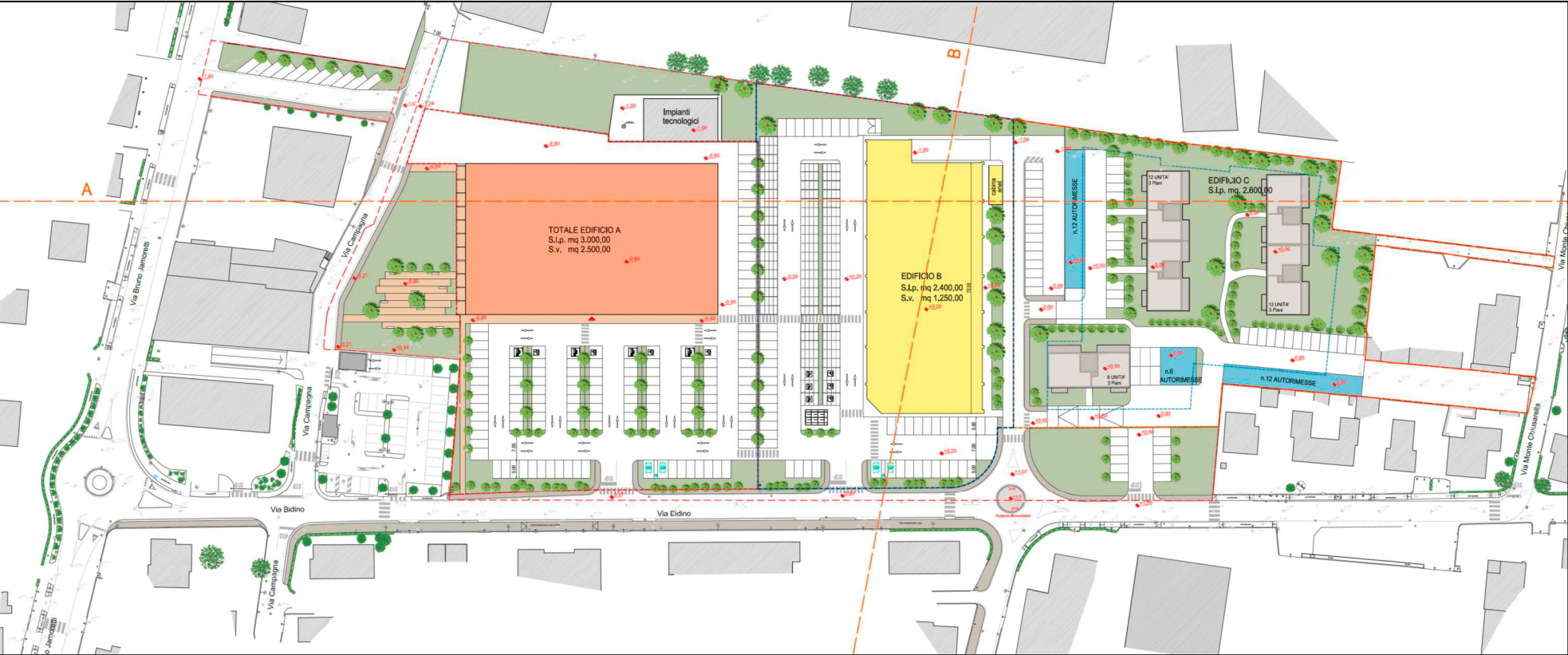


Fig. n. 1.2 – Estratto planimetria generale di progetto.

In estrema sintesi sono previsti n. 2 edifici commerciali, l'edificio A di superficie pari a c.ca 3.000 m² e l'edificio B di superficie pari a c.ca 2.400. m² nel settore orientale e n. 3 edifici residenziali distinti (edificio C), rappresentati da n. 2 palazzine a tre piani fuori terra per complessive 12 unità abitative (c.ca 450 m²) e n. 1 palazzina, sempre a tre piani fuori terra, per 6 unità abitative (c.ca 270 m²). Per ogni edificio residenziale sarà realizzato inoltre un fabbricato pertinenziale destinato ad autorimessa.

I fabbricati in progetto vengono classificati come opere ordinarie (tipo 2 di cui alla tabella n. 2.4.I del D.M. 17/01/2018) cui corrisponde un valore di vita nominale $V_N \geq 50$ anni.

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di eventuale collasso in caso di evento sismico gli edifici residenziali sono classificati in classe d'uso II (Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali) cui viene associato un coefficiente d'uso (C_U) pari a 1,0 (tabella n.2.4.II delle NTC); gli edifici ad uso commerciale sono invece classificati in classe d'uso III (Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi) cui viene associato un coefficiente d'uso (C_U) pari a 1,5 (tabella n.2.4.II delle NTC).

Il periodo di riferimento (V_R) dell'evento sismico risulta pari a $V_R = 50$ anni nel caso degli edifici residenziali e pari a $V_R = 75$ anni nel caso degli edifici ad uso commerciale.

2 COMPONENTE GEOLOGICA DEL P.G.T. COMUNALE

2.1 FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Lo studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. del Comune di Induno Olona classifica il settore oggetto di nuova edificazione (*Fig. n. 2.1*) in classe di fattibilità con modeste limitazioni (IIA): si tratta di aree caratterizzate dalla presenza di *"depositi fluvioglaciali recenti con discrete/buone caratteristiche geotecniche ad eccezione del primo livello pedogenizzato e/o di riporto (spessore dell'ordine di 0.5-1.0 m)"*.

"Non esistono incompatibilità con qualsiasi destinazione d'uso. Per interventi di nuova edificazione e/o di ristrutturazione che prevedono nuove fondazioni, una modifica di quelle esistenti e/o dei carichi su di esse applicati va redatta una apposita relazione geologica e geotecnica ai sensi del D.M. 14.01.2008. In sede progettuale andrà posta particolare attenzione alla scelta del piano di posa fondazionale rispetto alla successione litostratigrafica".

2.2 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Per quanto riguarda la pericolosità sismica locale lo studio geologico comunale (*Fig. n. 2.2*) inserisce il comparto in esame nello scenario di pericolosità sismica Z4a: zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi.

In caso di evento sismico sono prevedibili amplificazione di tipo litologico e geometrico.

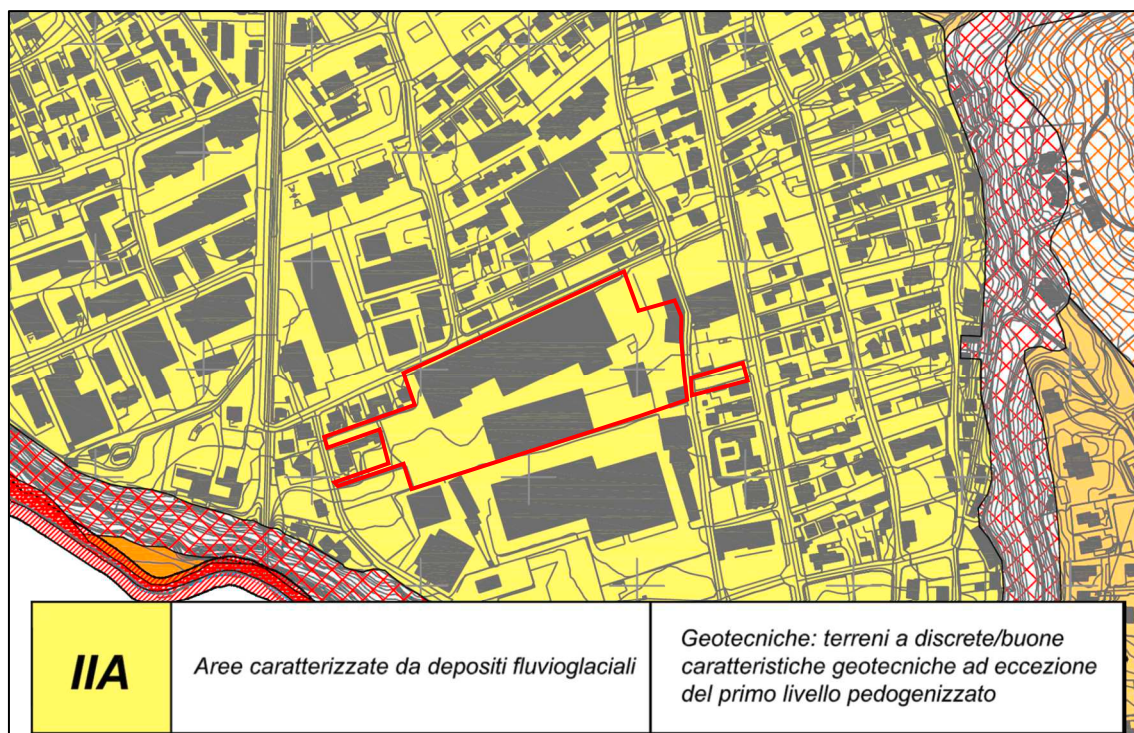


Fig. n. 2.1 – Stralcio carta della fattibilità geologica (Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT comunale, Settembre 2013).



Fig. n. 2.2 – Stralcio carta della pericolosità sismica locale (Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT comunale, Settembre 2013).

2.3 VINCOLI GEOLOGICI

L'area di indagine (*Fig. n. 2.3*) non risulta interessata da limitazioni derivanti da vincoli sovraordinati di natura geologica (PAI, PGRA, polizia idraulica, area di salvaguardia captazioni, geositi).

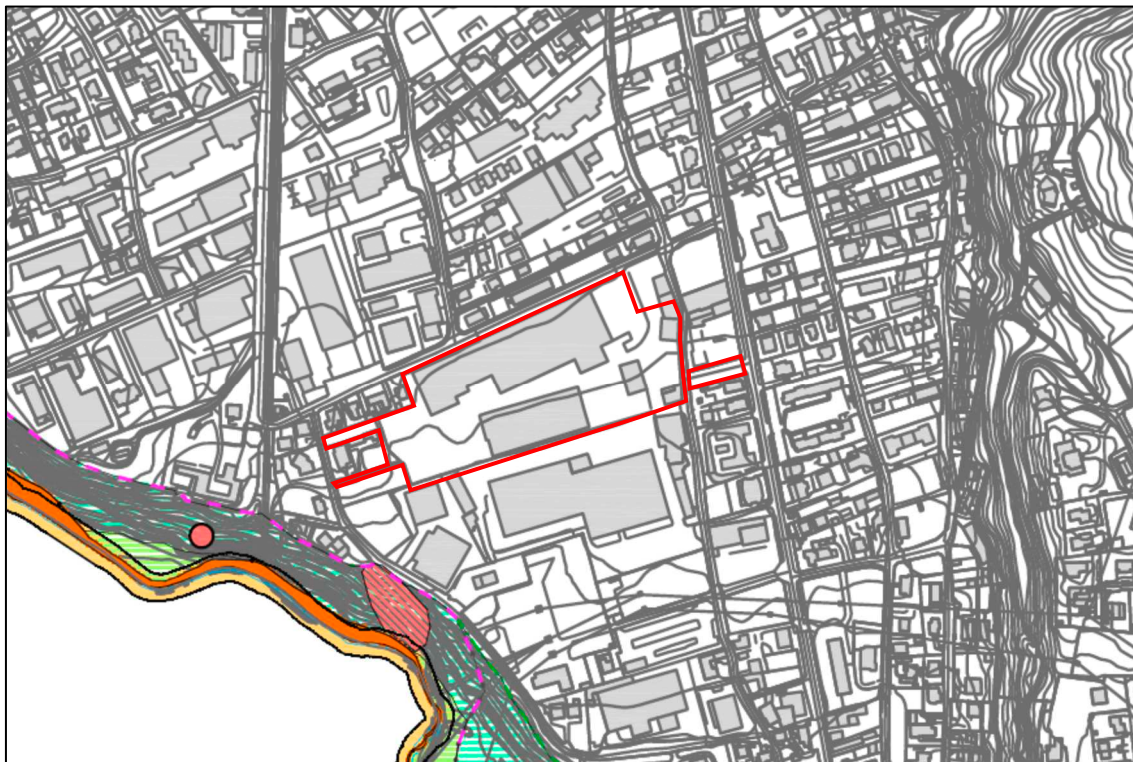


Fig. n. 2.3 – Stralcio carta dei vincoli (Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT comunale, Settembre 2013).

È in corso di completamento da parte di "LeReti S.p.A.", gestore dell'acquedotto comunale, la pratica di subentro autorizzativo per usi potabili di un pozzo privato situato in via Campagna 80, appena a valle dell'area di Piano. Al momento non è formalizzata una fascia di rispetto: si riporta nella seguente immagine l'ubicazione del punto di captazione e la fascia di rispetto con criterio temporale (come da proposta effettuata in sede di richiesta di concessione – si riporta inoltre, a titolo esemplificativo, anche la fascia di rispetto con criterio geometrico).

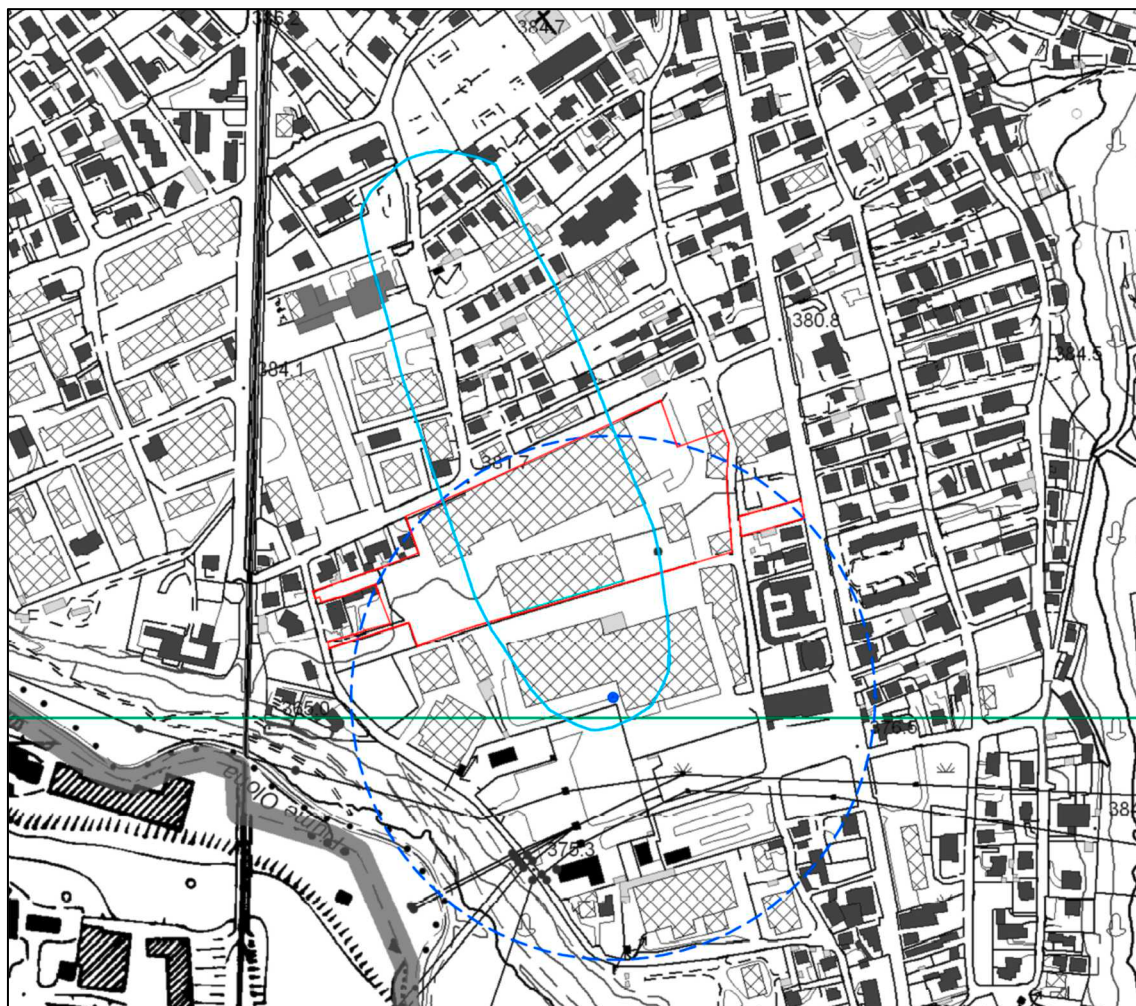


Fig. n. 2.4 – Ubicazione del punto di captazione e fascia di rispetto proposta (blu: criterio geometrico; azzurro criterio temporale).

La zona di rispetto è sottoposta alle limitazioni d'uso previste dall'art. 94 commi 4, 5 e 6 del D.lgs. 152/2006 e dalla D.G.R. 7/12693 del 10/04/2003.

3 INQUADRAMENTO GEOAMBIENTALE

Il territorio del Comune di Induno Olona si sviluppa tra il limite meridionale delle Prealpi lombarde ed il confine settentrionale dell'alta pianura lombarda, in un contesto nel quale il substrato roccioso, costituito da una successione sedimentaria marina calcareo-dolomitica (dal Permiano fino al Paleocene) seguita da una serie deposizionale terrigena (Cenozoico), viene ricoperto da depositi sciolti di origine glaciale, fluvioglaciale e fluviale di età quaternaria.

3.1 CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

Dal punto di vista geologico (*Fig. n. 3.1*) i terreni di sedime del comparto in esame sono costituiti da depositi glaciali, fluvioglaciali e glaciolacustri del Pleistocene Medio-Superiore (corrispondente al glaciale del Würm) appartenenti all'*Allogruppo di Besnate*.

I depositi fluvioglaciali in particolare sono costituiti da sabbie e ghiaie stratificate a supporto di clasti o di matrice sabbiosa medio-fine. Possono essere presenti strutture sedimentarie quali embricature dei ciottoli, gradazione inversa o diretta, laminazioni orizzontali o incrociate a piccola scala (ripple), tipiche di correnti fluviali. I clasti sono ben selezionati e arrotondati, con dimensioni massime di circa 40 cm. Localmente i depositi fluvioglaciali possono essere costituiti da sabbia grossolana pulita a laminazione pianoparallela.

Il comparto in esame si presenta sub-pianeggiante, con una debole inclinazione verso Sud-Ovest; è intensamente urbanizzato e privo di evidenze di attività morfogenetica.

Nell'intorno del comparto non sono presenti corsi d'acqua superficiali.

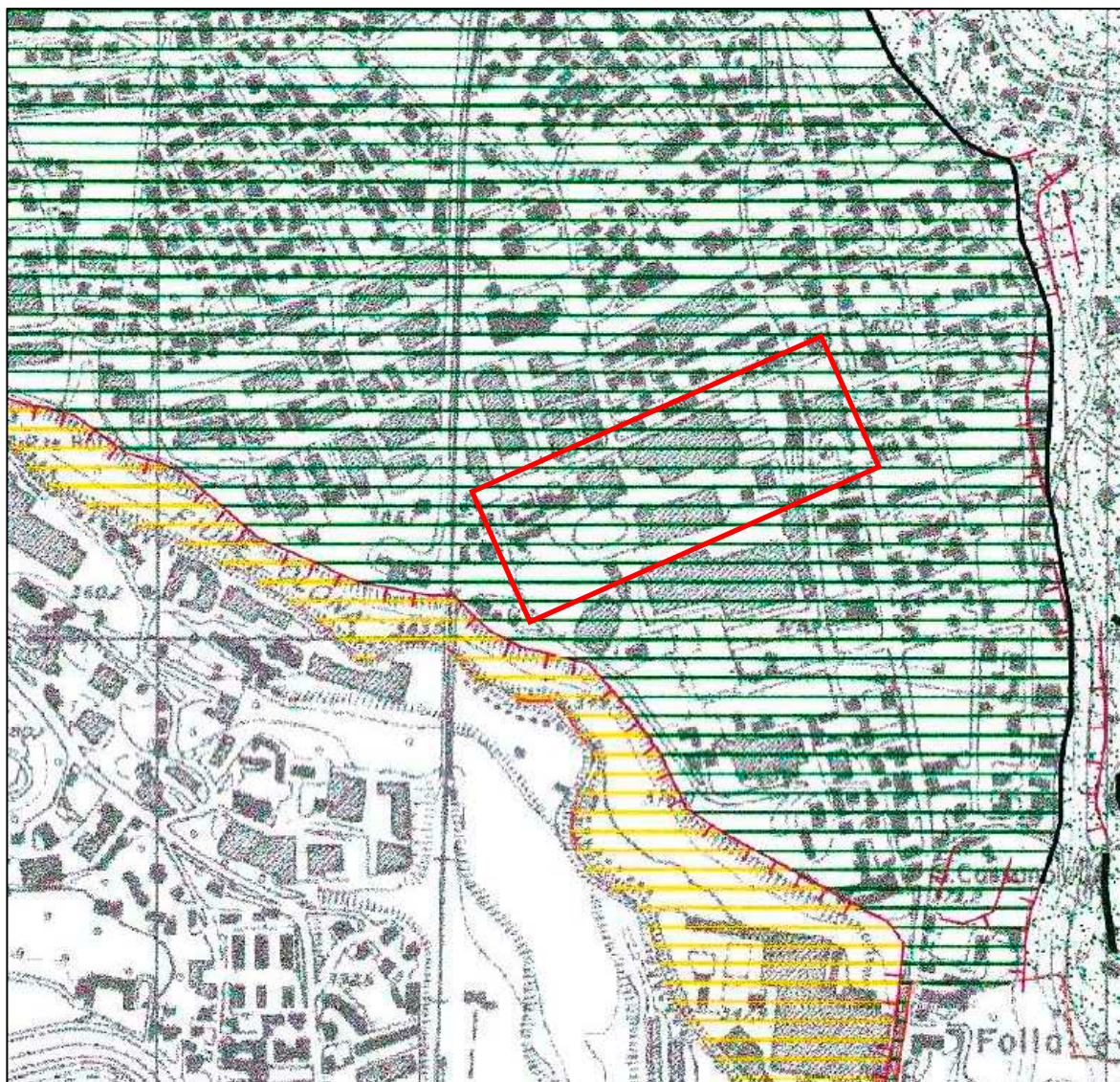


Fig. n. 3.1 – Stralcio della carta geologica e geomorfologica (Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT comunale, ottobre 2001).

