



COMUNE: CALVENZANO

LOCALITA': VIA LOMBARDIA 14

PROVINCIA: BERGAMO

COMMITTENTE: OMT SPA – OFFICINE RONZONI SRL

OGGETTO:

***RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA (R1) ai sensi della
DGR 2616/2011 – (R3) ai sensi dell'NTC 2018 PER
AMPLIAMENTO STABILIMENTO***

DATA: NOVEMBRE 2022



Prospezione geofisica MASW



1.0 RELAZIONE GEOLOGICA

1.1 PREMESSA

L'indagine geognostica è stata eseguita, dalla GEODRILL srl: Società Autorizzata dal Ministero della Infrastrutture con Decreto n° 156 del 19-04-2011 relativo ai laboratori per la esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prelievo di campioni e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Sui terreni prossimi all'area oggetto di intervento è stata eseguita una prospezione geofisica con metodo MASW multicanale nell'aprile 2021 per determinare velocità delle onde V_{seq} , parametri sismici e categoria del sottosuolo, e specificatamente nell'area oggetto di intervento n° 10 prove penetrometriche dinamiche continue con penetrometro superpesante SCPT, la cui ubicazione è indicata in Tavola n°2.

1.2 METODOLOGIA DELL'INDAGINE

1.2.1 Modalità delle prove penetrometriche dinamiche continue tipo SCPT

La prova consiste nell'infissione a battitura di aste di $\varnothing$ 34 mm.

L'infissione avviene mediante battitura con un maglio di 73,5 kg di peso che cade automaticamente da un'altezza di 75 cm.

Il numero N di colpi che rappresenta la resistenza alla penetrazione a qualsiasi profondità misurata per ogni affondamento della punta di 30 cm viene riportato in un diagramma continuo di penetrazione.

In ascissa è indicato il numero di colpi necessario per un avanzamento dell'utensile di 30 cm, in ordinata la profondità.

Si riportano i diagrammi penetrometrici in allegato n° 1.

1.2.2 Modalità della prospezione geosismica con metodo M.A.S.W.

1.2.2.1 Analisi multicanale delle onde superficiali

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa

nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

Per ottenere un profilo V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarli minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

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.

Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale V_s dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra

queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) e fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza indipendentemente dalla distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y) il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna

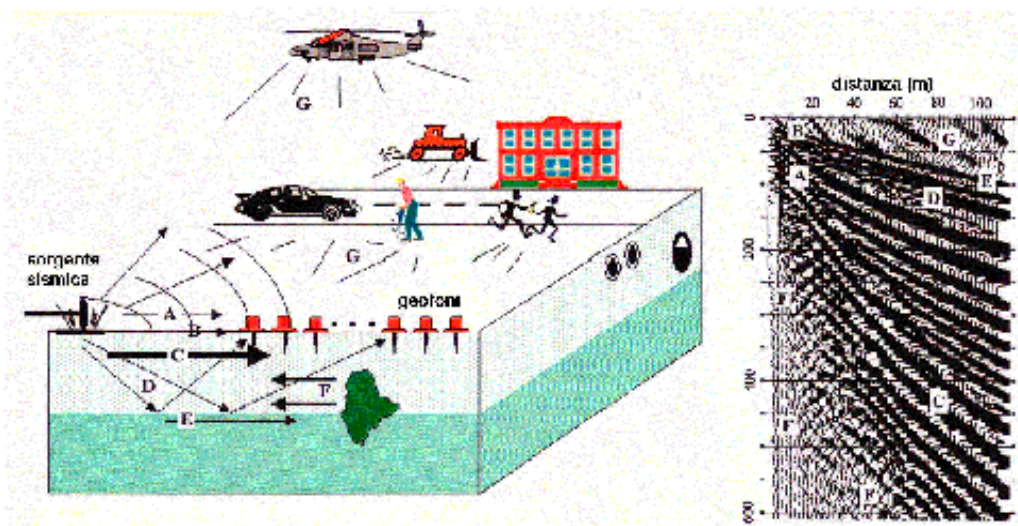
componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo Vs di inversione.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione. Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione. MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione, meglio a ventiquattro canali, collegati a geofoni singoli a bassa frequenza (<10Hz).