3.2 ASSETTO IDROGEOLOGICO

L'Allogruppo di Besnate è caratterizzato da un'ampia variabilità litologica e tessiturale che dà luogo alla formazione di orizzonti a differente granulometria e permeabilità (orizzonti a supporto clastico o a supporto di matrice) e conseguentemente all'origine di piccole falde sospese e discontinue anche a pochi metri dal p.c., che si sviluppano negli orizzonti più grossolani dell'unità fluvioglaciale; il regime di queste falde sospese è fortemente influenzato dal regime pluviometrico stagionale.

Il comparto in esame ricade in un'area interessata dalla presenza di depositi indistinti in facies fluvioglaciale e detrito di versante ("*Complesso fluvioglaciale*"), con grado di permeabilità da medio ad alto dovuto alla presenza prevalente di ghiaie in matrice sabbiosa e sabbioso limosa (sulla base della litologia e del grado di addensamento si può stimare in via preliminare una permeabilità variabile tra 1×10^{-3} e 1×10^{-5} m/s). Il livello statico della falda si riscontra ad una profondità di c.ca 30-35 m da p.c.. La direzione del flusso idrico sotterraneo nell'area è c.ca verso Sud (Fig. n. 3.2).

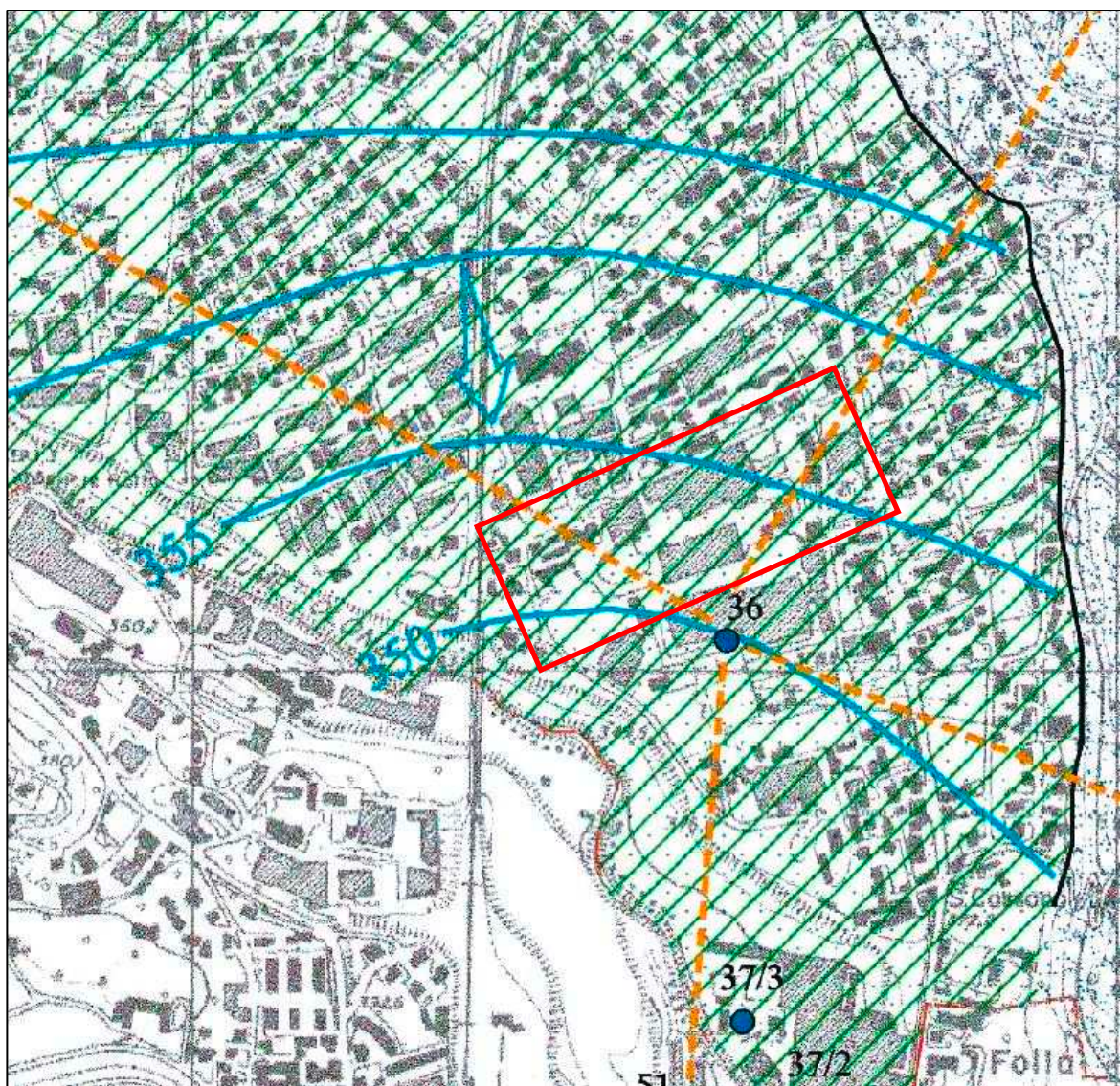


Fig. n. 3.2 – Stralcio della carta idrogeologica (Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT comunale, ottobre 2001).

La vulnerabilità idrogeologica, che rappresenta la suscettività di un acquifero ad essere danneggiato da un contaminante dipende da numerosi parametri tra i quali i più importanti sono la profondità della superficie piezometrica, le caratteristiche dei terreni costituenti il non-saturo e le caratteristiche fisiche (permeabilità) dell'acquifero.

Analizzando le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche del comparto, precedentemente descritte, si può stimare per l'acquifero superficiale un grado di vulnerabilità medio dovuto alla presenza di diversi elementi di criticità (depositi fluvioglaciali con permeabilità medio-alta che costituiscono l'acquifero ed il non saturo, assenza di orizzonti fini superficiali) in parte mitigati dall'elevata soggiacenza.

A valle dell'area di Piano è situato un pozzo privato (n. 36 Mec Mor), da qualche anno utilizzato a scopo idropotabile per far fronte alle criticità del sistema acquedottistico legate alle condizioni di siccità. È attualmente in corso una pratica di subentro autorizzativo per usi potabili. Si riporta di seguito la scheda stratigrafica del pozzo (*Fig. n. 3.3*).

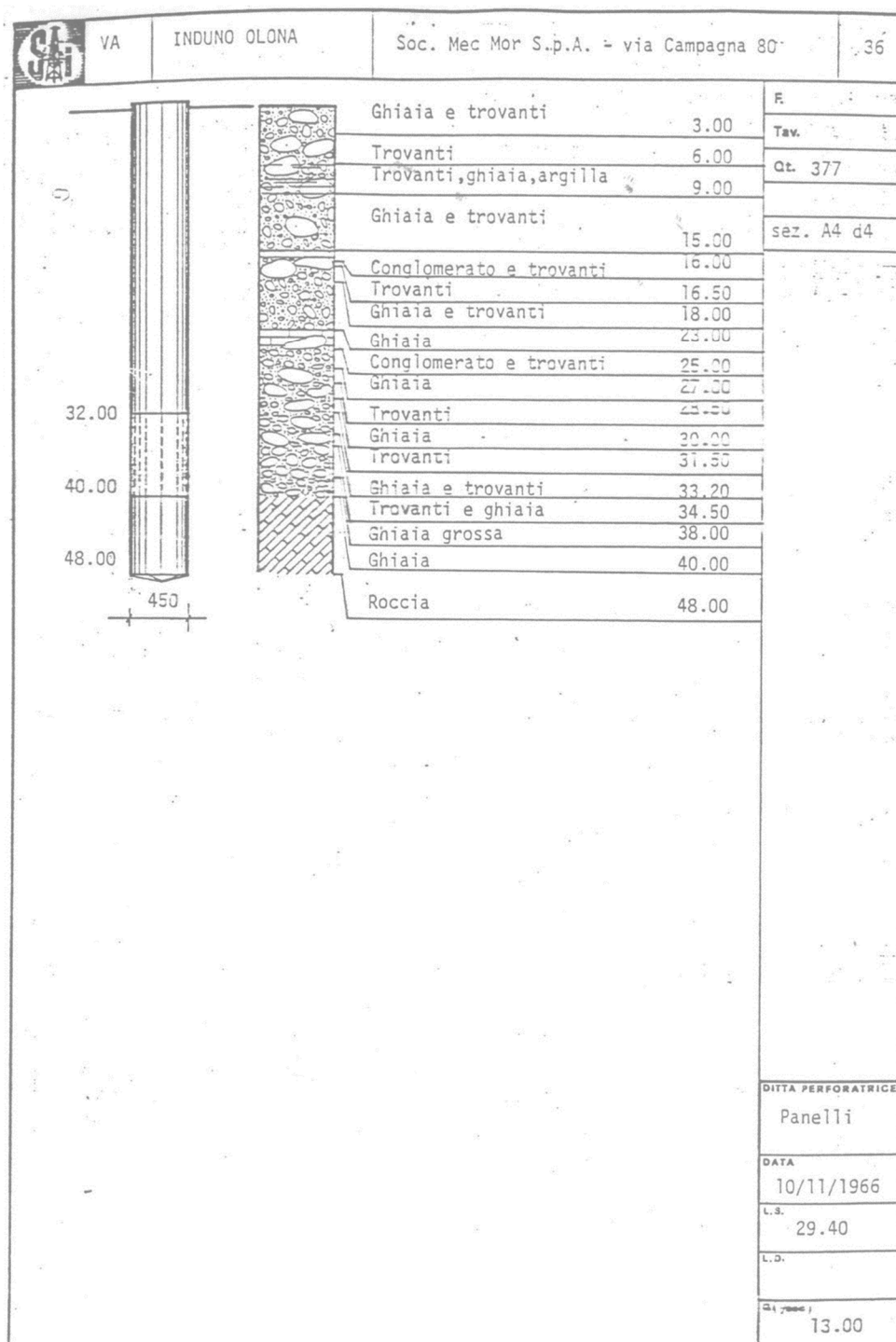


Fig. n. 3.2 – Stralcio della carta idrogeologica (Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT comunale, ottobre 2001).

4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la caratterizzazione stratigrafica e la parametrizzazione dei terreni costituenti il substrato del comparto oggetto di Piano Integrato è stata realizzata una campagna geognostica costituita da n. 13 prove penetrometriche dinamiche continue (DPSH), da n. 1 stendimento sismico con metodologia MASW e da n. 1 misura sismica passiva HVSR. Si è inoltre fatto riferimento alle risultanze stratigrafiche relative ad indagini ambientali pregresse realizzate nel 2022 dagli Scriventi.

L'ubicazione dei punti d'indagine è riportata nell'*Allegato n. 1*.

4.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE PESANTI

L'indagine è stata eseguita con penetrometro dinamico tipo TG 63/100 KN che, secondo la normativa europea I.S.S.M.F.E. '88, è paragonabile ad un DPSH (Dynamic Probing Super Heavy).

Le caratteristiche dello strumento utilizzato corrispondono alla nuova categoria di standard internazionale.

La prova consiste nell'infissione lungo la direzione del filo a piombo di una punta conica metallica, posta all'estremità di un'asta d'acciaio, in seguito alla discesa di un maglio di peso pari a 63,5 Kg direttamente sulla testa di battuta da un'altezza di caduta di 75 cm.

Viene registrato il numero di colpi necessari per l'infissione di 20 cm delle aste nel terreno (N_{SCPT}) in modo continuo, fino alla profondità di fine prova, fornendo delle indicazioni sui parametri geotecnici in funzione della resistenza che il terreno stesso offre alla penetrazione.

Questa metodologia permette di caratterizzare il grado di addensamento / consistenza dei terreni attraversati, consentendo così una prima ricostruzione speditiva dell'assetto stratigrafico del sottosuolo.

4.1.1 Risultanze delle prove penetrometriche

L'interpretazione dei risultati della prova penetrometrica (*App. n. 1 e Tab. n. 4.1*) ha portato all'individuazione di diversi orizzonti, caratterizzati da un grado di addensamento simile sulla base del numero di colpi medi registrati.

Le prove mostrano la presenza di un livello caratterizzato da un numero di colpi basso (N_D compreso in media tra 1 e 5 colpi) o medio-basso (N_D compreso in media tra 5 e 9 colpi), che si spinge fino a profondità variabili tra m 4,2 e 7,2 da p.c..

A profondità superiori il grado di addensamento aumenta in modo piuttosto repentino evidenziando dapprima valori di N_D compresi in media tra 20 e 30 colpi e quindi tra 30 e 50.

Tutte le prove si sono interrotte per raggiungimento del rifiuto alla penetrazione (oltre 100 colpi per un avanzamento di 20 cm), registrato per profondità comprese tra m 5,2 e 7,8 da p.c..

Durante l'esecuzione delle prove non è stata riscontrata la presenza di acqua sotterranea.

4.1.2 Conversione in valori standard (N_{SPT})

Il rapporto tra il numero di colpi misurati nella prova DPSH (N_D) e SPT (N_{SPT}), che costituisce la prova di riferimento, risulta molto variabile in particolare in funzione della natura del materiale (contenuto di fine, acqua, etc.) e della tensione geostatica (direttamente collegata alla profondità dal piano campagna). Per quanto riguarda la conversione dei valori di resistenza alla penetrazione dinamica nei corrispondenti valori di Standard Penetration Test (SPT) la relazione tra i due valori è generalmente regolata da rapporti empirici basati sullo studio di esperienze pratiche: si ritiene, in mancanza dei valori standard, di utilizzare il metodo proposto da LaCroix & Horn (1973):

$$N_{SPT} = \left(\frac{W \cdot H}{6,2 \cdot D^2 \cdot L} \right) \cdot N_D = 1,48$$

W = peso del maglio (kg); H = altezza di caduta (cm); D = diametro della punta conica (cm); L = penetrazione standard (cm).

Profon	N _D												
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
0,2	70	38	18	16	14	21	11	23	15	11	15	2	5
0,4	12	10	13	7	19	10	39	12	9	11	13	5	5
0,6	5	18	7	10	12	6	17	6	11	17	9	7	3
0,8	7	13	5	12	11	6	7	3	8	17	9	5	2
1,0	15	8	6	16	9	5	15	5	7	9	6	6	3
1,2	10	10	7	6	12	5	17	6	6	12	4	4	6
1,4	7	7	6	3	9	3	11	5	3	7	4	5	4
1,6	7	5	5	2	16	2	12	6	1	6	12	4	1
1,8	4	7	4	2	12	9	9	7	2	7	16	7	2
2,0	6	10	3	4	2	5	9	9	3	5	9	19	5
2,2	5	7	4	11	8	3	5	6	4	2	5	5	10
2,4	8	10	10	4	9	3	6	4	3	3	9	7	4
2,6	5	12	3	6	5	4	3	5	4	2	2	4	7
2,8	4	8	3	2	6	4	4	9	2	2	7	7	3
3,0	4	9	3	2	7	9	4	6	3	4	9	11	6
3,2	3	8	5	2	8	9	2	9	4	4	9	10	5
3,4	3	8	9	3	6	12	4	7	5	3	7	11	2
3,6	4	6	4	1	5	9	5	7	5	3	4	9	4
3,8	5	5	4	4	5	11	8	5	6	3	2	8	7
4,0	4	4	9	7	4	15	7	2	7	6	2	10	10
4,2	14	4	8	5	3	15	6	10	6	5	5	15	6
4,4	8	5	11	4	2	10	4	5	7	4	7	34	5
4,6	7	8	7	6	4	11	5	3	10	3	5	38	7
4,8	5	9	5	4	5	19	5	4	22	2	6	46	7
5,0	4	7	8	3	11	17	7	7	9	3	8	48	15
5,2	6	7	3	3	21	23	3	6	9	2	7	100	7
5,4	4	4	3	5	46	19	5	3	20	12	3		8
5,6	4	2	3	5	41	18	8	3	14	26	3		10
5,8	5	2	10	16	51	25	18	2	12	35	2		17
6,0	7	4	10	50	48	31	9	3	12	22	4		8
6,2	5	2	20	100	100	31	10	3	7	48	17		22
6,4	9	2	44			37	27	4	14	52	25		27
6,6	21	2	48			42	35	2	19	100	38		34
6,8	16	4	51			39	31	3	20		45		43
7,0	30	28	100			48	100	5	12		100		100
7,2	51	27				100		9	27				
7,4	100	18						28	39				
7,6		100						38	47				
7,8								100	100				

Tab. n. 4.1 - Risultanze delle prove penetrometriche dinamiche (N_D).

4.2 INDAGINE SISMICA

Per la caratterizzazione sismica dei terreni di sedime sono stati effettuati uno stendimento sismico con la metodologia MASW ed una misura di rumore al suolo tipo HVSR (App. n. 2).

La scelta di utilizzare le due tecniche deriva dalla necessità di esaminare due aspetti differenti ma entrambi importanti nella stima degli effetti sismici di sito:

- Il profilo sismico con la metodologia MASW consente di ricostruire con elevato dettaglio l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (V_s - z); il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito (analisi di risposta sismica locale) che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (D.M. 14.01.2008 e aggiornamento di cui D.M. 17.01.2018).

- Le misure di sismica passiva tipo HVSR consentono di determinare la funzione di trasferimento propria del sito dalla cui analisi si ricavano le frequenze principali di vibrazione: ciò consente di verificare l'interazione da un punto di vista sismico del sistema terreno-costruzione ed evitare i fenomeni di doppia risonanza (coincidenza delle frequenze di vibrazione proprie del sottosuolo con quelle della struttura).

4.2.1 Metodologia MASW

L'indagine secondo la metodologia MASW permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh, che rappresentano più di due terzi dell'energia sismica generata nel corso di una prova.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

1. acquisizione dei dati di campo rappresentati dalle onde superficiali (ground roll);
2. costruzione della curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
3. inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale che descrive la variazione di v_s con la profondità.

Per ottenere un profilo della velocità delle onde sismiche di taglio (v_s) bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Le onde di superficie sono state generate tramite una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico posto ad una distanza compresa tra c.ca m 5 e 10 dai geofoni esterni dello stendimento

effettuando più energizzazioni; per la registrazione sono stati utilizzati n. 24 geofoni da 4,5 Hz collegati ad un sismografo GEA24 della PASI.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati. Per ottenere il profilo verticale della v_s dalla curva di dispersione viene stimato un valore di densità del terreno sulla base della tipologia dei materiali attraversati.

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 2,5 m.

4.2.2 Indagine sismica passiva a stazione singola (HVSR)

Per una stima delle frequenze di risonanza del sito è stata condotta una misurazione sismica passiva a stazione singola con tromografo digitale.

La tecnica utilizzata (Metodo di Nakamura) prevede la registrazione dei microtremori sismici attraverso una terna di geofoni (due orizzontali e uno verticale) installati nella stazione di registrazione posta a diretto contatto col suolo da investigare.

Il microtremore sismico è l'insieme delle sollecitazioni sismiche superficiali di piccola intensità generate da fenomeni naturali (maree, vento, vulcani, movimenti nel sottosuolo, etc.) o artificiali (strade, ferrovie, industrie, etc.) che sono sempre presenti nel sottosuolo.

Queste sollecitazioni sismiche si propagano al bedrock attraverso le onde di superficie (onde di Love, onde di Rayleigh, etc.) che sono caratterizzate da una legge di attenuazione poco sensibile alla distanza considerata e, quindi, molto persistenti.

Registrando il segnale sismico dalla superficie (sito di misura) ed elaborandolo secondo il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) si noteranno alcuni picchi di amplificazione caratterizzati da una frequenza e da un'ampiezza.

Questi picchi dipendono da fenomeni litostratigrafici (risonanza) o da fenomeni antropici (disturbi): i primi danno informazioni sul sottosuolo perché dipendono dallo spessore degli strati attraversati e dal loro contrasto di rigidità, mentre i secondi non danno informazioni utili perché dipendono dalla sorgente antropica di disturbo.

Interpretando i picchi stratigrafici è, quindi, possibile ricostruire la stratigrafia sismica del sottosuolo, previa una corretta "pulizia" del segnale eliminando i transienti dovuti a sollecitazioni antropiche vicine.

Si interpretano i diversi picchi partendo da quello a frequenza più alta e procedendo verso quelli a frequenza più bassa, tenendo presente che i primi esprimono interfacce superficiali, i secondi esprimono interfacce via via più profonde.

Tutti i picchi devono soddisfare l'equazione:

$$V = 4 \cdot H \cdot F$$

dove:

V = velocità dello strato (m/s)

H = spessore dello strato (m)

F = frequenza del picco (Hz)

L'interpretazione del primo picco è, quindi, viziata dalla presenza di due incognite (spessore e velocità) con una sola equazione; per risolvere il problema è allora necessario vincolare una di queste due incognite (velocità o spessore) desumendola da altri dati geologici (quali scavi, prove penetrometriche, stratigrafie di pozzi, etc.), per poi calcolare l'incognita rimasta; una volta risolta l'equazione per il primo strato, è possibile senza ulteriori problemi interpretare anche gli strati sottostanti perché si conoscono, oltre alle frequenze, anche il fattore di amplificazione della velocità relativo allo strato sovrastante.

Il software dedicato (Geoexplorer HVSR) ricostruisce la curva sintetica H/V del modello sismico preparato dall'operatore, sovrapponendola al grafico sperimentale; quando questa curva si accorda bene con quella sperimentale, significa che il modello sismico proposto è compatibile con la misura registrata.

Perché la prova sia attendibile non è necessaria una perfetta e completa sovrapposizione delle curve (quella sperimentale è viziata da interferenze di vario tipo), ma è sufficiente un buon accordo tra i picchi di amplificazione principali e, in particolare, tra quelli superficiali.

Esistono dei criteri (SESAME) per valutare l'attendibilità e la significatività dei picchi considerati, applicati ad ogni verifica e allegati all'elaborato di indagine; anche in questo caso è da segnalare che non è necessario che tutti i criteri siano soddisfatti: può capitare che un picco non sia ben definito (e quindi il relativo criterio risulti non soddisfatto) ma la scelta di interpretarlo come valido porta ad un errore minore rispetto a quella di trascurarlo.

Nel caso specifico è stata eseguita una misura, ubicata c.ca a metà dello stendimento MASW, come indicato nella planimetria allegata (*All. n. 1*).

L'acquisizione è stata effettuata mediante strumento Geobox della "Sara electronic instruments s.r.l." con frequenza di campionamento di 300 Hz per un tempo di c.ca 20 minuti, ritenuto sufficiente per avere una buona attendibilità statistica dei dati raccolti con finestre di analisi di 30-60 secondi.

4.2.3 Elaborazione dati e risultati

Di seguito si riporta la curva H/V elaborata (*Fig. n. 4.1*) che nell'ambito delle frequenze di interesse ingegneristico (1 - 20 Hz) evidenzia la presenza di un picco alla frequenza di c.ca 3 Hz dovuto alla presenza di una superficie di discontinuità (forte contrasto di impedenza) compatibile con la presenza del substrato roccioso carbonatico alla profondità di c.ca m 35-40 da p.c..

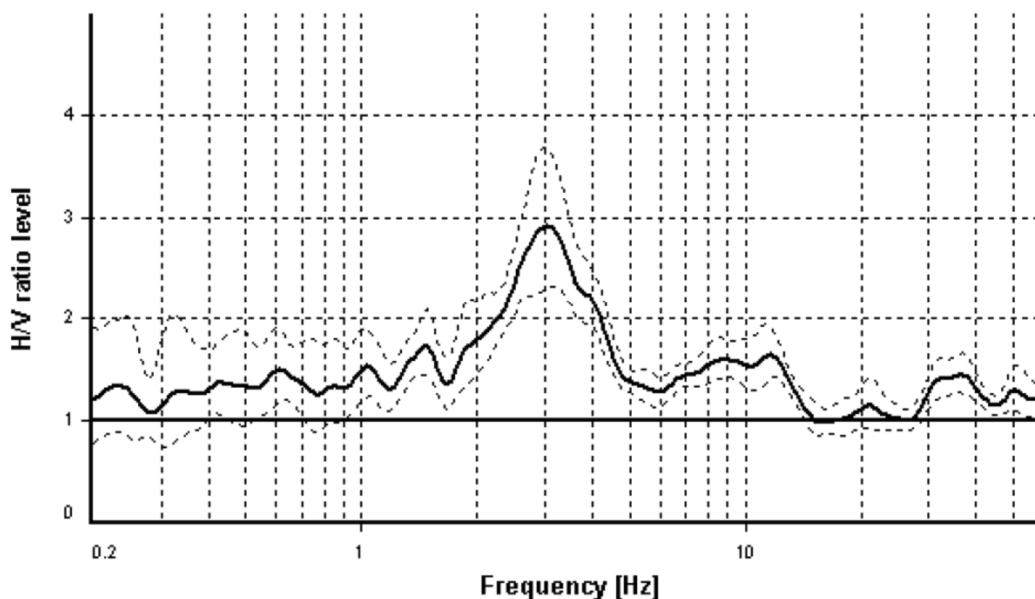


Fig. n. 4.1 - Rapporto spettrale orizzontale su verticale (HVSr).

L'analisi congiunta dello stendimento sismico MASW e della misura passiva HVSr ha permesso la costruzione di un modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità. Dall'inversione delle curve di dispersione ricavate dallo stendimento attivo/passivo MASW e dalla modellazione della curva sintetica della misura sismica passiva HVSr si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (*Tab. n. 4.2* e *Fig. n. 4.2*).

Strato	Profondità [m]		Spessore [m]	Vs [m/s]
	da	a		
1	0,0	1,6	1,6	213
2	1,6	3,5	1,9	201
3	3,5	5,7	2,2	232
4	5,7	10,5	4,8	366
5	10,5	14,6	4,1	389
6	14,6	21,8	7,2	431
7	21,8	34,7	12,9	470
8	34,7	∞	∞	870

Tab. n. 4.2 - Modello sismico monodimensionale ottenuto.

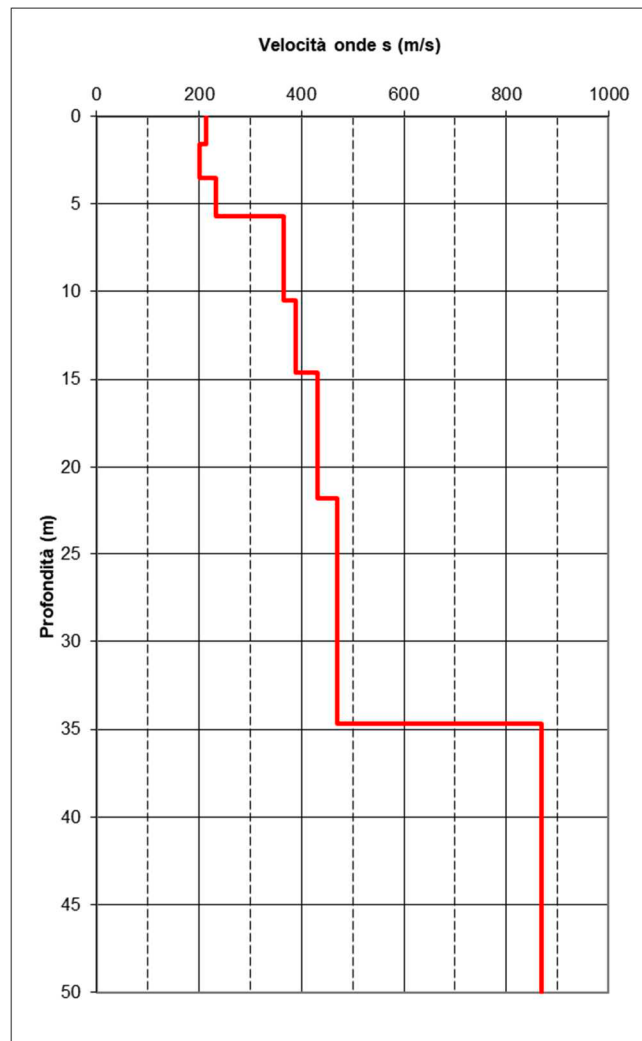


Fig. n. 4.2 - Andamento della Vs con la profondità.

4.3 INDAGINI PREGRESSE

Nel luglio 2022 il comparto è stato oggetto di una campagna di indagini ambientali (n. 16 scavi esplorativi e n. 13 sondaggi geognostici) che hanno raggiunto la profondità massima di c.ca m 5 da p.c..

Dall'analisi delle stratigrafie ottenute è stato possibile caratterizzare dal punto di vista litostratigrafico il substrato del comparto in esame che può essere sinteticamente descritto dal seguente modello geologico:

Profondità			Descrizione
0,0	÷	0,4/1,3	Riporto.
0,4/1,3	÷	3,0/5,0	Sabbia e ghiaia, localmente debolmente limosa, con ciottoli più o meno abbondanti.

Localmente, in corrispondenza di particolari elementi antropici interrati (serbatoi, vasche, plinti di fondazione, etc.), l'orizzonte superficiale di riporto può raggiungere profondità maggiori, fino a c.ca m 2,5.

Durante l'esecuzione delle perforazioni non è stata riscontrata la presenza di una vera e propria falda idrica; in corrispondenza di diverse verticali di indagine è stata rilevata una lieve umidità.

5 MODELLO GEOLOGICO

Dall'esame delle risultanze dell'indagine geognostica e della conoscenza del sito è stato possibile definire un modello geologico dei terreni interessati dagli interventi in esame.

Per chiarezza il modello elaborato è stato rappresentato tramite una sezione geognostica interpretativa (*All. n. 2*) in modo da consentire una visione immediata delle sue caratteristiche.

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza, al di sotto dei riporti superficiali, di due unità litotecniche principali.

UNITA' A

Rappresenta l'orizzonte più superficiale del comparto che si rinviene fino a profondità variabili tra m 4,2 (Prova P12) e 7,2 da p.c. (Prova P8).

L'Unità è costituita da sabbie e ghiaie con ciottoli, localmente limose, caratterizzate da un grado di addensamento da basso a medio-basso:

A1 con N_{SPT} compreso tra 2 e 6 colpi/piede;

A2 con N_{SPT} compreso tra 7 e 15 colpi/piede.

Le due sottunità si alternano in verticale e orizzontale in maniera irregolare.

Localmente (Prove P6, P9 e P12) si distingue anche una terza sottunità che rappresenta un livello di transizione con la sottostante: **A3** con N_{SPT} compreso tra 13 e 20 colpi/piede.

UNITA' B

È posta al di sotto dell'unità precedente e presenta un grado di addensamento da medio alto a molto alto (indicativamente N_{SPT} superiore a 25 colpi/piede, fino al rifiuto alla penetrazione).

L'Unità è presumibilmente costituita da depositi fluvioglaciali ghiaioso sabbiosi con ciottoli.

Condizioni idrogeologiche

Il comparto in esame è caratterizzato dalla presenza di una falda superficiale di tipo libero con una soggiacenza di c.ca 30-35 m da p.c. e una direzione di deflusso verso Sud.

Vista la presenza di depositi fluvioglaciali caratterizzati da un'ampia variabilità litologica, non si può escludere la possibilità che si formino falde sospese a carattere locale in relazione alla presenza di livelli impermeabili più o meno continui, specie in seguito ad eventi meteorici.

6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

L'Ordinanza n. 3274 del 20-03-2003 e s.m.i. ha stabilito una nuova classificazione sismica del territorio italiano, in risposta sia alle nuove conoscenze scientifiche in materia sismica (acquisite dopo la precedente legge di indirizzo sismico del '74), sia al ripetersi di eventi calamitosi che hanno interessato anche zone precedentemente non classificate come sismiche (sempre facendo riferimento alla Legge 64/74).

La nuova classificazione, che in parte utilizza e aggiorna la classificazione sismica proposta nel 1998 dal Gruppo di Lavoro istituito dal Servizio Sismico Nazionale, è articolata in 4 zone: le prime tre corrispondono, dal punto di vista della relazione con gli adempimenti previsti dalla Legge 64/74, alle zone di sismicità alta ($S=12$), media ($S=9$) e bassa ($S=6$), mentre la zona 4 è di nuova introduzione.

Con D.G.R. n. X/2129 del 11 luglio 2014 la Regione Lombardia ha aggiornato la classificazione del proprio territorio, confermando il Comune di Induno Olona nella **zona sismica 4** (Fig. n. 6.1).

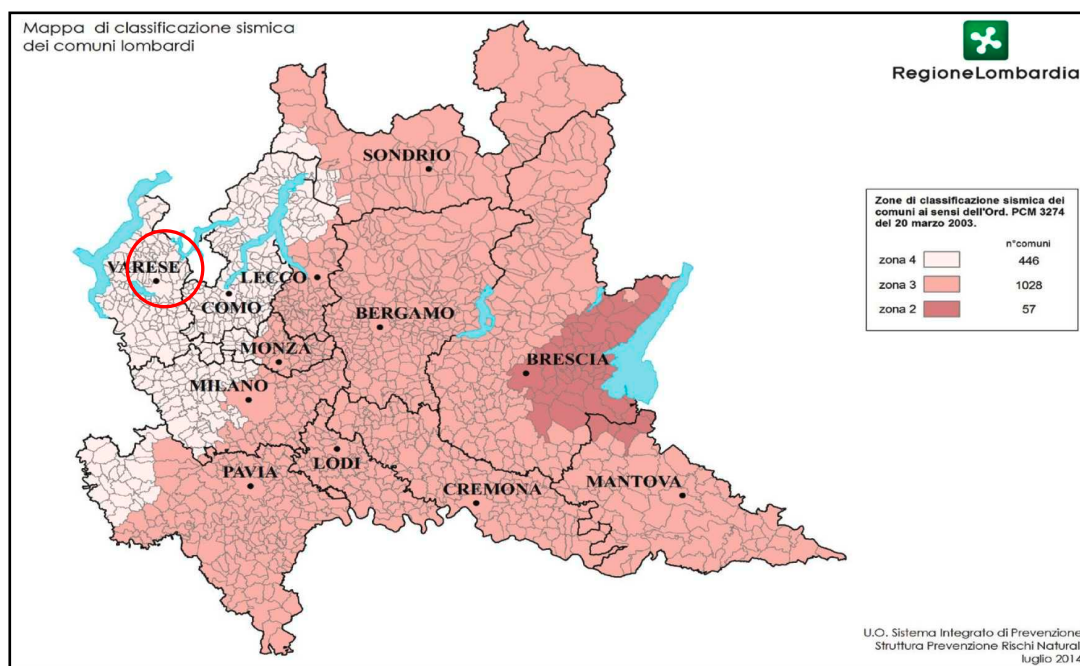


Fig. n. 6.1 – Classificazione sismica Regione Lombardia (D.G.R. n. X/2129 del 11/07/2014).

Successivamente le “*Norme tecniche per le costruzioni*” di cui al D.M. 14.01.2008 ed il loro aggiornamento di cui al 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” – O.P.C.M. 3274/2003 e smi ed ex D.M. 14.09.2005) ma al valore di accelerazione massima orizzontale attesa su base probabilistica ad uno specifico sito (criterio “sito dipendente”).

6.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Come accennato nei capitoli precedenti, contestualmente all’emanazione della O.P.C.M. 3274/2003, è stata prodotta una nuova versione della Carta della Pericolosità Sismica del territorio nazionale (INGV anno 2004 e 2006) che costituisce il riferimento per il calcolo dell’azione sismica nel D.M. 17.01.2018. La mappa riporta il valore dell’accelerazione orizzontale massima a_g che ha la probabilità di essere superato almeno una volta nei prossimi 50 anni; tale valore di probabilità è assunto come riferimento dalla normativa sismica vigente.

Nella seguente figura si riporta l’estratto della mappa di pericolosità sismica relativa alla Regione Lombardia, da cui si ricava che per il territorio di Induno Olona il valore di a_g atteso risulta compreso tra 0,025g e 0,05g.

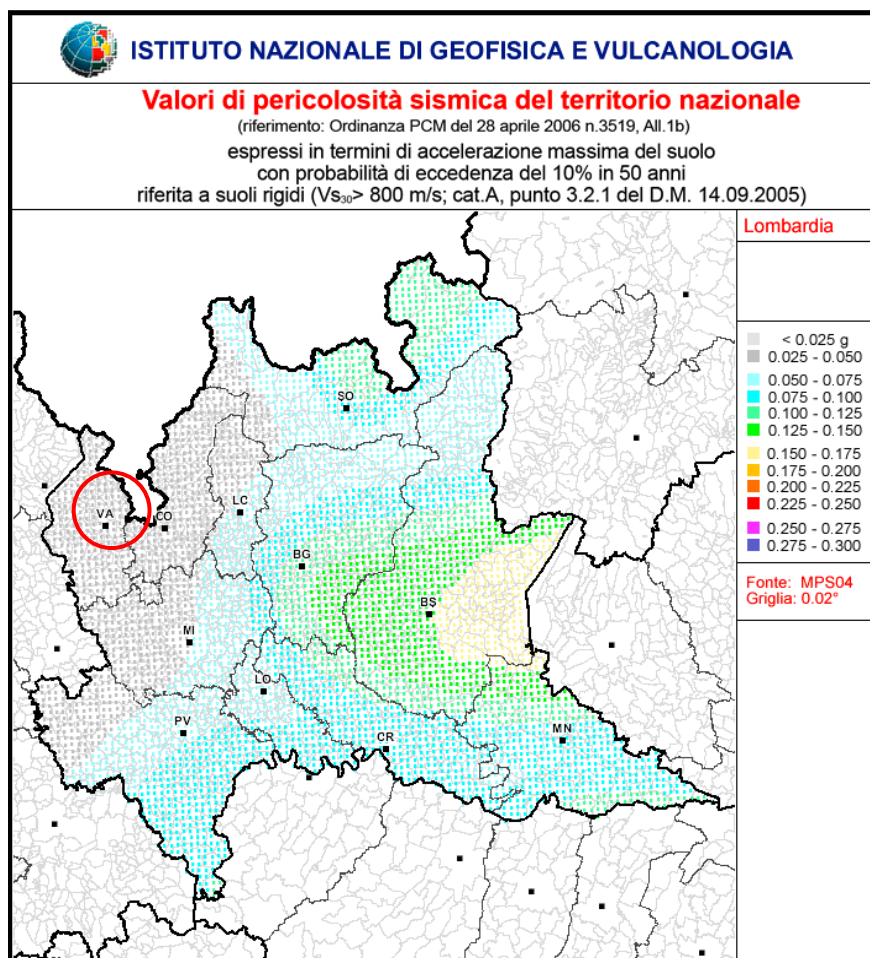


Fig. n. 6.2 – Pericolosità sismica, Regione Lombardia.

Sulla base dei periodi di riferimento dell'evento sismico (V_R) per le due tipologie di fabbricati in esame, pari a 75 e 50 anni, i parametri sismici di base ricavati dall'interpolazione tra i nodi della griglia definita dal D.M. 14.01.2008 ed il loro aggiornamento di cui al D.M. 17.01.2018 sono riportati nella seguente tabella (*Tab. n. 6.1*).

	Prob. Sup. [%]	T_r [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	81	45	0,017	2,574	0,163
SLD	63	75	0,021	2,545	0,195
SLV	10	712	0,043	2,650	0,293
SLC	5	1462	0,051	2,720	0,314

Tab. n. 6.1a – Parametri sismici di base per gli edifici commerciali (non sono presi in considerazione i possibili effetti di amplificazione di sito).

	Prob. Sup. [%]	Tr [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	81	30	0,015	2,595	0,156
SLD	63	50	0,018	2,569	0,165
SLV	10	475	0,038	2,630	0,279
SLC	5	975	0,046	2,666	0,305

Tab. n. 6.1b – Parametri sismici di base per gli edifici residenziali (non sono presi in considerazione i possibili effetti di amplificazione di sito).

6.2 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Tuttavia, i soli valori di a_g non sono sufficienti a descrivere le caratteristiche del moto atteso in un sito: le locali condizioni geologiche e geomorfologiche possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area.

Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei terreni e dei materiali coinvolti; pertanto, gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione dei possibili effetti locali, distinguibili in due grandi gruppi: quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli dovuti ad instabilità (o effetti cosismici).

Mentre gli effetti di instabilità interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente tale nei confronti delle sollecitazioni sismiche (esempio i versanti, le frane quiescenti, etc.), gli effetti di sito o di amplificazione sismica locale interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese.

Questi ultimi sono rappresentati dall'insieme di modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il

bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le strutture locali.