Per quanto riguarda le proprietà di dispersione delle onde di superficie: le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori) sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (Vs) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La strumentazione utilizzata per la acquisizione dei dati è costituita da:

- Un sismografo Sara Electronic Instruments a 24 canali;
- 24 geofoni a 4.5 Hz;
- Una mazza da 6 Kg con relativa piastra di battuta



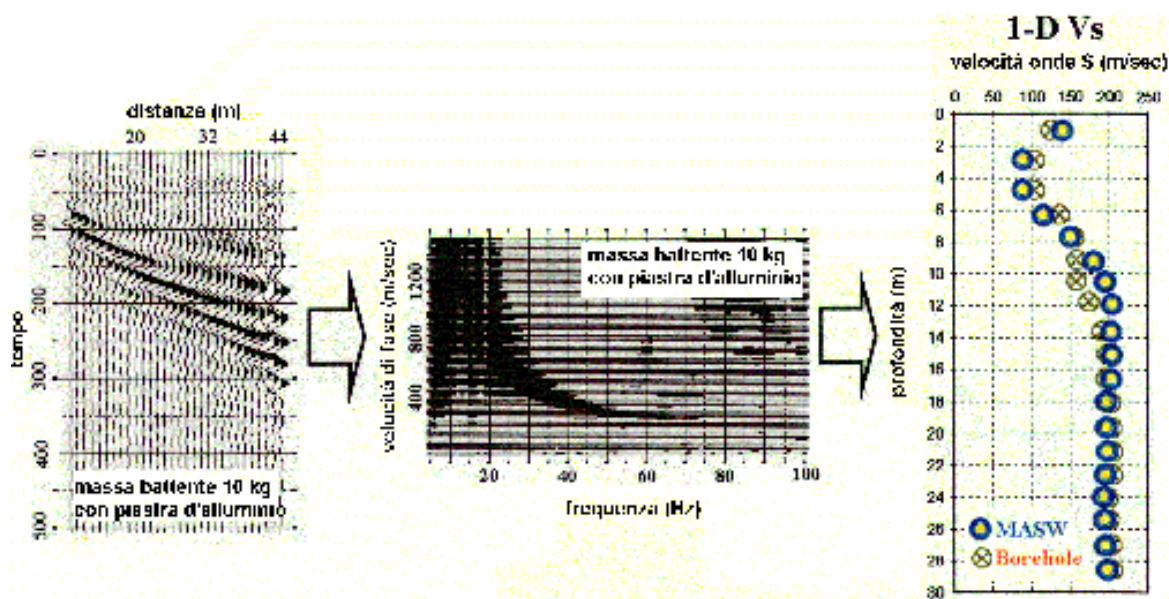
- | | |
|-----------------------|----------------------|
| A: onde in aria | E: onde rifratte |
| B: onde dirette | F: onde riverberate |
| C: onde di superficie | G: rumore ambientale |
| D: onde riflesse | |

VANTAGGI DELLA REGISTRAZIONE MULTICANALE

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

1. acquisizione dei dati di campo;
2. estrazione della curva di dispersione;
3. inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità



1.2.2.2 Risultati

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), 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, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella seguente tabella.

Categoria di sottosuolo	Descrizione
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 fra 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 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 180 e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Condizioni topografiche

per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

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 $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. Nell'indagine eseguita si sono riscontrati i seguenti valori:

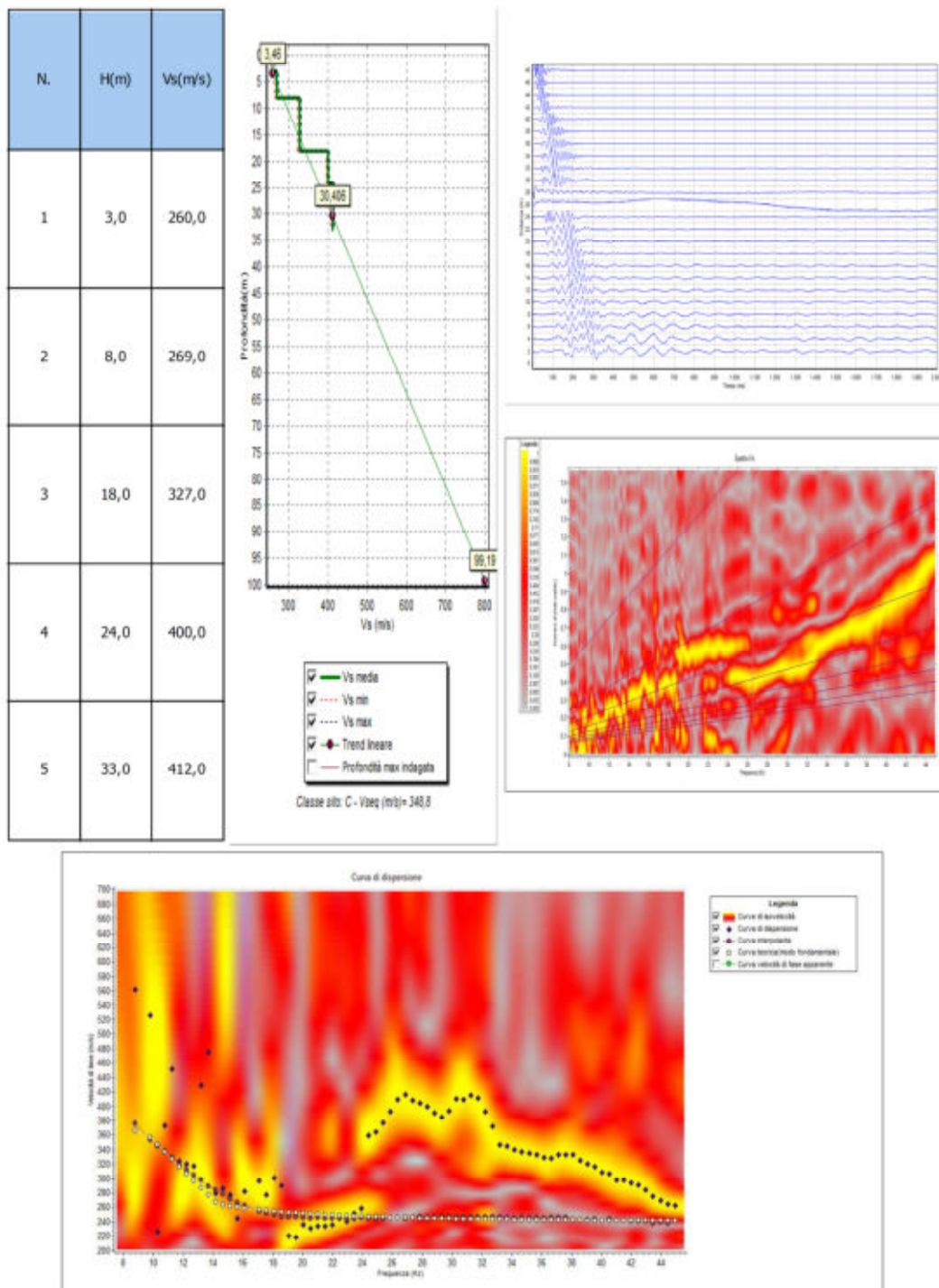
$$V_{Seq=30} = 348,8 \text{ m/s}$$

Risultando quindi:

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI TIPO C

Da confermarsi nella verifica sismica di secondo livello

Riassunto interpretazione MASW Calvenzano (BG)