Con riferimento al D.M. 14 gennaio 2008 (Testo Unico delle Costruzioni) ed il loro aggiornamento di cui al D.M. 17.01.2018, gli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia ed alla conformazione topografica vengono messi in conto mediante i parametri S_S (coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo) e S_T (coefficiente che tiene conto delle condizioni topografiche).

6.2.1 Effetti stratigrafici

Il parametro " S_S " che definisce gli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia viene valutato in funzione delle caratteristiche del terreno fino alla profondità del substrato, oppure per depositi con profondità del substrato superiore a 30 m verrà valutato fino a 30 m considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Infatti, l'aggiornamento delle "*Norme tecniche per le costruzioni*", di cui al D.M. 17.01.2018, sostituisce il parametro di V_{s30} introducendo il concetto di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{S,eq}$) definita dall'espressione:

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

con:

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

Sulla base delle indagini sismiche eseguite in sito (*Tab. n. 4.2 e Fig. n. 4.2*), si calcola il valore delle $V_{S,eq}$. Utilizzando la formula sopra riportata

si ottiene un valore di $V_{s,30}$ pari a 367 m/s (la profondità H è stata misurata a partire da m 1 dal p.c. attuale), a cui corrisponde la **categoria di sottosuolo di tipo B**, (Tab. n. 6.2) per la quale si ricava un coefficiente di amplificazione litologica S_s pari a 1,2 (tramite le espressioni riportate nella tabella 3.2.IV del D.M. 17-01-2018).

Categoria	Descrizione del profilo stratigrafico	$V_{s, eq}$ (m/s)
A	<u>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</u> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.	> 800
B	<u>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</u> , 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.	360 - 800
C	<u>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</u> 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.	180 - 360
D	<u>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</u> , 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.	100 - 180
E	<u>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</u> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.	

Tab. n. 6.2 - Categorie di suolo di fondazione (D.M. 17-01-2018).

6.2.2 Effetti topografici

Per la valutazione degli effetti topografici si fa riferimento alla classificazione proposta nella tabella 3.2.III del D.M. 17 gennaio 2018, in base alla quale il comparto in esame viene classificato nella categoria topografica T1 (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) cui corrisponde un valore di S_T pari a 1,0 (tabella 3.2.V del D.M. 17-01-2018).

6.3 VERIFICA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE

Lo studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. comunale inserisce il comparto in esame nello scenario di pericolosità sismica Z4a: zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi.

La normativa regionale che determina i criteri per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio (D.G.R. n. 9/2616 del 30 novembre 2011) prevede, per i Comuni ricadenti in zona sismica 4, nelle aree PSL Z4 lo sviluppo del secondo livello di approfondimento sismico nel caso di edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03).

Visto che il progetto prevede la realizzazione di n. 2 medie/grandi strutture di vendita (edificio rilevante secondo il d.d.u.o. n. 19904/03) si procede pertanto alla realizzazione del secondo livello di approfondimento sismico previsto dalla normativa regionale.

La procedura prevista dall'Allegato 5 della D.G.R. n. 9/2616 del 30-11-11 consiste in un approccio semiquantitativo e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di fattore di amplificazione (F_a).

1. Scelta della *scheda di valutazione di riferimento*

In base all'andamento delle v_s con la profondità ricavato dall'indagine con metodologia MASW si è scelta la scheda per litologia limoso sabbiosa tipo 2 per la quale la curva v_s -z sperimentale è interamente compresa nel campo di validità.

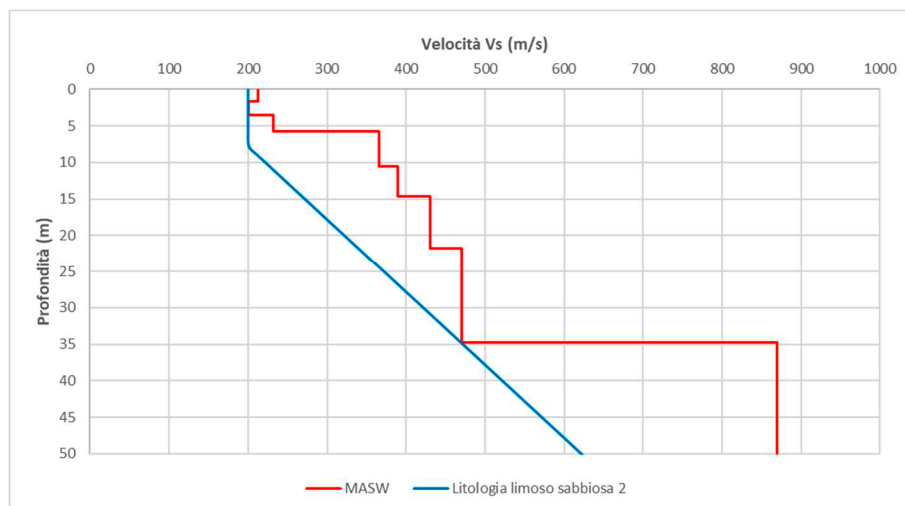


Fig. n. 6.3 – Andamento dei valori di v_s con la profondità: confronto tra misurazione in sito e scheda per litologia limoso sabbiosa 2.

2. Scelta della curva T-Fa

Con riferimento la profondità di m 1 dall'attuale p.c. è stato considerato come strato superficiale lo spessore di c.ca m 5 con velocità media V_s pari a c.ca 215 m/s corrispondenti quindi alla curva 2 (verde) del grafico T-Fa.



Fig. n. 6.4 – Matrice per la scelta della curva più appropriata per il calcolo del fattore di amplificazione.

3. Calcolo del periodo proprio del sito

Il calcolo considera tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è uguale o superiore a 800 m/s con la seguente formula:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

ottenendo un valore del periodo proprio del sito pari a 0,34 s (prossimo al valore corrispondente alla frequenza di sito misurata mediante indagine HVSR e pari a 0,33 s).

4. Determinazione del fattore di amplificazione

Dall'applicazione delle formule o dalla lettura del grafico (*Fig. n. 6.5*) è stato stimato il fattore di amplificazione F_a per i due periodi tipici 0,1-0,5 s (strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) e 0,5-1,5 s (strutture più alte e più flessibili) che è risultato pari a:

F_a	
0,1-0,5 s	0,5-1,5 s
2,13	1,32

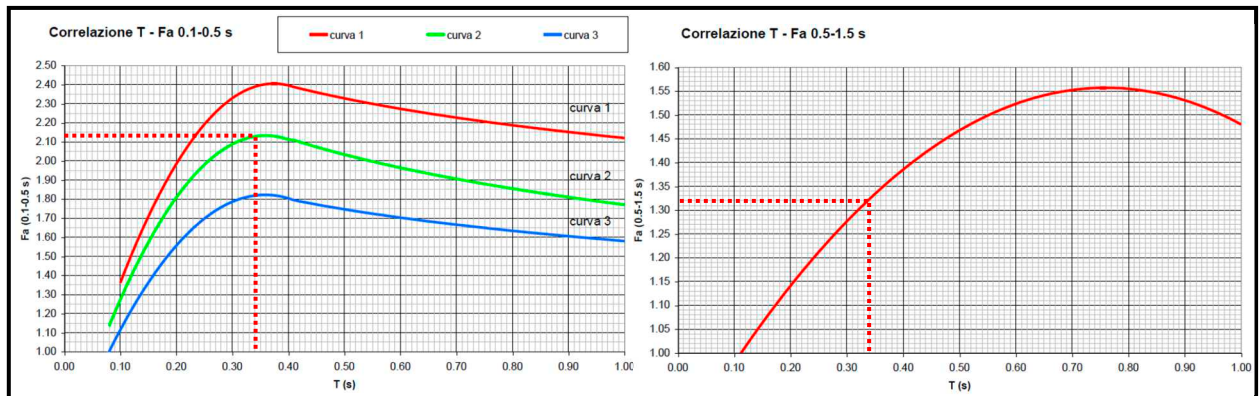


Fig. n. 6.5 – Grafico per la determinazione del fattore di amplificazione.

5. Confronto con i valori soglia calcolati per il Comune di Induno Olona.

Nella tabella sottostante sono riportati i valori soglia calcolati dalla Regione:

	Valori soglia			
Categorie di suolo	B	C	D	E
Periodo 0,1 – 0,5 s	1,4	1,9	2,2	2,0
Periodo 0,5 – 1,5 s	1,7	2,4	4,2	3,1

I fattori di amplificazione calcolati per strutture con intervallo di periodo proprio tra 0,1 e 0,5 s (strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) risultano superiori alla soglia stabilita dalla Regione Lombardia per suoli appartenenti alla categoria B ($F_{a,c} = 2,1 > F_{a,s} = 1,4$): la normativa nazionale (D.M. 17 gennaio 2018) non è quindi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione locale dovuti alla litologia. Sarà pertanto necessario, in fase di progettazione esecutiva, effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore: anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo D ($F_{a,c} = 2,1 < F_{a,s} = 2,2$).

I fattori di amplificazione calcolati invece per strutture con intervallo di periodo proprio tra 0,5 e 1,5 (strutture alte e flessibili) risultano inferiori alla soglia stabilita dalla Regione Lombardia per suoli appartenenti alla categoria B ($F_{a,c} = 1,3 < F_{a,s} = 1,7$): la normativa nazionale (D.M. 17 gennaio 2018) è quindi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione locale dovuti alla litologia.

6.4 SINTESI DEI PARAMETRI SISMICI

Nella seguente tabella si sintetizzano i parametri sismici per la definizione dello spettro di risposta elastico con riferimento la categoria di sottosuolo B (Tab. n. 6.3), da ritenersi valida per la progettazione degli edifici residenziali.

	S_s [-]	S_T [-]	C_c [-]	K_h [-]	K_v [-]	a_{max} [m/s ²]
SLO	1,200	1,000	1,600	0,003	0,002	0,171
SLD	1,200	1,000	1,580	0,004	0,002	0,214
SLV	1,200	1,000	1,420	0,009	0,005	0,451
SLC	1,200	1,000	1,390	0,011	0,006	0,543

Tab. n. 5.3 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito (categoria di sottosuolo B) per edifici residenziali.

Per la progettazione degli edifici ad uso commerciale (edifici rilevanti secondo la definizione del d.d.u.o. n. 19904/03), nel caso di strutture con intervallo di periodo proprio tra 0,1 e 0,5 s (strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) per le quali è stato verificato il superamento delle soglie stabilite dalla Regione Lombardia, si dovrà fare riferimento ad analisi più approfondite (3° livello) o allo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo D (Tab. n. 6.4).

	S_s [-]	S_T [-]	C_c [-]	K_h [-]	K_v [-]	a_{max} [m/s ²]
SLO	1,800	1,000	3,090	0,006	0,003	0,307
SLD	1,800	1,000	2,830	0,008	0,004	0,377
SLV	1,800	1,000	2,310	0,015	0,008	0,751
SLC	1,800	1,000	2,230	0,018	0,009	0,892

Tab. n. 6.4 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito (categoria di sottosuolo D) per edifici commerciali con intervallo di periodo proprio tra 0,1 e 0,5 s.

Nel caso le strutture ad uso commerciale avessero un intervallo di periodo proprio tra 0,5-1,5 s (strutture più alte e più flessibili), per le quali il fattore di amplificazione risulta inferiore alla soglia regionale, si potrà fare riferimento alla categoria di sottosuolo B (Tab. n. 6.5)

	S_s [-]	S_T [-]	C_c [-]	K_h [-]	K_v [-]	a_{max} [m/s ²]
SLO	1,200	1,000	1,580	0,004	0,002	0,204
SLD	1,200	1,000	1,530	0,005	0,003	0,251
SLV	1,200	1,000	1,410	0,010	0,005	0,501
SLC	1,200	1,000	1,390	0,012	0,006	0,595

Tab. n. 5.3 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito (categoria di sottosuolo B) per edifici commerciali con intervallo di periodo proprio tra 0,5 e 1,5 s.

6.5 CONSIDERAZIONI SUL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

La liquefazione è un fenomeno di annullamento temporaneo della resistenza al taglio dovuto ad accumulo di deformazioni plastiche nei terreni saturi, prevalentemente sabbiosi (ma non solo) sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate; questo fenomeno fa sì che il terreno si comporti come un fluido e interessa materiali privi di coesione quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata dalla colonna di terreno sovrastante.

In accordo a quanto prescritto dal D.M. 17 gennaio 2018 la verifica del potenziale di liquefazione può essere omessa qualora si verifichi almeno una delle condizioni sottoelencate:

- Accelerazione massima al suolo (a_{max}) in condizioni di free-field inferiore a 0,10g.
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m e fondazioni di tipo superficiale.
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$.
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura n. 7.11.1 delle NTC18.

Nel caso specifico in studio si osserva che:

- la massima accelerazione attesa al sito a_{max} risulta pari a:

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 0,083g \text{ (SLC)} < 0,1g;$$

- livello di falda idrica posto a profondità superiore a 30 m;

pertanto è possibile escludere che il sito possa essere soggetto a fenomeni di liquefazione.

7 STIMA PRELIMINARE DEGLI IMPATTI AMBIENTALI

In questo capitolo vengono analizzate le interazioni fra le componenti ambientali di interesse ed i fattori che possono influenzarle sia in fase di cantiere sia in fase di esercizio dell'opera.

Poiché le opere in progetto ricadono su di un'area industriale dismessa gli interventi previsti in linea di massima non provocheranno modificazioni sensibili delle caratteristiche naturali; viceversa il progetto potrebbe portare ad un miglioramento delle condizioni di degrado in cui versa attualmente il comparto in esame.

1.1 SUOLO E SOTTOSUOLO

La valutazione degli impatti su tale componente ambientale riguarda la variazione di uso del suolo e l'occupazione di spazio che la realizzazione degli interventi in oggetto comporta, la fattibilità geologica dell'intervento e la modificazione delle caratteristiche qualitative dei terreni dell'area.

Relativamente all'alterazione delle caratteristiche qualitative dei terreni imputabili alle operazioni previste, non vi è motivo di ipotizzare effetti negativi: le opere in progetto andranno ad interessare un sito già oggetto di attività antropica di tipo industriale, che sarà tuttalpiù oggetto di interventi di bonifica secondo le risultanze della specifica indagine di caratterizzazione ambientale.

La vocazione commerciale e residenziale che assumerà il comparto presumibilmente avrà un impatto ridotto con il sottosuolo e non ne peggiorerà le caratteristiche chimico fisiche.

Tutte le attività di cantiere dovranno comunque essere condotte a norma di legge e, comunque, nell'ottica di evitare qualsiasi pericolo di diffusione di possibili inquinanti negli strati di terreno a seguito delle operazioni di movimento terre.

Dal punto di vista geomorfologico si evidenzia che il comparto è posto in una zona pianeggiante non interessata da processi di dinamica geomorfologica.

Per quanto riguarda la fattibilità geotecnica e geologica si ritiene che le caratteristiche del comparto siano tali da non porre vincoli di natura particolare rispetto all'intervento da realizzarsi; non si ritiene altresì che possano verificarsi alterazioni delle caratteristiche dei terreni in seguito alla realizzazione dell'intervento. La realizzazione di una apposita indagine geologica, geotecnica e sismica ha permesso di definire un modello geologico approfondito che costituirà la base per il dimensionamento strutturale in fase esecutiva.

Le azioni prodotte dal P.I.I. non determinano impatti significativi sulla componente suolo e sottosuolo, apportando invece condizioni migliorative.

1.2 ACQUE SOTTERRANEE

Le opere in progetto non prevedono la realizzazione di piani interrati; inoltre l'elevata soggiacenza della falda idrica (superiore a 30 m) fa sì che non vi siano interferenze dirette tra acque sotterranee e strutture in progetto.

Tutte le attività saranno condotte nel rispetto della disciplina vigente in materia di qualità della risorsa idrica e sugli scarichi.

Per quanto riguarda l'impatto relativo alla reimmissione negli orizzonti superficiali delle acque meteoriche raccolte dalle superfici impermeabili di nuova realizzazione, secondo quanto previsto per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica e idrogeologica (Reg. Reg. n. 7/2017), anche in relazione alla presenza della fascia di rispetto del pozzo idropotabile presente a valle. Particolare attenzione dovrà comunque essere posta alla gestione e smaltimento delle acque meteoriche, specie nelle aree di parcheggio a servizio delle strutture commerciali, mediante la predisposizione di idonei presidi (disoleatori, etc.).

Gli interventi previsti dal Piano andranno inoltre a migliorare la qualità delle acque sotterranee come conseguenza dei preliminari interventi di bonifica.

Un discorso particolare merita l'impatto relativo all'aumento della domanda di acqua potabile in seguito alla realizzazione del nuovo complesso commerciale e residenziale. Sulla base delle analisi contenute nello studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. comunale emerge un saldo positivo della disponibilità idrica dell'acquedotto anche per futuri incrementi della popolazione. Si evidenzia comunque la necessità di effettuare opportune verifiche una volta definiti con maggior accuratezza i fabbisogni idrici del P.I.I..

Infine l'eventuale progettazione di sistemi di riscaldamento / raffrescamento con l'utilizzo della risorsa geotermica sia a circuito chiuso che aperto dovranno essere attentamente valutati in relazione alla presenza del punto di captazione a valle dell'area di Piano

Le operazioni previste non comportano impatti significativi sulla componente acque sotterranee.

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'area di Piano è ubicata in corrispondenza del settore meridionale del Comune di Induno Olona, situato in un settore di transizione tra le Prealpi lombarde e l'alta pianura lombarda, in un contesto nel quale il substrato roccioso viene ricoperto da depositi sciolti di origine glaciale, fluvioglaciale e fluviale di età quaternaria.

Il comparto è caratterizzato dalla presenza di depositi fluvioglaciali del Pleistocene Medio-Superiore appartenenti all'Allogruppo di Besnate, costituiti da sabbie e ghiaie stratificate a supporto di clasti o di matrice sabbiosa medio-fine.

A scala di dettaglio la morfologia del sito, attualmente costituito da un'area industriale dismessa, si presenta subpianeggiante con terreni che presentano una debole inclinazione verso Sud-Ovest. Non si osservano evidenze di dissesto e in generale non s'individuano fenomeni geomorfologici di rilievo.

L'acquifero, costituito da depositi sciolti in facies fluvioglaciale, è caratterizzato da una falda di tipo libero con direzione di deflusso verso Sud e soggiacenza superiore a 30 m.

Dall'analisi dei fattori sopra descritti emerge che non sono presenti elementi di pericolosità tali da costituire limitazione alla realizzazione degli interventi previsti dal Piano.

Sulla base delle conoscenze geologiche generali e delle risultanze delle indagini geognostiche realizzate è stato possibile definire un modello geologico caratterizzato dalla presenza di due unità litotecniche principali:

- Unità A – Rappresenta l'orizzonte più superficiale del comparto che si rinviene fino a profondità variabili tra m 4,2 e 7,2 da p.c. ed è caratterizzato da un grado di addensamento basso (N_{SPT} compreso tra 2 e 7 colpi/piede) o medio-basso (N_{SPT} compreso tra 6 e 15 colpi/piede). È costituita da sabbie e ghiaie con ciottoli, localmente limose.

- Unità B – Presenta un grado di addensamento da medio alto a molto alto (indicativamente N_{SPT} superiore a 25 colpi/piede, fino al rifiuto alla penetrazione); è costituita presumibilmente da depositi fluvio-glaciali ghiaioso sabbiosi con ciottoli.

- Sulla base delle indagini sismiche svolte i terreni di sedime appartengono alla categoria di suolo B (con riferimento la quota di m -1 da p.c. attuale). Attraverso la valutazione del fattore di amplificazione litologico secondo le modalità previste dall'allegato 5 della D.G.R. n. 9/2616 del 30 novembre 2011 si è verificato però che l'applicazione della normativa sismica nazionale (D.M. 17/01/18) non è sufficiente a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione locale nel caso di strutture con intervallo di periodo proprio tra 0,1 e 0,5 s (strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) per le quali sarà necessario, in fase di progettazione esecutiva, effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore (categoria di suolo D).

- Il periodo di risonanza proprio del sito, definito mediante l'indagine sismica passiva HVSR, è di 3Hz.

Il Piano Integrato di Intervento, si inserisce su di un comparto industriale dismesso in cui sono attualmente presenti edifici produttivi in stato di degrado. Le opere in progetto sono mirate ad una riqualificazione del comparto, migliorando le caratteristiche ambientali di suolo e sottosuolo; non si ravvisano effetti significativi sulla componente falda acquifera.

Per quanto esposto nei capitoli precedenti è possibile affermare che l'intervento *risulta compatibile con le caratteristiche analizzate nella presente relazione fermo restando gli aspetti derivanti dagli studi specifici di dettaglio effettuati/da effettuare e le azioni di mitigazione da realizzare.*

TAVOLE



Sez. CTR A4D4.



Area di Piano



Studio di Geologia Applicata

Dott. Geol. Paolo Granata
Via Varese n°23 - 21050 Cantello (VA)
Tel. 0332/242283 - Fax 0332/241231
e-mail: info@studiocongeo.it

PIANO INTEGRATO DI INTERVENTO
COMPARTO SOLAI E TRAVI

RELAZIONE GEOLOGICA

COROGRAFIA

SCALA
1:10.000

DATA
Marzo 2023

TAVOLA

1

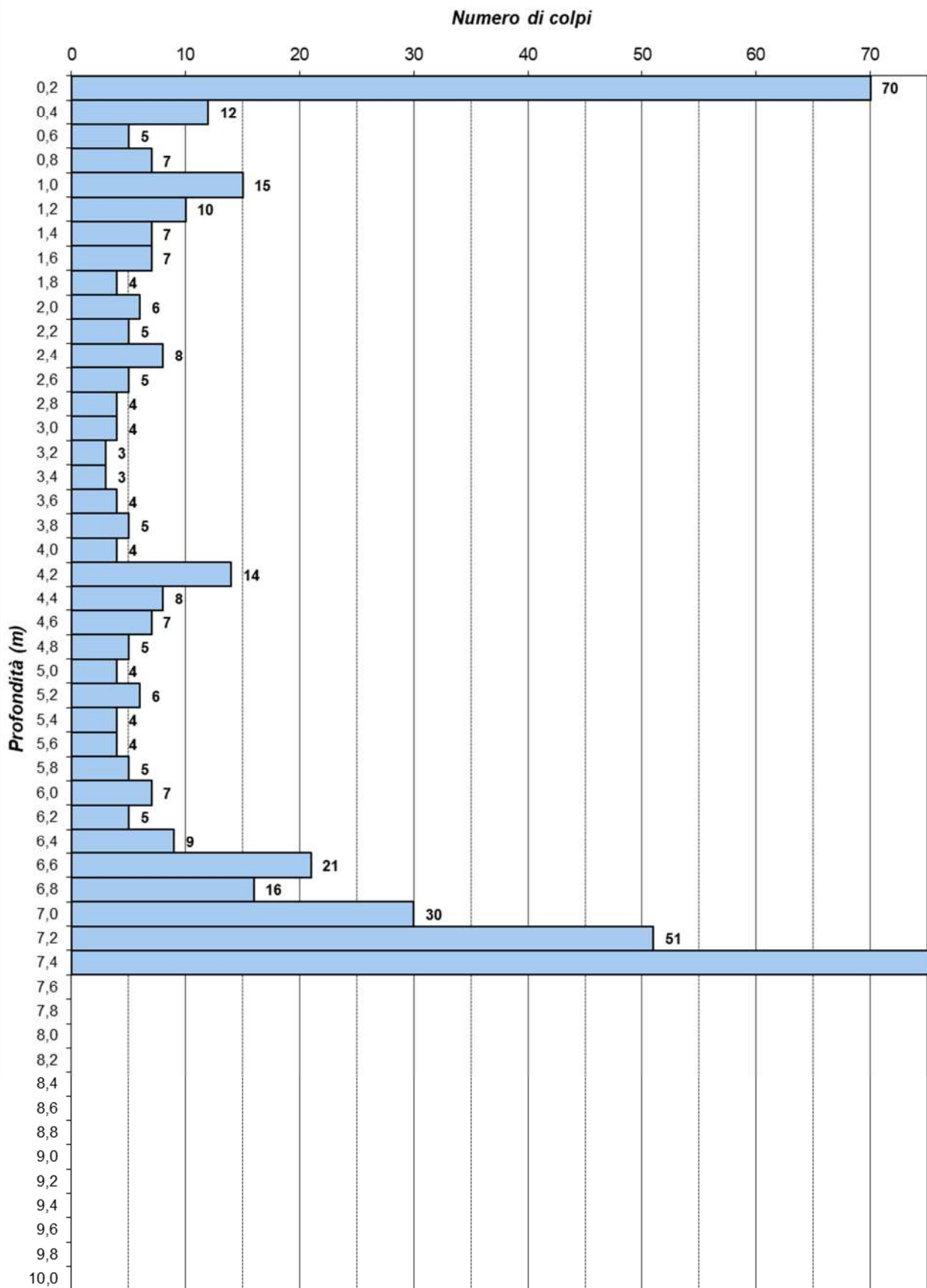
APPENDICE n°1

Prove penetrometriche dinamiche

Prova penetrometrica P1

INDUNO OLONA (VA) - Via Campagna

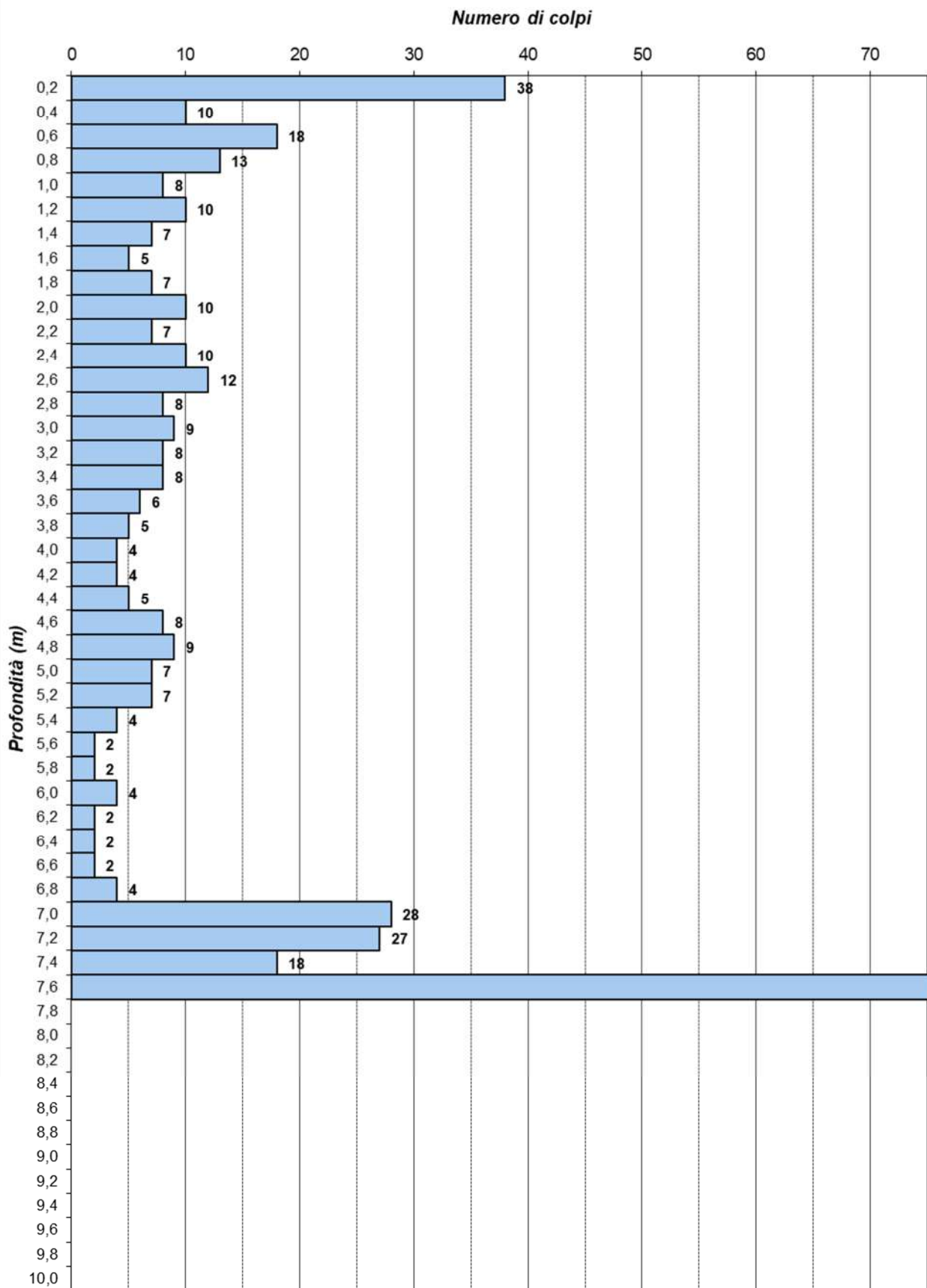
15/02/2023



Prova penetrometrica P2

INDUNO OLONA (VA) - Via Campagna

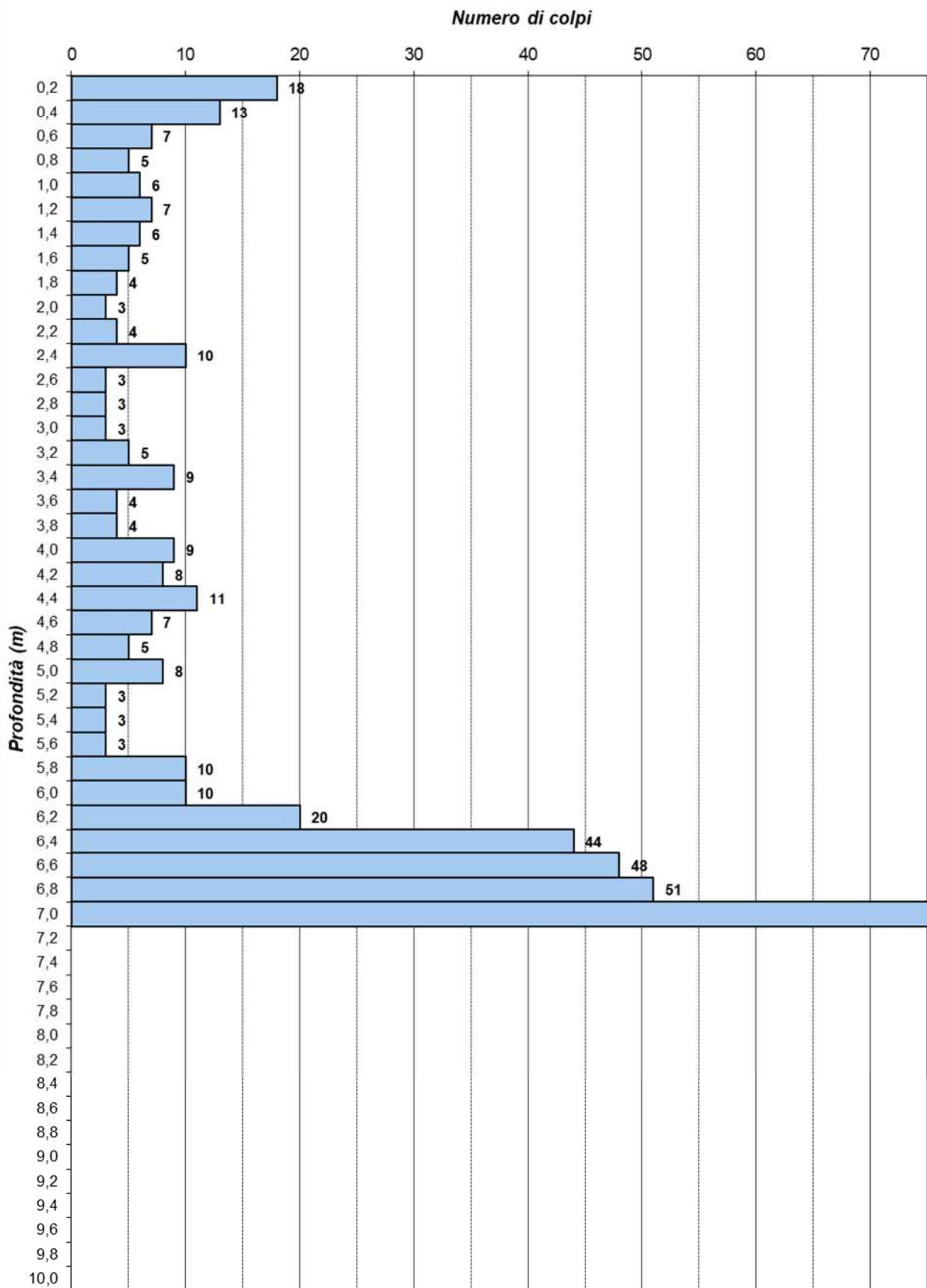
15/02/2023



Prova penetrometrica P3

INDUNO OLONA (VA) - Via Campagna

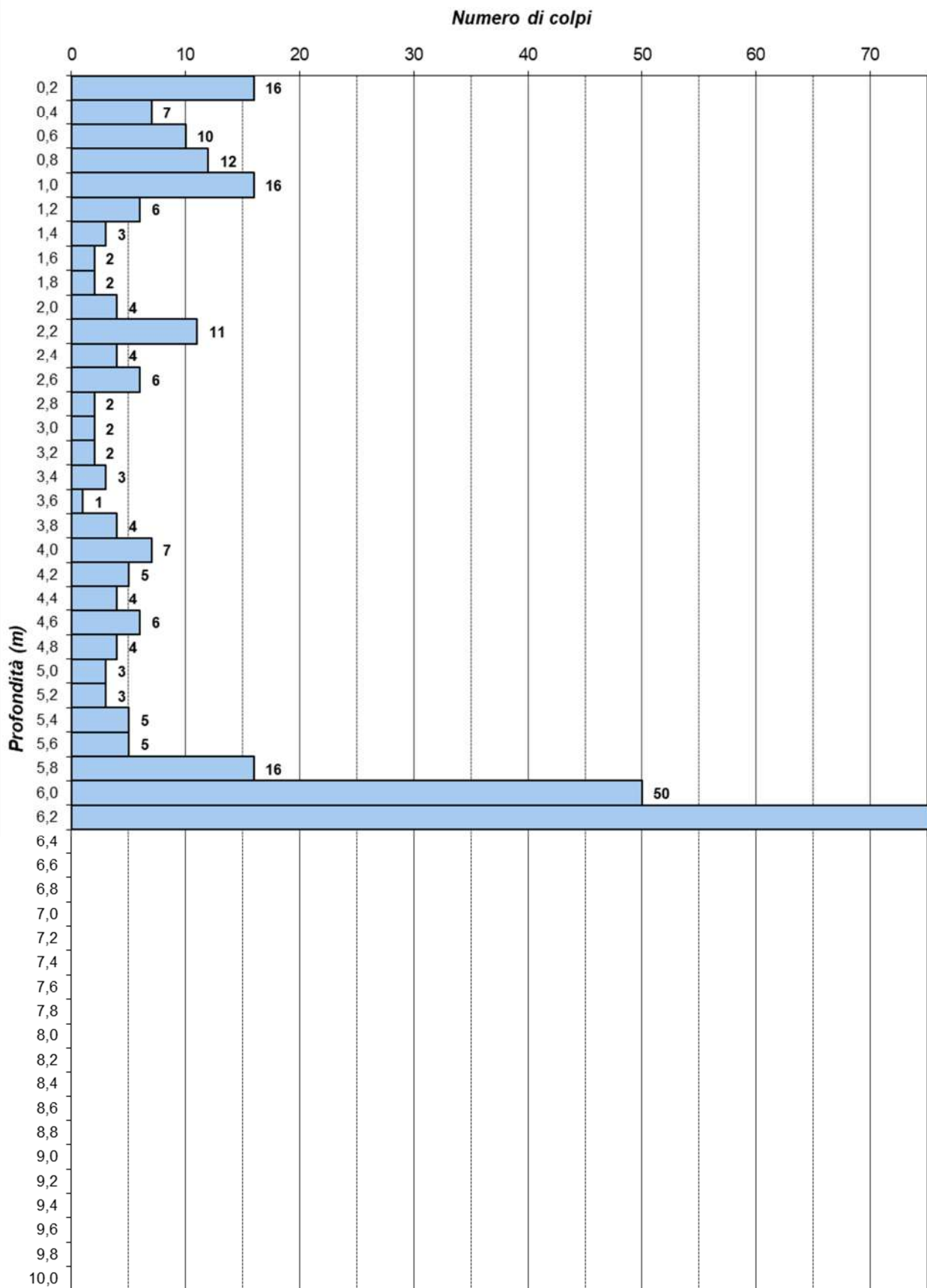
15/02/2023



Prova penetrometrica P4

INDUNO OLONA (VA) - Via Campagna

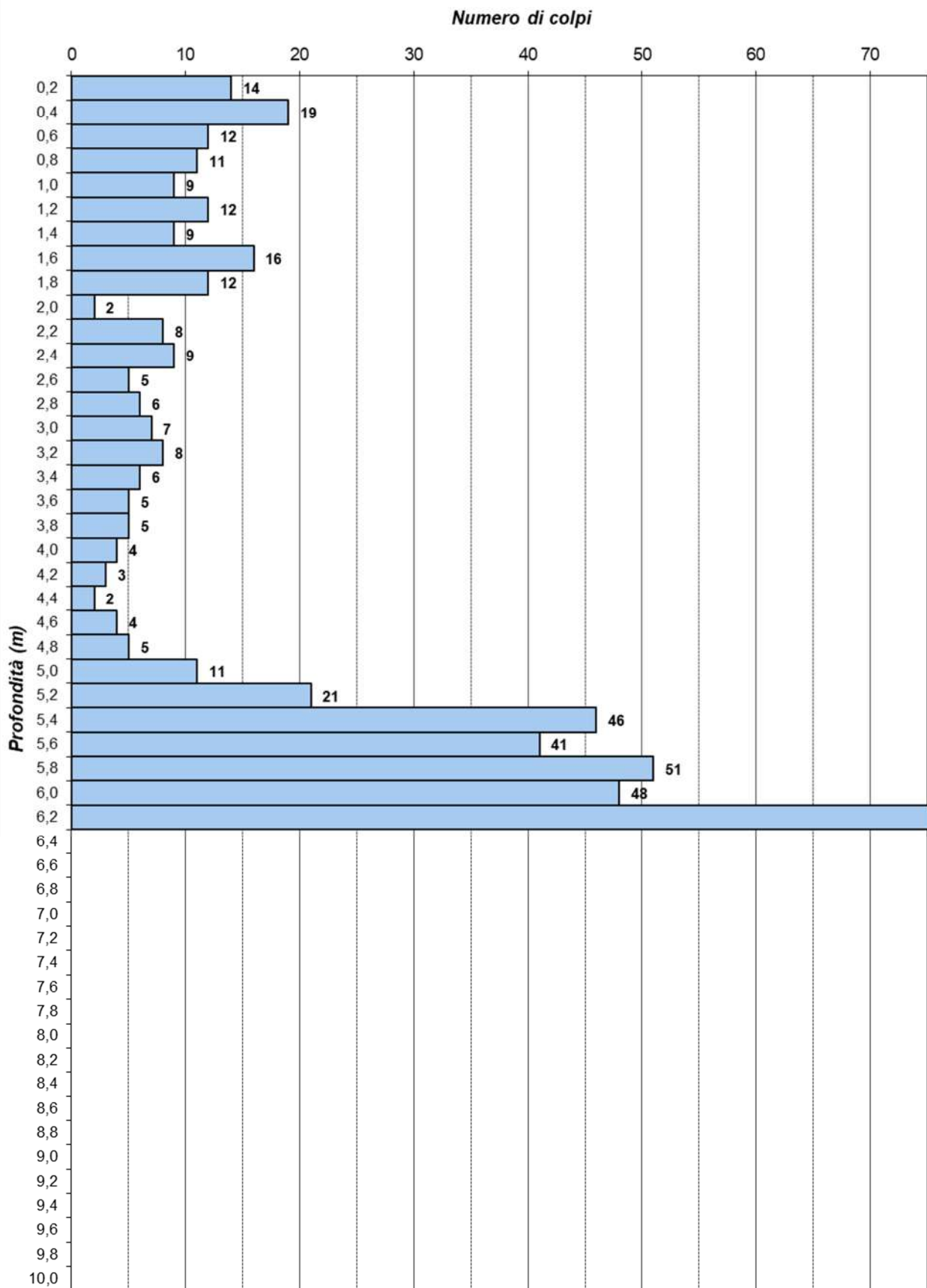
15/02/2023



Prova penetrometrica P5

INDUNO OLONA (VA) - Via Campagna

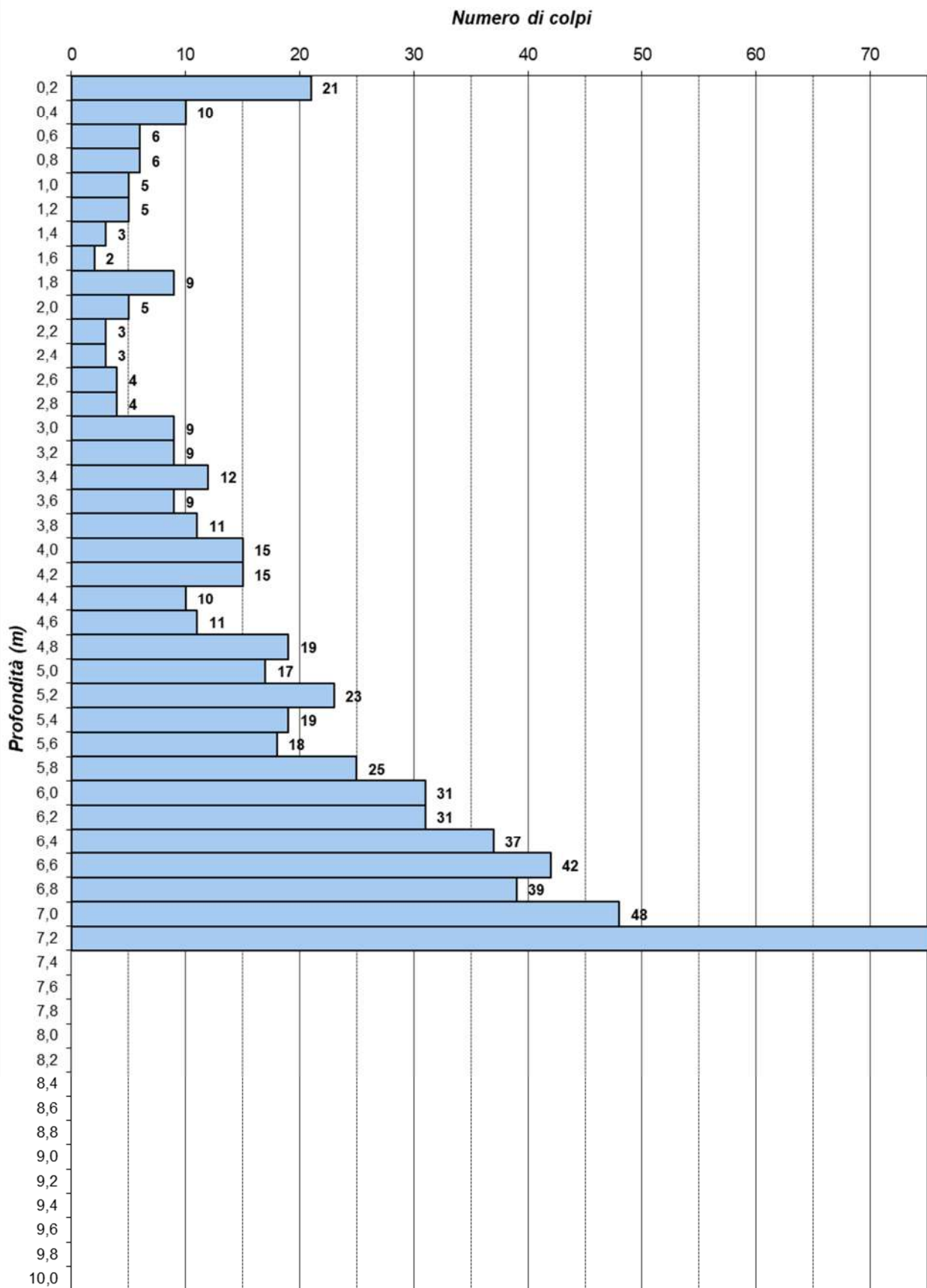
15/02/2023



Prova penetrometrica P6

INDUNO OLONA (VA) - Via Campagna

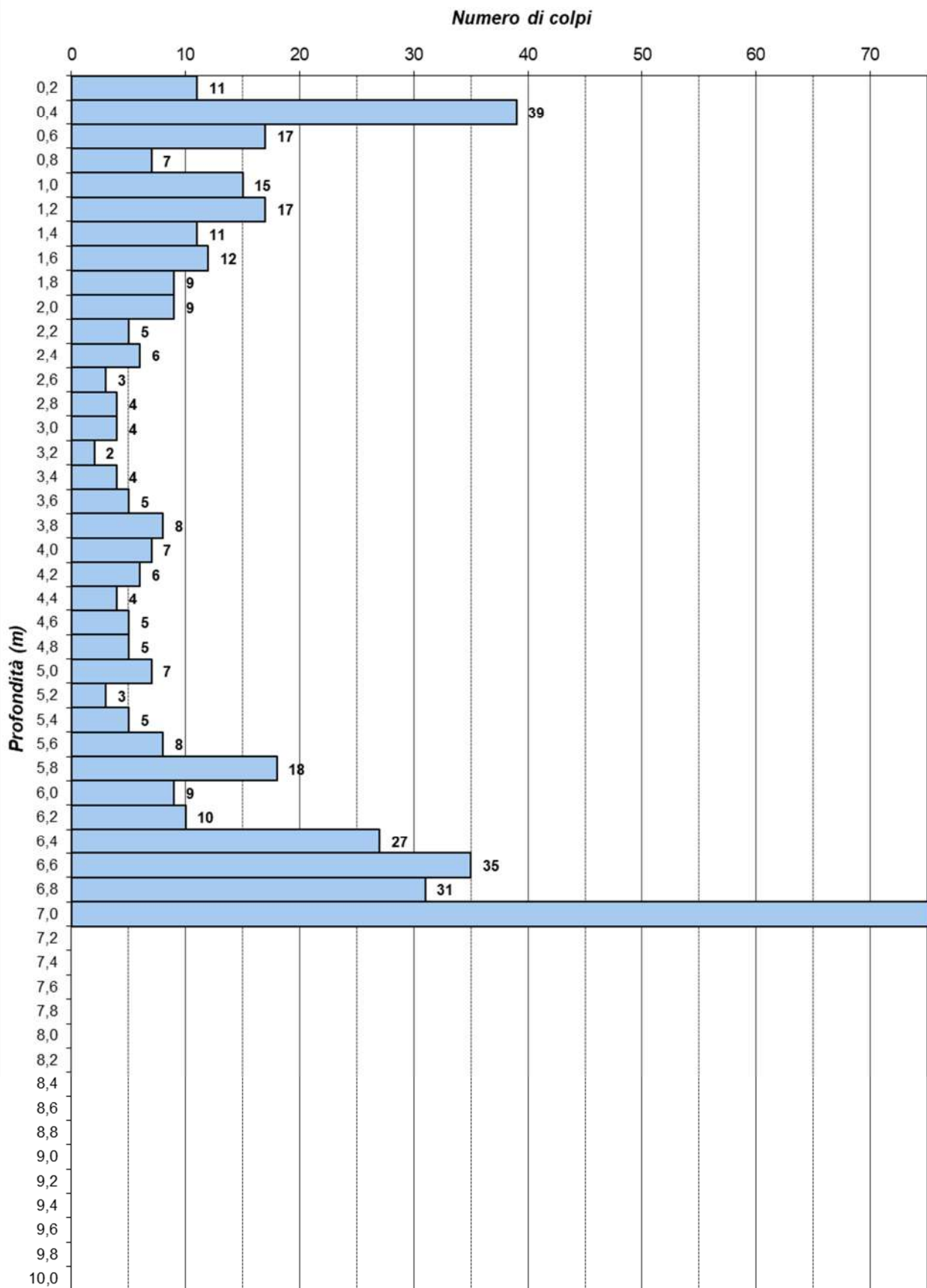
15/02/2023



Prova penetrometrica P7

INDUNO OLONA (VA) - Via Campagna

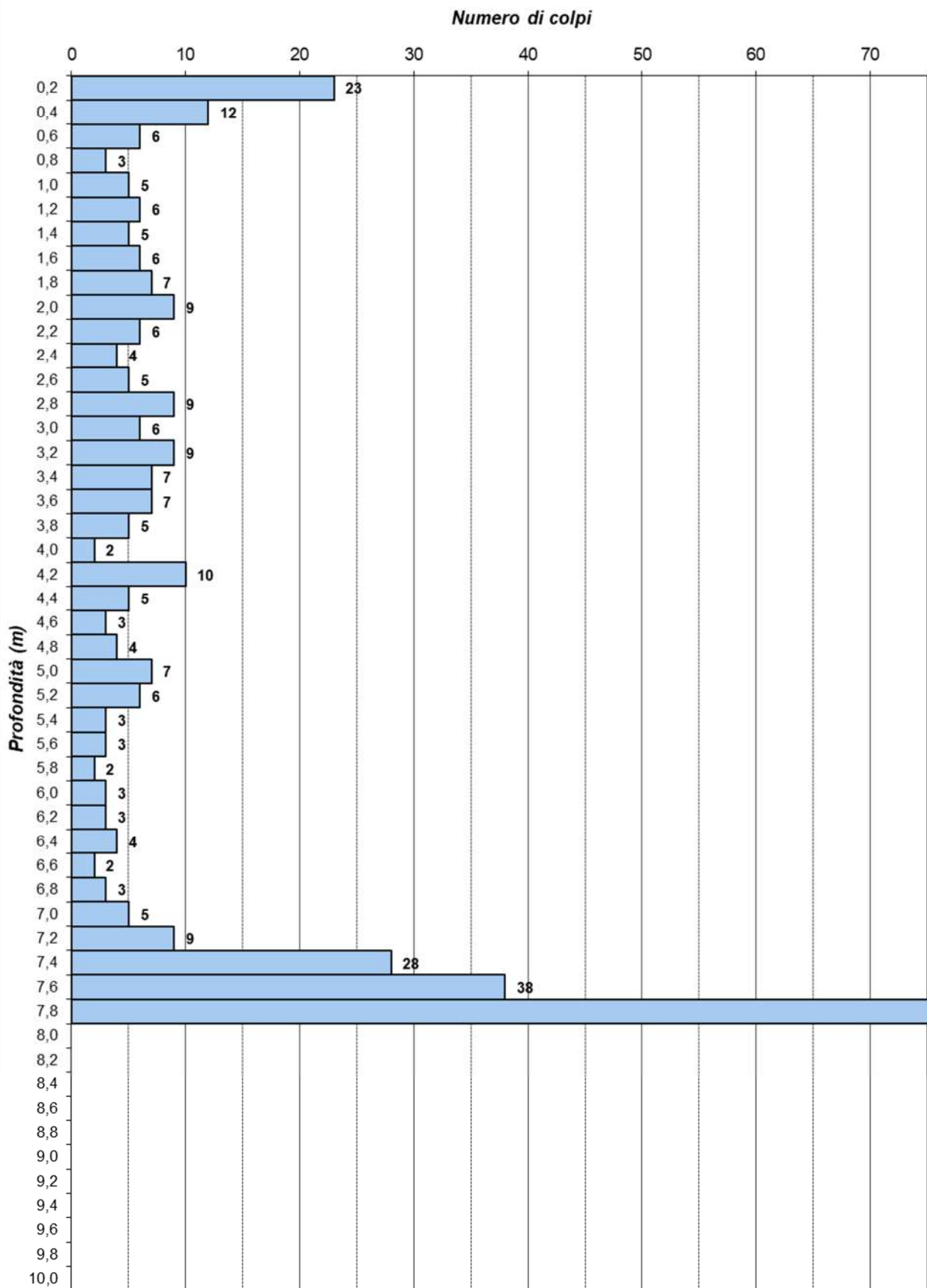
17/02/2023



Prova penetrometrica P8

INDUNO OLONA (VA) - Via Campagna

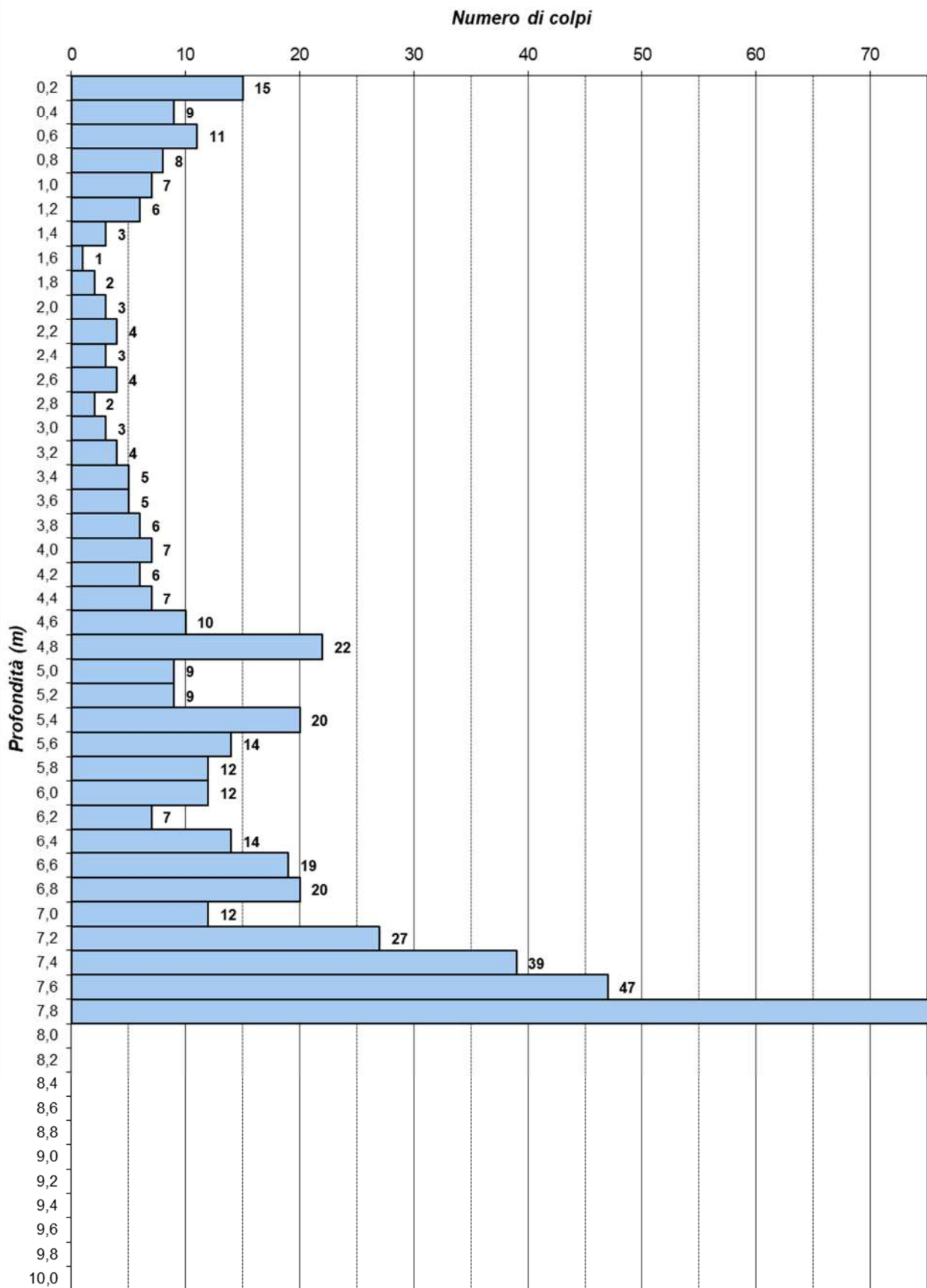
17/02/2023



Prova penetrometrica P9

INDUNO OLONA (VA) - Via Campagna

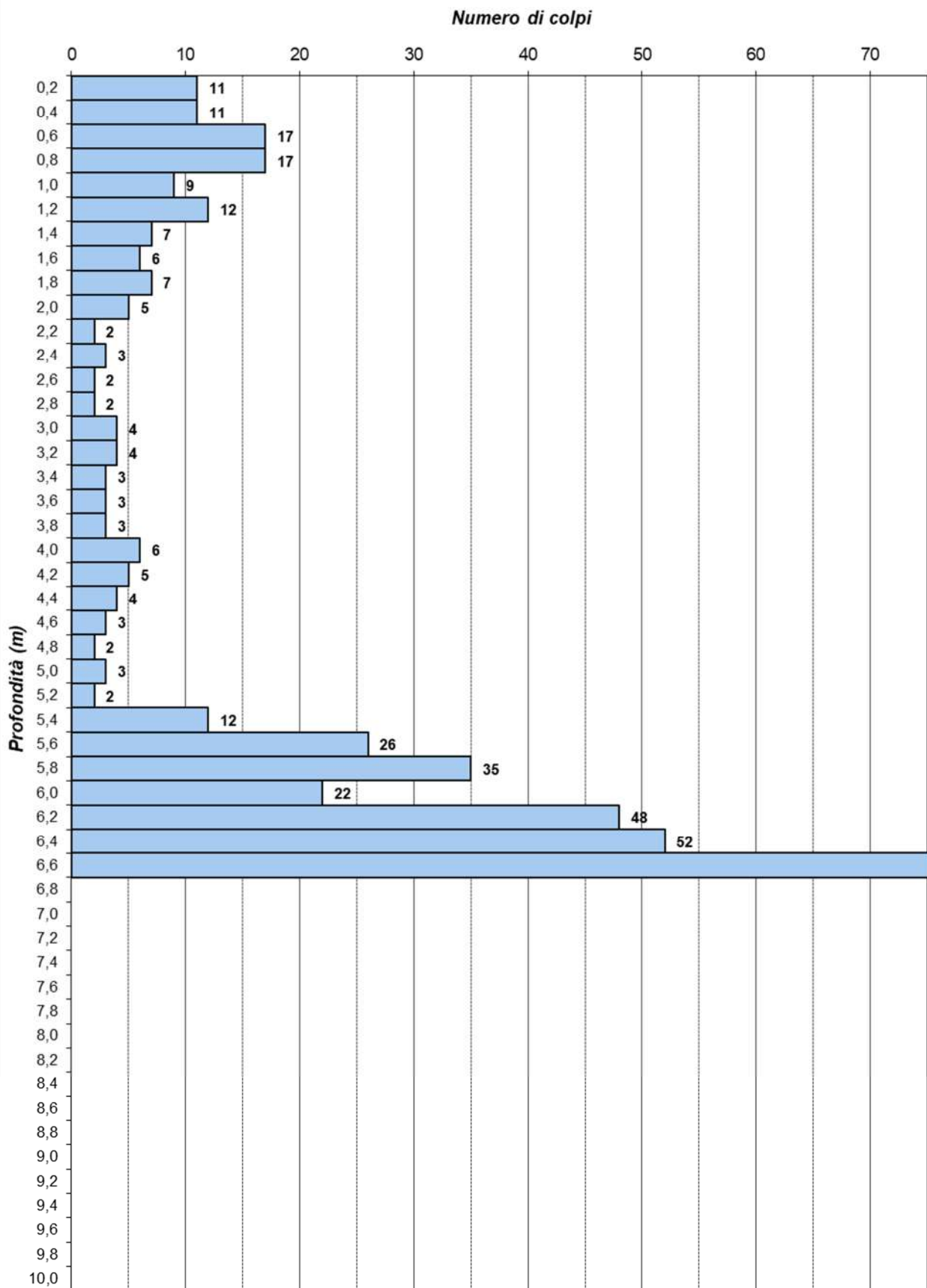