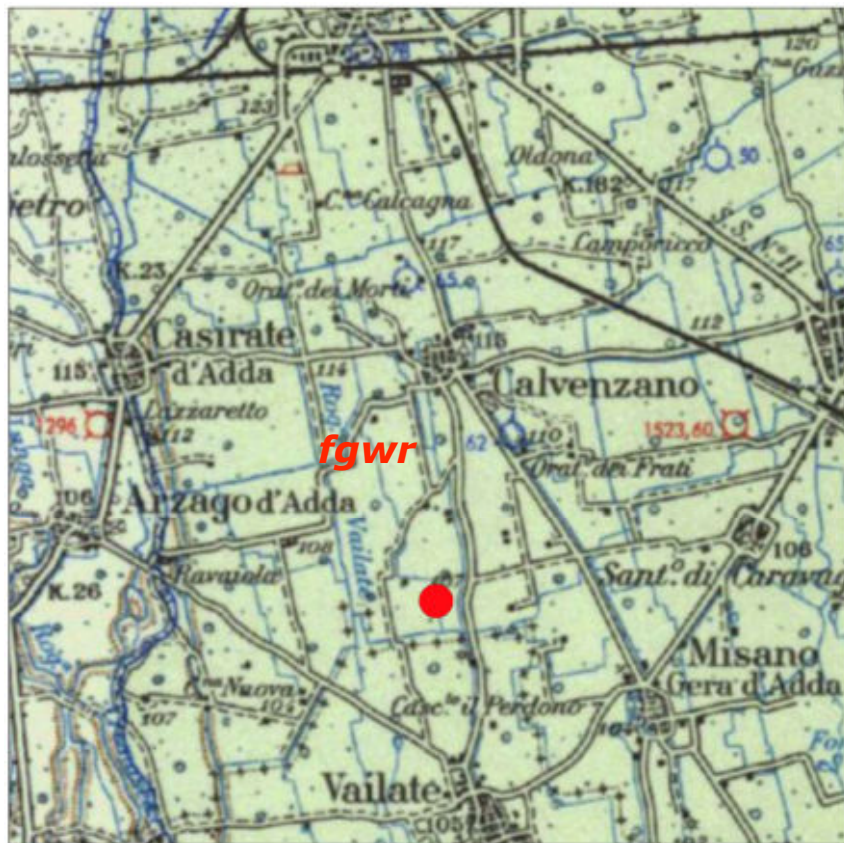
1.3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame si colloca nel comune di Calvenzano (BG), in via Lombardia, ad una quota di circa 109 m s.l.m. (Google Earth). Essa si situa nella porzione meridionale del territorio comunale, a sud del centro abitato. L'area è prossima al confine con la provincia di Cremona ed in particolare il comune di Vailate (CR) . Ci troviamo in un territorio caratterizzato dalla presenza dei terreni appartenenti alle alluvioni fluvioglaciali Wurmiane e Rissiane costituenti il livello fondamentale della pianura (Diluvium Recente). Tale unità è costituita, seppure con variazioni anche notevoli da zona a zona, da ghiaie più o meno sabbiose entro cui sono sporadicamente presenti livelli di materiale argilloso a scarsa persistenza laterale. Al tetto, i terreni del Diluvium Recente sono costantemente caratterizzati dalla presenza di uno strato di alterazione di circa un metro di spessore, avente natura essenzialmente argilloso-sabbiosa.

L'area si trova nella porzione di pianura compresa tra il corso del fiume Adda e il corso del fiume Serio. Entrambi i corsi d'acqua si trovano ad una distanza di circa 8 km dall'area in esame. Le quote sono blandamente degradanti verso sud e non si segnalano morfologie caratterizzanti l'area in esame ed il suo intorno.

Per effettuare un inquadramento dal punto di vista geologico, si è analizzata la cartografia geologica d'Italia in scala 1:100000, del foglio 046-Treviglio, di cui si riporta uno stralcio in figura 1 (Scala 1:50000). Di seguito sono elencate, in ordine cronologico dalla più recente alla più antica, le unità presenti in un intorno significativo dell'area, con una breve descrizione litologica tratta dalla legenda del medesimo foglio. Le unità sedimentarie quaternarie sono inoltre raggruppate secondo i rispettivi periodi di sedimentazione e agenti sedimentari d'origine.