17/02/2023



Prova penetrometrica P10

INDUNO OLONA (VA) - Via Campagna

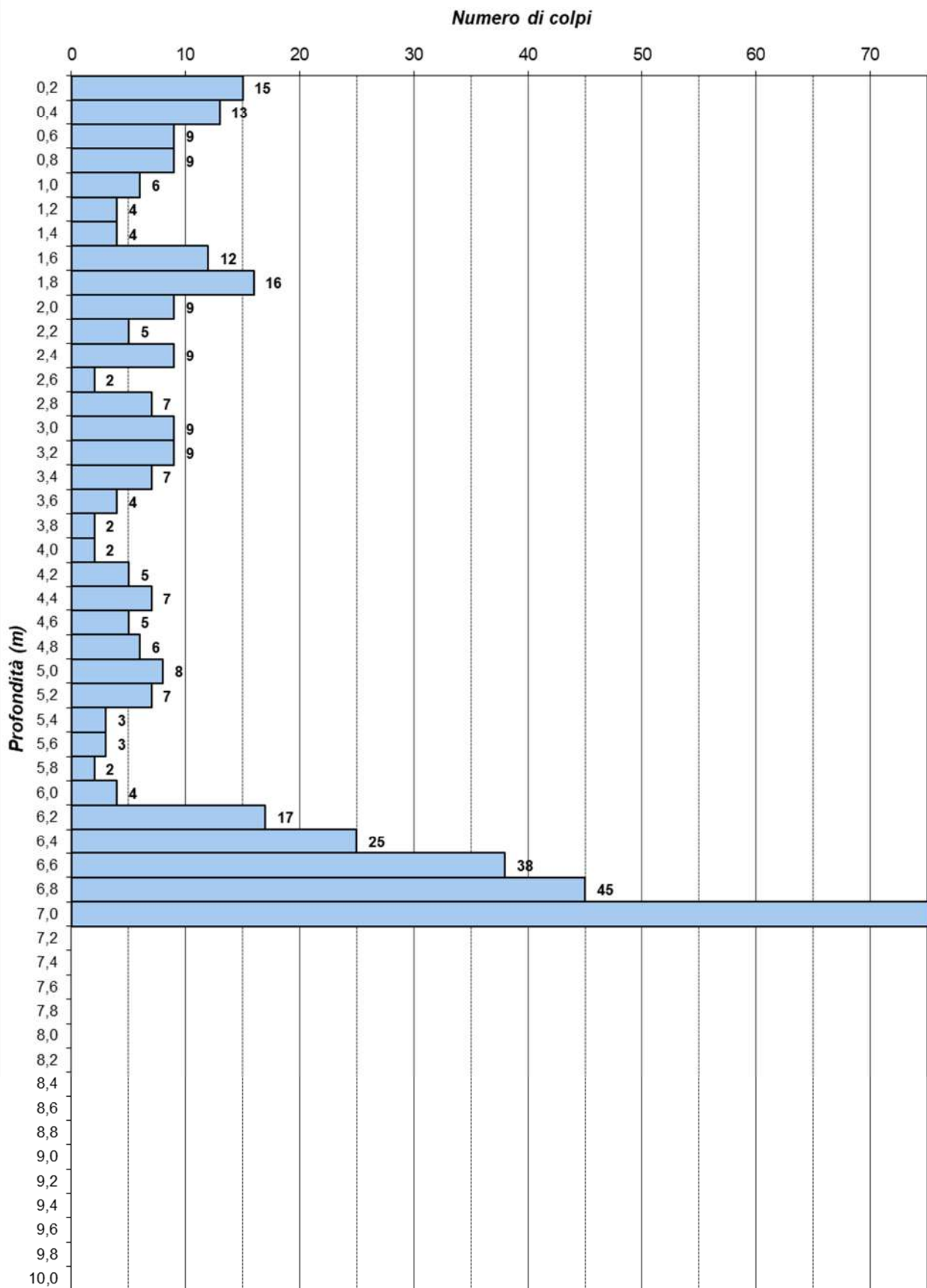
17/02/2023



Prova penetrometrica P11

INDUNO OLONA (VA) - Via Campagna

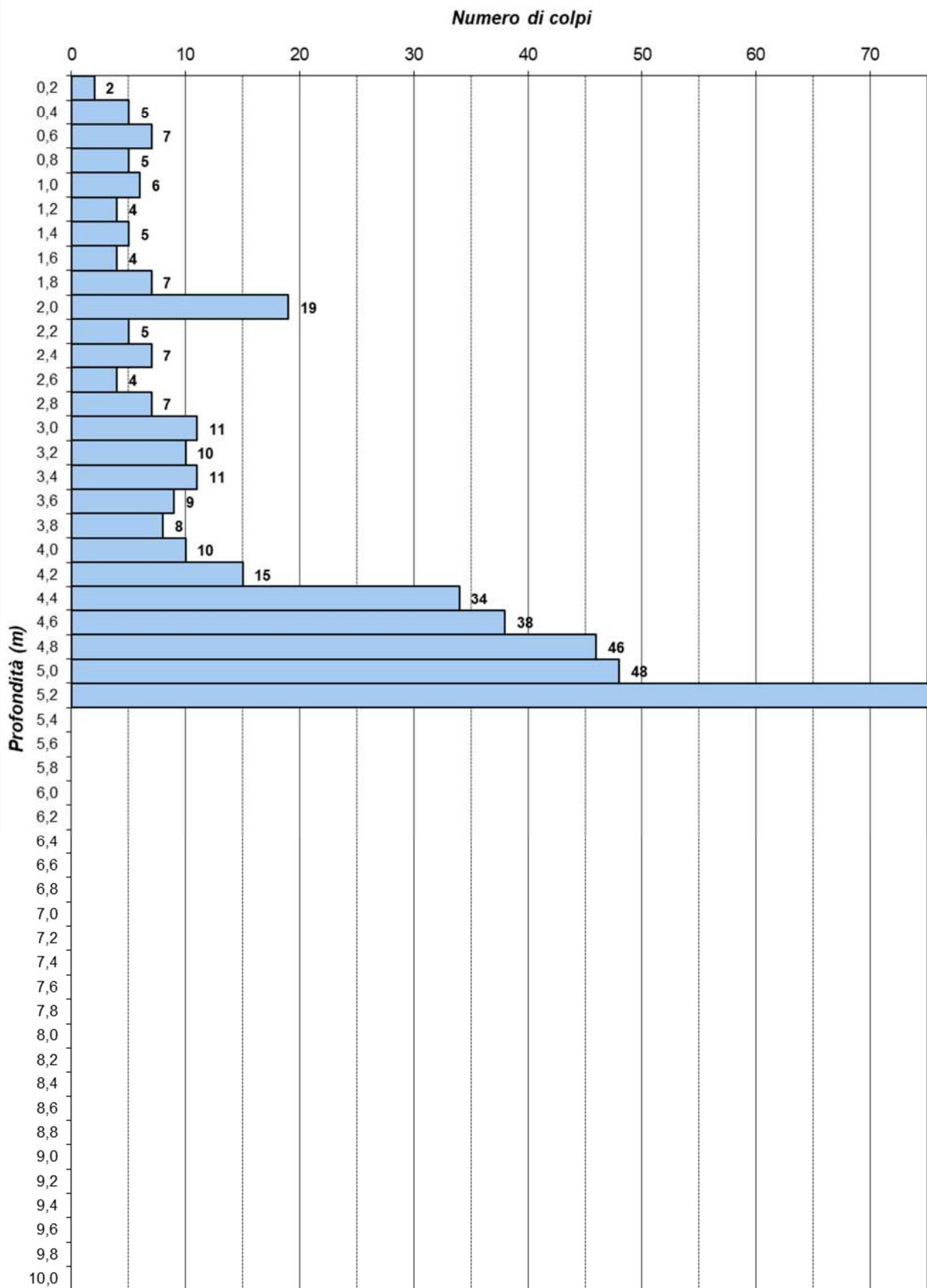
17/02/2023



Prova penetrometrica P12

INDUNO OLONA (VA) - Via Campagna

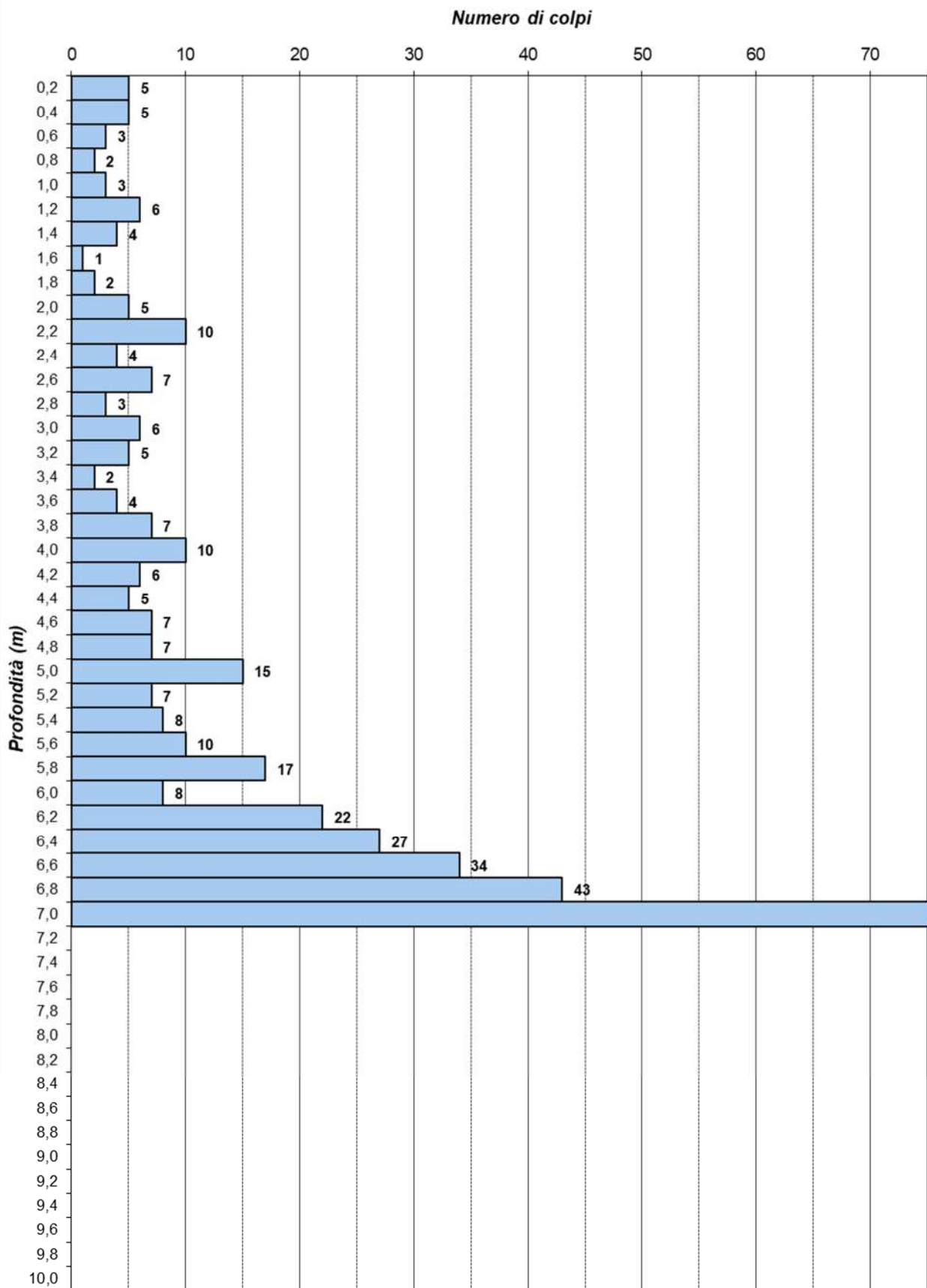
17/02/2023



Prova penetrometrica P13

INDUNO OLONA (VA) - Via Campagna

17/02/2023





Postazione prova penetrometrica P1.



Postazione prova penetrometrica P3.



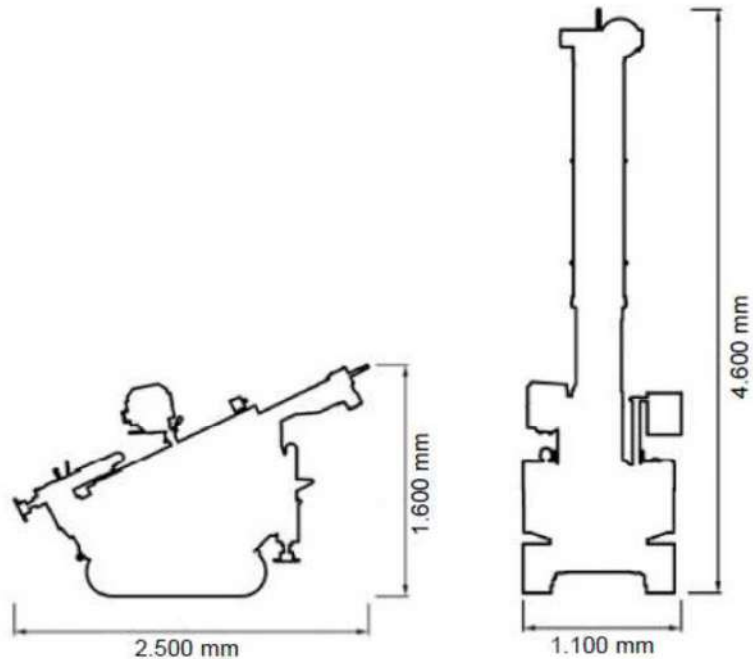
Postazione prova penetrometrica P5.



Postazione prova penetrometrica P9.

PENETROMETRO STATICO/DINAMICO
Modello **TG 63-100** - Pagani Geotechnical Equipment

DIMENSIONI:



CARATTERISTICHE TECNICHE: TG 63-100 EML.C

PESO MASSA BATTENTE	M	= 63,50 kg	
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H	= 0,75 m	
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms	= 0,63 kg	
DIAMETRO PUNTA CONICA	D	= 51,00 mm	
AREA BASE PUNTA CONICA	A	= 20,43 cm ²	
ANGOLO APERTURA PUNTA	α	= 90 °	
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La	= 1,00 m	
PESO ASTE PER METRO	Ma	= 6,50 kg	
AVANZAMENTO PUNTA	δ	= 0,20 m	
NUMERO DI COLPI PUNTA	N	= N(20)	⇒ relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	SI		

ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q	= (MH)/(A δ)	= 11,66 kg/cm ²	(prova SPT: Qspt=7,83 kg/cm ²)