Figura n°1: Carta Geologica D'Italia



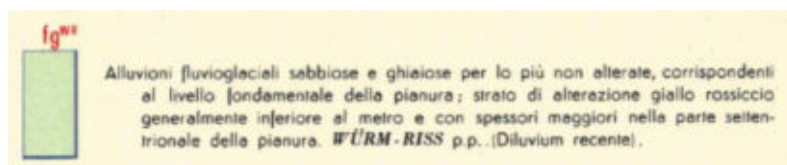
Stralcio (scala 1:50000) da: Carta geologica d'Italia in Scala 1:100.000
Foglio 46 Treviglio



Area in Esame: Calvenzano (BG), via Lombardia

Legenda

- fgwr) Pleistocene



1.4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO e IDROGRAFICO

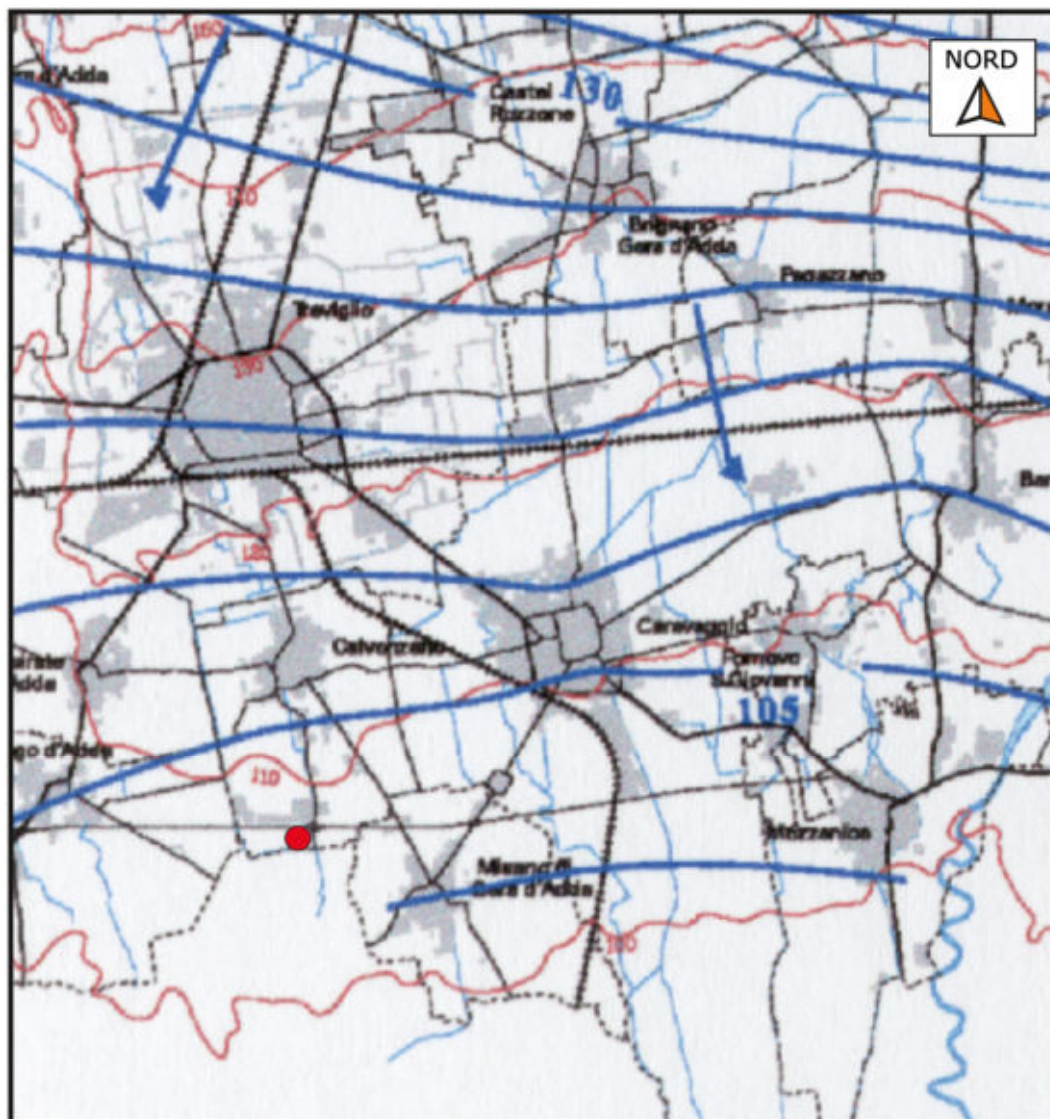
Idrogeologia

Per la definizione del livello piezometrico si è fatto dapprima riferimento alla carta della piezometria contenuta nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Bergamo. La carta estende le isopieze sino all'area di interesse ed osservando i dati presenti si ottiene una piezometria di circa 102 m. Considerata la quota topografica dell'area, pari a circa 109 m, se ne ricava una soggiacenza poco profonda, pari a circa 7 m. Il flusso idrico sotterraneo è, in generale, indirizzato verso sud.