COEFF. TEORICO DI ENERGIA	β_t	= Q/Qspt	= 1,489	(teoricamente: Nspt = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE):

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

M = peso massa battente (altezza caduta H)
P = peso totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)	
1 kg/cm ²	= 0,098067 MPa
1 MPa	= 1 MN/m ² = 10.197 kg/cm ²
1 bar	= 1.0197 kg/cm ² = 0.1 MPa
1 kN	= 0.001 MN = 101.97 kg

APPENDICE n°2

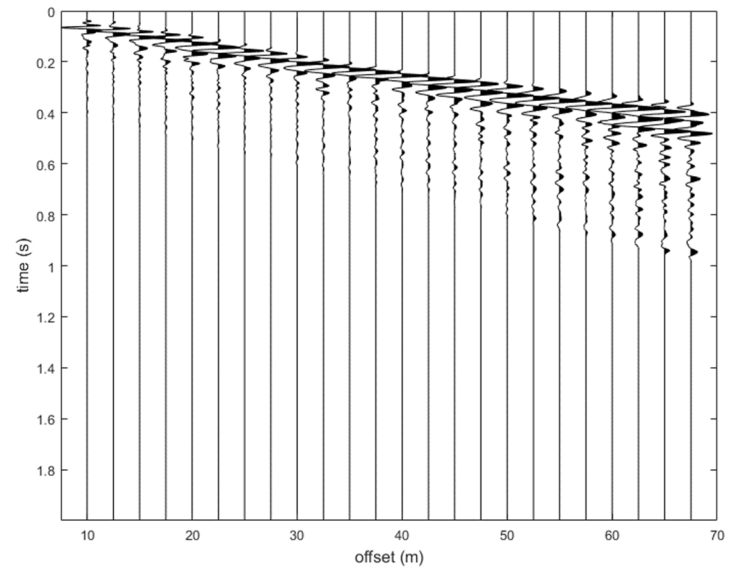
Indagine sismica

Stendimento sismico MASW

Elaborazione dati e risultati

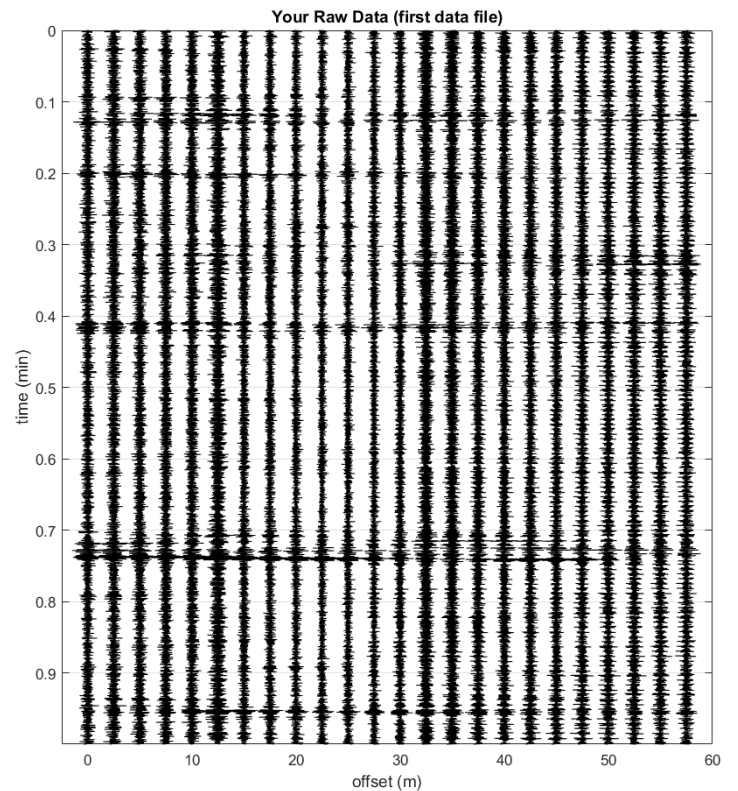
Acquisizione attiva

Data	15/02/2023
N. tracce	24
Durata acquisizione attiva [msec]	2000,0
Interdistanza geofoni [m]	2,5
Periodo di campionamento [msec]	0,5



Acquisizione passiva

Durata acquisizione passiva [sec]	60
Periodo di campionamento [msec]	8
Numero di acquisizioni passive	5



Prova Sismica passiva a stazione singola (HVSr)

SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

Recording start time: 2023/02/15 14:29:14

Recording length: 27.5 min

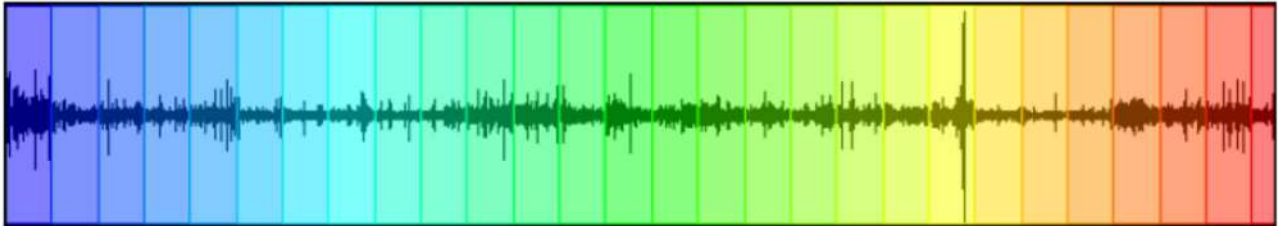
Windows count: 28

Average windows length: 58.93

Signal coverage: 100%

28984 Counts

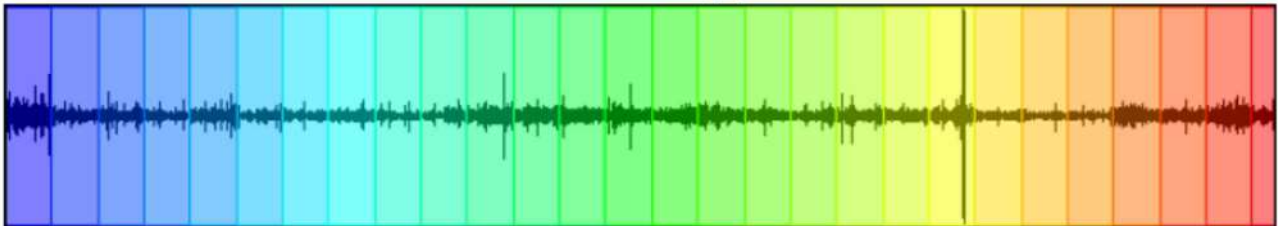
CHANNEL #1 [V]



-30518 Counts

50942 Counts

CHANNEL #2 [N]



-50035 Counts

13956 Counts

CHANNEL #3 [E]



-13400 Counts

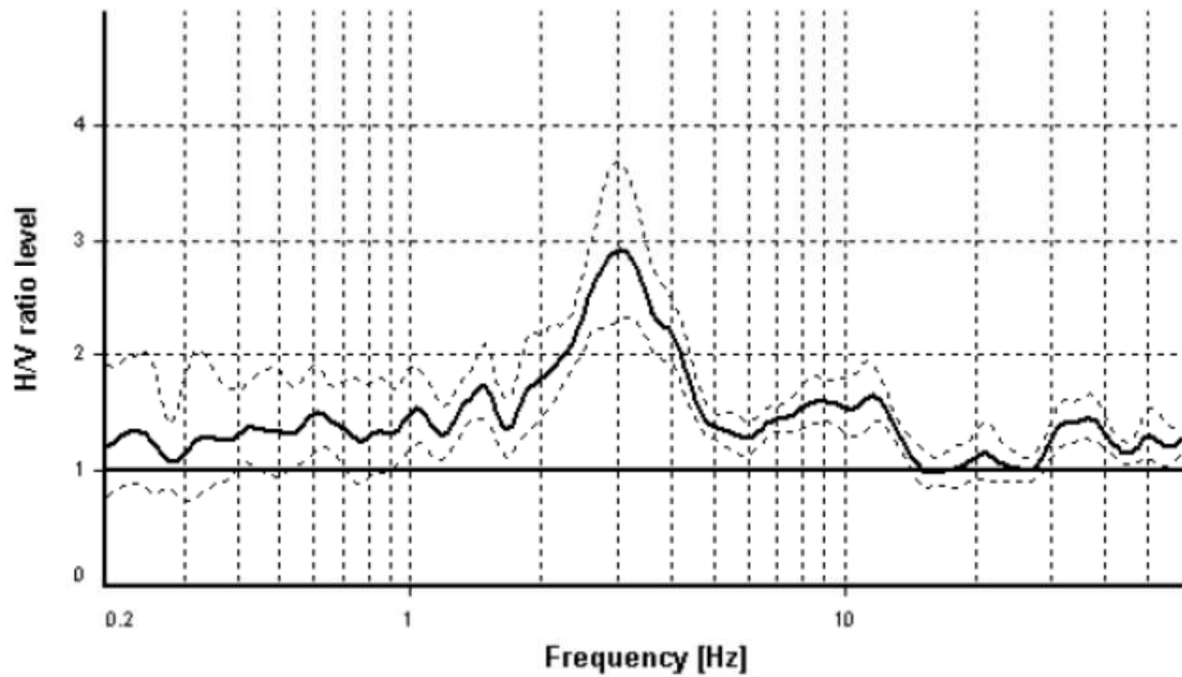
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