Nell'insieme la zona è caratterizzata da una sequenza di acquiferi sovrapposti, tipica delle aree di pianura, di seguito sommariamente descritta. Procedendo dal p.c. verso il basso possiamo distinguere le seguenti litologie:

- da m 0 a m -35 circa da p.c., ghiaie e ghiaie sabbiose caratterizzate da buoni parametri di permeabilità. Questo strato è generalmente la sede della falda freatica che risente di escursioni in relazione all'andamento delle precipitazioni atmosferiche e secondariamente dei periodi di irrigazione;
- da m -35 a m -40 da p.c. limi sabbiosi a scarso coefficiente di permeabilità. Questo livello rappresenta per lo più il letto della falda freatica superficiale e la separa dalle sottostanti falde (artesiane) a scala locale, anche se non sono da escludersi possibili fenomeni di interferenza tra acquiferi sovrapposti in altre zone;
- da m -40 a m -50 circa da p.c., sabbie ghiaiose che costituiscono la prima falda semiconfinata a livello locale. Tali litologie sono caratterizzate da buoni valori di portata e permeabilità. Non si può tuttavia escludere l'esistenza di interferenze a più grande scala tra acquiferi sovrapposti.

Figura 2: Carta isopiezometrica della falda superficiale



stralcio da: P.T.C.P. Provincia di Bergamo - Scala 1:50000

● Area in esame: Calvenzano(BG) - Via Lombardia

- 200 — Linea isopiezometrica e quota s.l.m.
- 250 — Isoipsa e quota s.l.m.
- ➡ Direzione e verso di deflusso della falda freatica

Per un inquadramento di dettaglio si è consultata la Componente Geologica del Piano di Governo del Territorio comunale. La Componente Geologica del comune di Calvenzano è stata realizzata, dal Dott. Geol. Carlo Pedrali nel 2000 con una revisione nel 2002 ed un ultimo aggiornamento nel 2009.

La carta idrogeologica della componente geologica comunale fornisce le seguenti informazioni:

- la soggiacenza indicata in carta è di circa 5,5 m s.l.m.;
- presenza della fascia di rispetto di un pozzo idropotabile poco a nord dell'area in esame;
- presenza di una roggia che interseca l'area in esame (si vedano i successivi paragrafi per maggiori indicazioni sul reticolo idrico).

Figura n°3: PGT - Carta idrogeologica  area in esame



LEGENDA

-  Rogge o canali
-  Laghi di cava (zona di emergenza della falda)
-  Laghi di cava attualmente asciutti
- POZZI PRIVATI**
 -  Pozzo uso industriale
 -  Pozzo privato
 -  Pozzo irriguo consortile
- POZZI PUBBLICI**
 -  Pozzo superficiale ad uso idropotabile
 -  Pozzo profondo ad uso idropotabile
 -  Pozzo pubblico
-  Zona di rispetto secondo il DPR 152/99 (criterio geometrico)
-  Linea isofreatica (quota in metri s.l.m.)
-  Confine comunale

Idrografia

Per una descrizione dell'idrografia locale si riporta di seguito uno stralcio della relazione della componente geologica comunale:

"Il reticolo idrografico del territorio comunale è costituito interamente da canali d'irrigazione in quanto i fiumi Adda a ovest e Serio ad est risultano situati rispettivamente a circa 6 e 9 chilometri di distanza dal centro abitato. Secondo quanto stabilisce la D.G.R. 7/7868 del 25/01/2002, al reticolo idrografico principale appartengono alcuni di questi canali di irrigazione, quelli principali e più precisamente, procedendo da ovest verso est:

- la roggia Vailata (cod. Sibiter 807);
- la roggia Maggiore;
- la roggia Babbiona (cod. Sibiter 331);
- la roggia di Sopra (cod. Sibiter 656);
- il Fontanile Cavour (cod. Sibiter 657);
- la roggia Castolda (cod. Sibiter 330) posta in prossimità del limite settentrionale del territorio comunale.