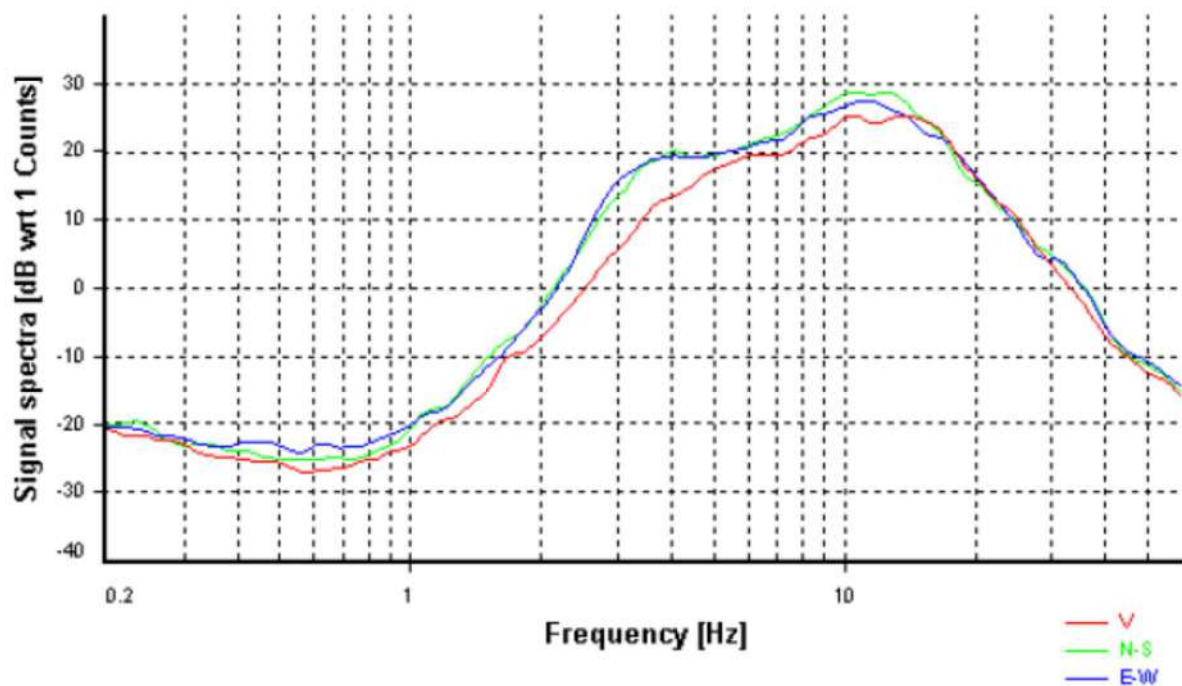
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

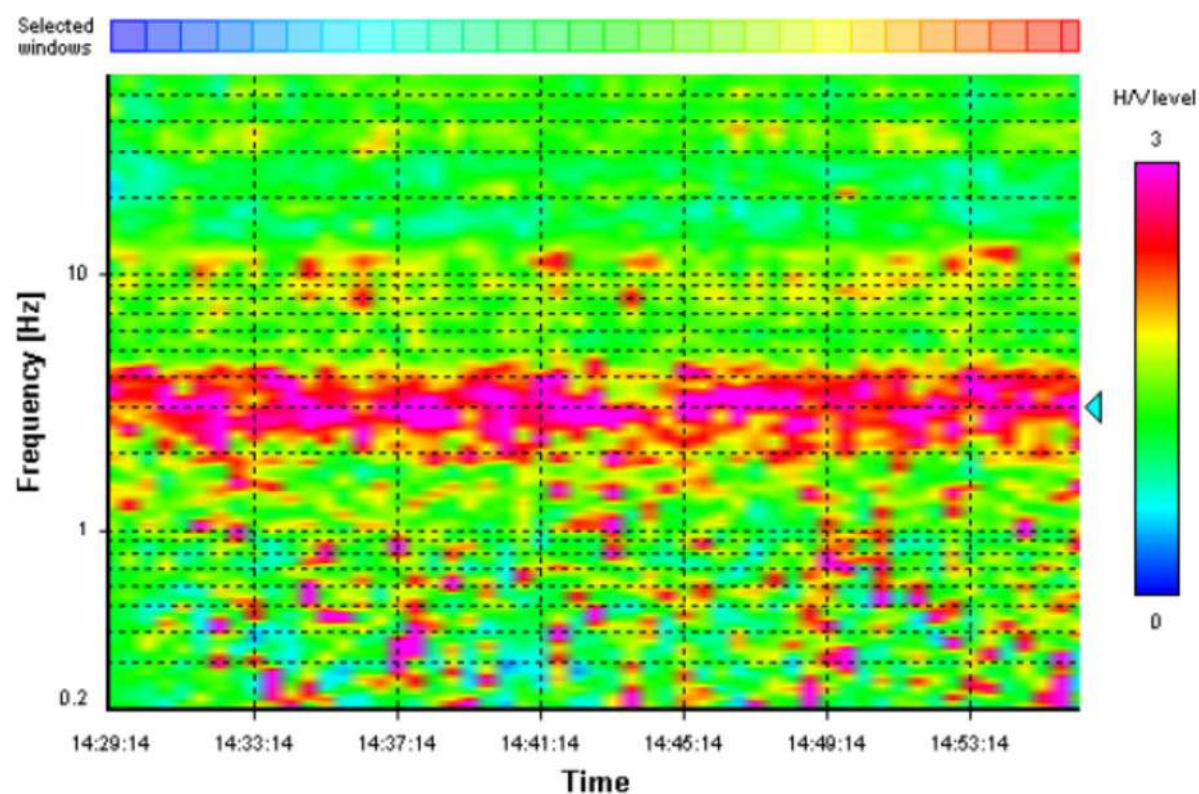
HVSR average



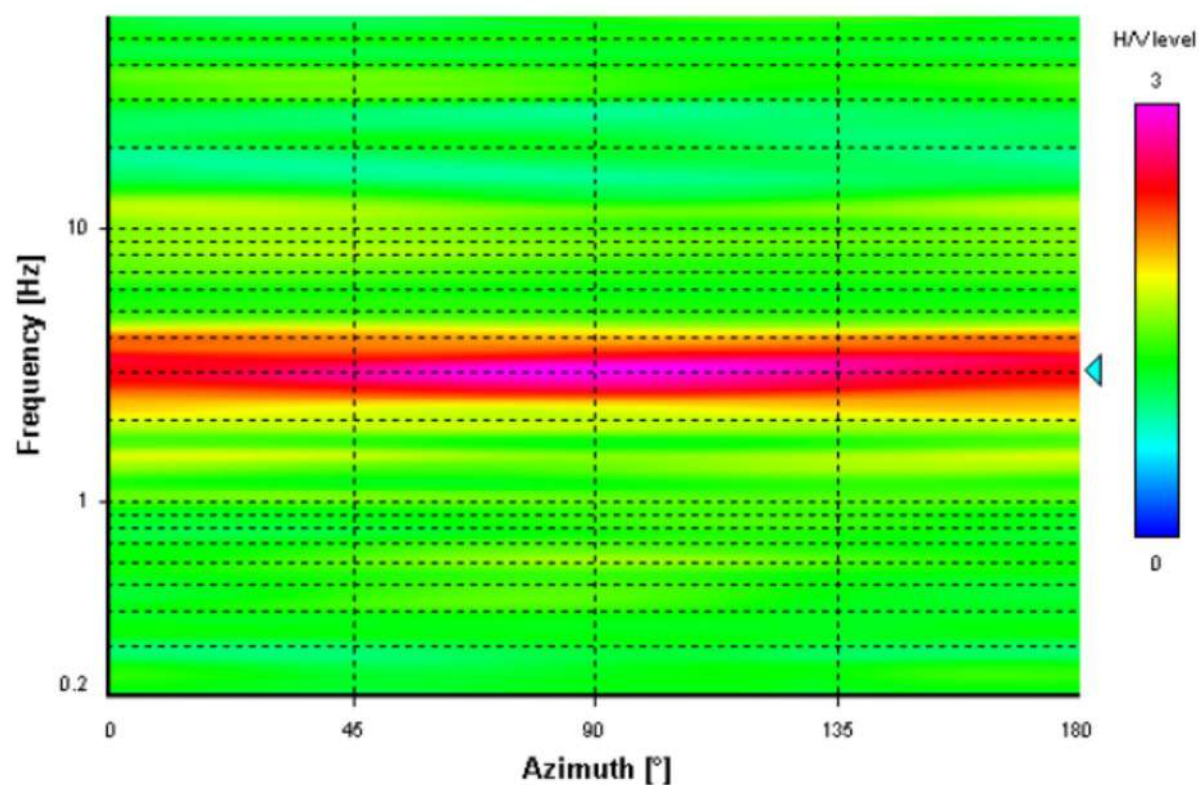
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



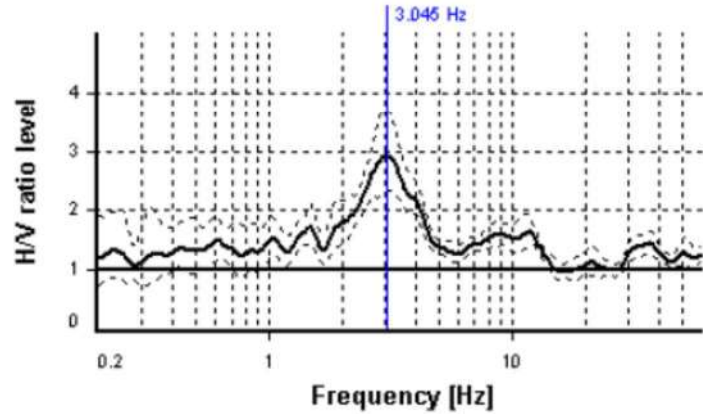
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

3.045 Hz

A_0 amplitude = 2.923

Average $f_0 = 3.040 \pm 0.295$

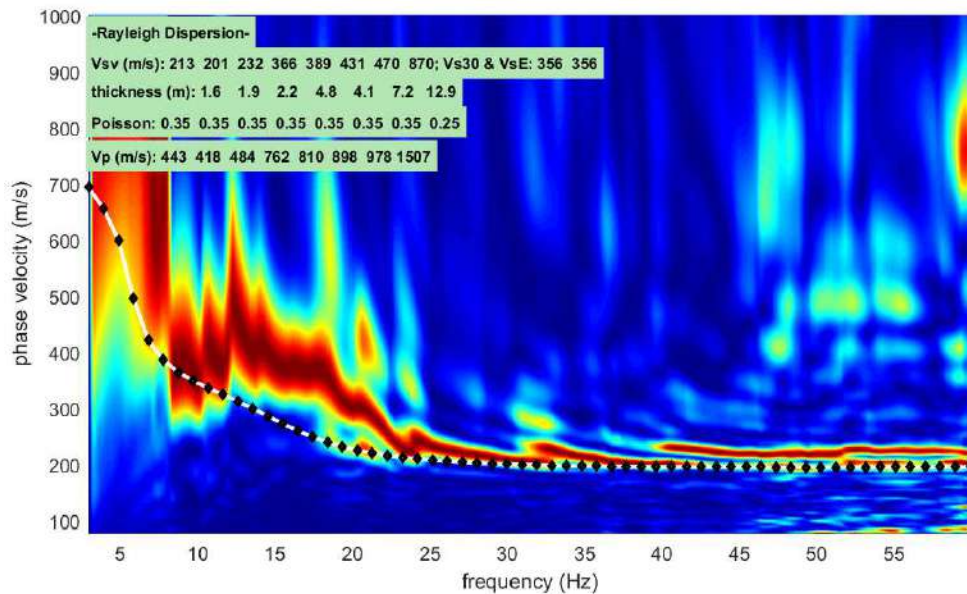


HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	28 valid windows (length > 3.28 s) out of 28	OK
$n_c(f_0) > 200$	5024.11 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 49	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	1.7164 Hz	OK
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	4.8166 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.92 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	2.91% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.29459 >= 0.15225	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.26092 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

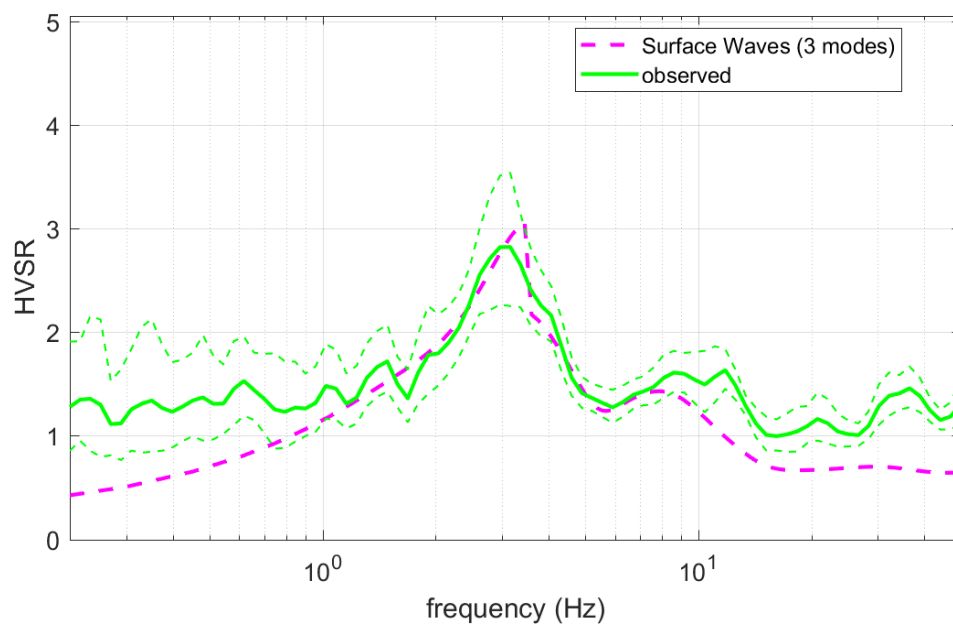
L'analisi congiunta degli stendimenti sismici MASW e della misura passiva HVSR ha permesso la costruzione di un modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Dall'inversione delle curve di dispersione ricavate dagli stendimenti attivi MASW e dalla modellazione della curva sintetica della misura sismica passiva HVSR si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Curva di dispersione e inversione

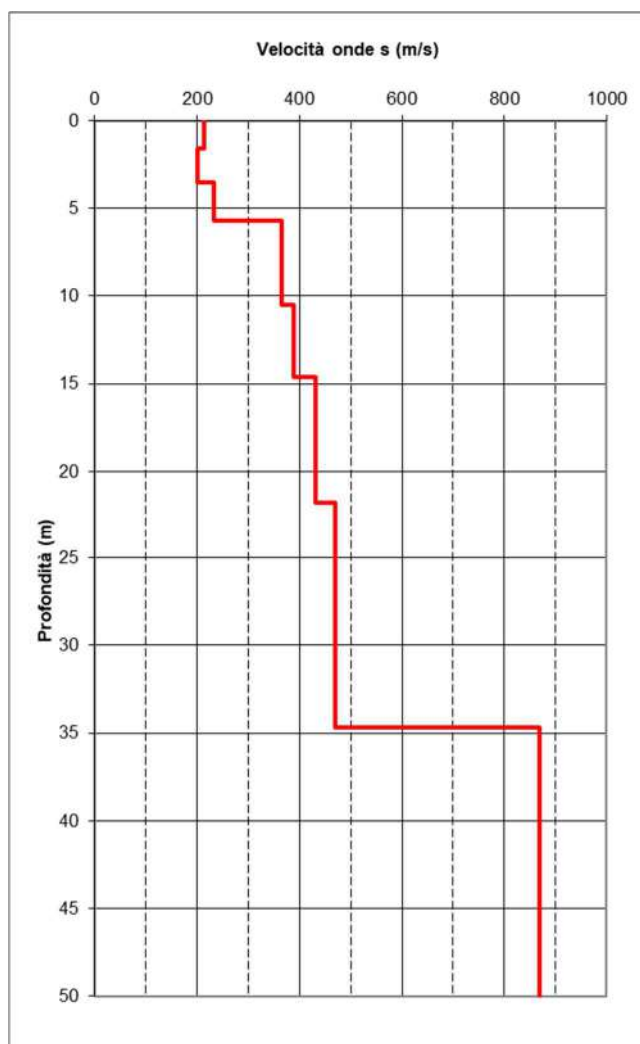


Curva sintetica misura HVSR



Modello sismico

Strato	Profondità [m]		Spessore [m]	Vs [m/s]
	da	a		
1	0,0	1,6	1,6	213
2	1,6	3,5	1,9	201
3	3,5	5,7	2,2	232
4	5,7	10,5	4,8	366
5	10,5	14,6	4,1	389
6	14,6	21,8	7,2	431
7	21,8	34,7	12,9	470
8	34,7	∞	∞	870

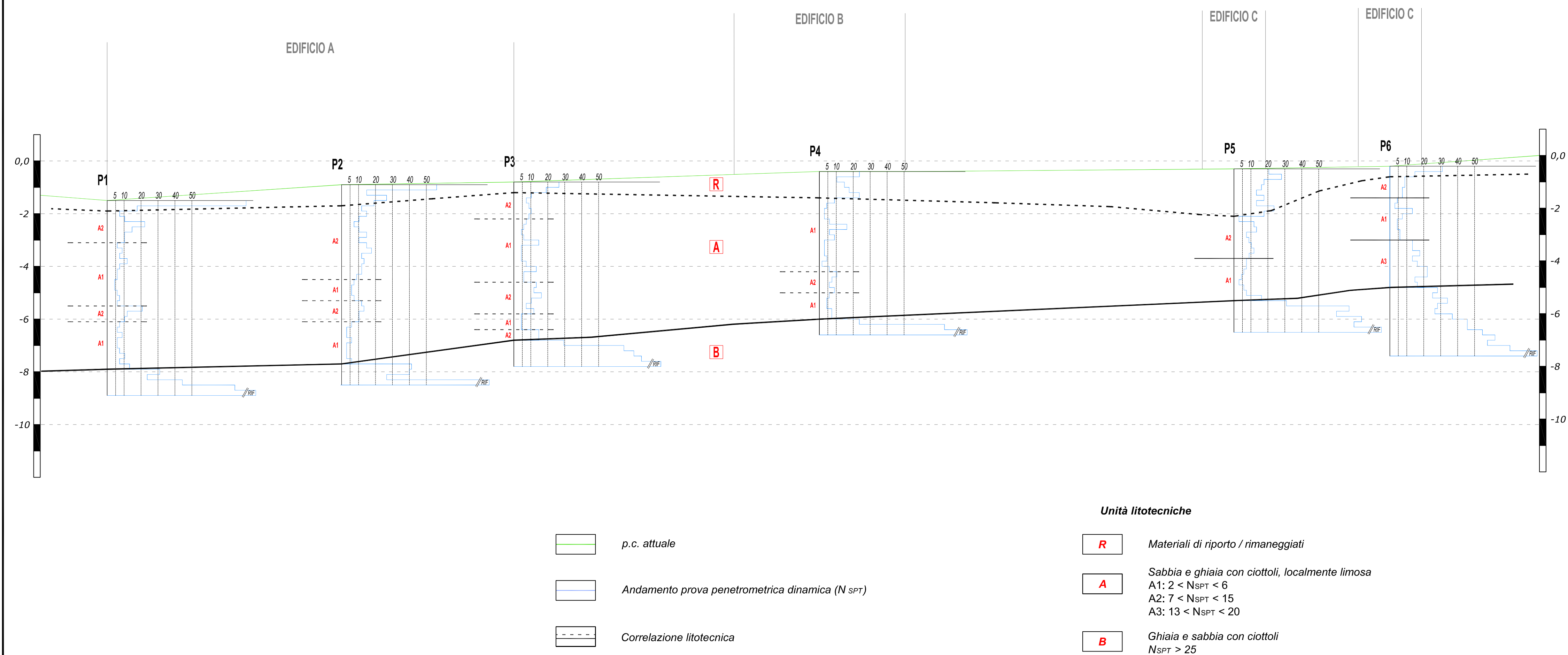




Vista stendimento MASW.



Vista stazione misura sismica passiva HVSR.



COMUNE DI INDUNO OLONA
Provincia di Varese

VICOM s.r.l.
Via Domodossola, 17 - MILANO

Piano Integrato di Intervento Comparto Solai e Travi

RELAZIONE GEOLOGICA

All. n. 2

Sezione geognostica interpretativa

Scala 1:500 / 1:100

Commessa: L23014

<i>Data: Marzo 2023</i>

**Studio di Geologia Applicata**

Dott. Geol. Paolo Granata

Via Varese n. 23 - 21050 Cantello (VA)

Tel. 0332/242283 - Fax 0332/241231
e-mail : info@studiocongeo.it