Il tracciato delle rogge è stato riportato sulla cartografia (tavola n.4 e nella Carta di Sintesi, tavola 7); il loro sviluppo planimetrico risulta importante anche in quanto tali rogge sono state spesso oggetto di scarichi industriali.

Alcune di queste rogge. sono alimentate da pozzi irrigui, come nel caso della roggia Maggiore e della roggia Babbiona.

E' facile constatare, esaminando la carta, come i canali di irrigazione siano distribuiti in modo omogeneo su tutto il territorio comunale e risultino costituire anche un efficiente reticolo di drenaggio delle acque superficiali. Purtroppo però i canali vengono spesso presi di mira da chi inquina, o trascurandone l'utilità ne riduce l'efficienza."

Si riporta di seguito la cartografia regionale del reticolo idrografico unificato nella quale si possono osservare i corsi d'acqua presenti nell'intorno dell'area in esame. La roggia indicata nella carta idrogeologica comunale risulta, secondo tale elaborato, non più attiva. La cartografia è stata scaricata dal viewer geografico del geoportale di Regione Lombardia.

Figura 4: Geoportale – Carta del reticolo idrico regionale unificato



1.5 ESAME E DESCRIZIONE DI ALTRA CARTOGRAFIA DELLO STUDIO GEOLOGICO COMUNALE DI INTERESSE

Si esamina di seguito la restante cartografia della Componente Geologica del Piano di Governo del Territorio comunale.

PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

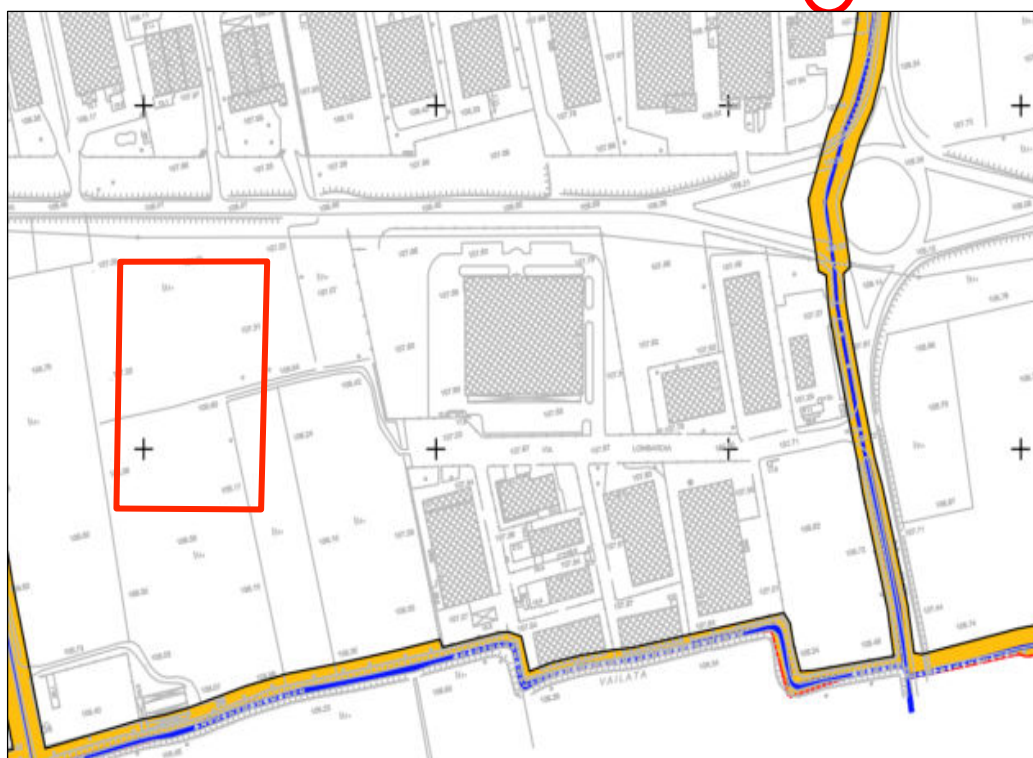
La Carta della Pericolosità Sismica Locale dello studio comunale classifica l'area in esame con le seguenti zone omogenee:

- Z2: ovvero zone con terreni fini saturi ed effetti attesi di cedimenti e/o liquefazioni;
- Z4a: zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi (terreni superficiali a prevalente componente ghiaioso-sabbiosa).

Lo studio non riporta una classificazione sismica di secondo livello per l'area in esame.

Figura 5: PGT - Carta Pericolosità Sismica Locale di 1° livello

area in esame



ZONE OMOGENE	SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (PSL)	CLASSE PERICOLOSITA' SISMICA FASE SUCCESSIVA DI APPROFONDIMENTO RICHIESTA
ZONA 22	Zone con depositi granulari del sarni	H2 2° livello di approfondimento per gli edifici strategici e rilevanti
ZONA 24c	Zone di fondovalle a di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o riavvolgimenti granulari e/o sabbiosi	H2 2° livello di approfondimento per gli edifici strategici e rilevanti

— Limite di natura litologico-granulometrico-geotecnico

Dati stratigrafici utilizzati

-  Pozzi con stratigrafia
-  Punti di controllo stratigrafico e geotecnico
-  Punti di controllo stratigrafico (scavi)

VINCOLI

Nell'area in esame non sono segnalate restrizioni.

Figura 6: PGT - Carta dei Vincoli  area in esame

-  Fasce di rispetto di rogge o canali secondo quanto stabilito dallo studio del R.I.M.
-  Zona di tutela assoluta attorno ai pozzi ad uso idropotabile
-  Zona di rispetto attorno ai pozzi ad uso idropotabile
Pozzo di via Donizetti (criterio temporale dei 60 gg)
-  Zona di rispetto attorno ai pozzi ad uso idropotabile (criterio idrogeologico)
Pozzo via Milano (criterio idrogeologico, zona di 10 metri per acquifero protetto)

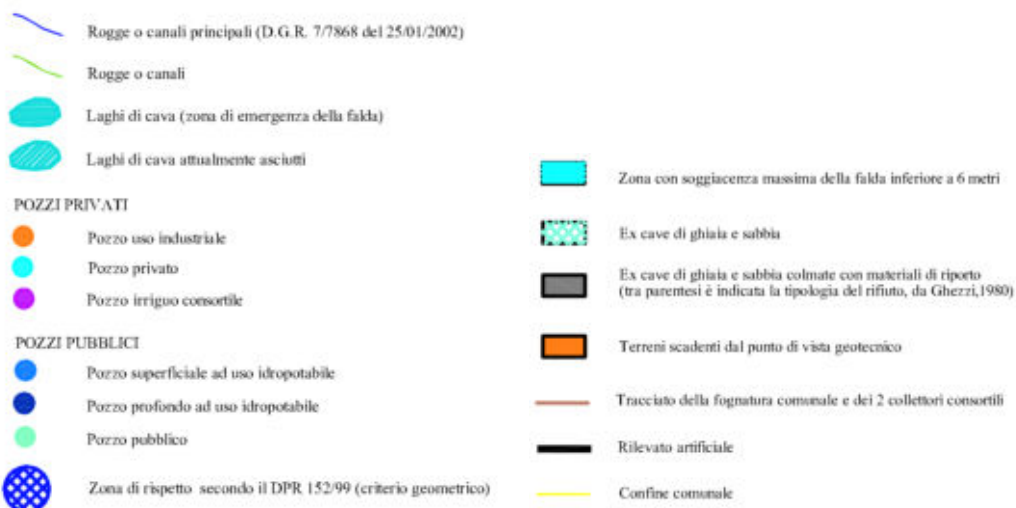
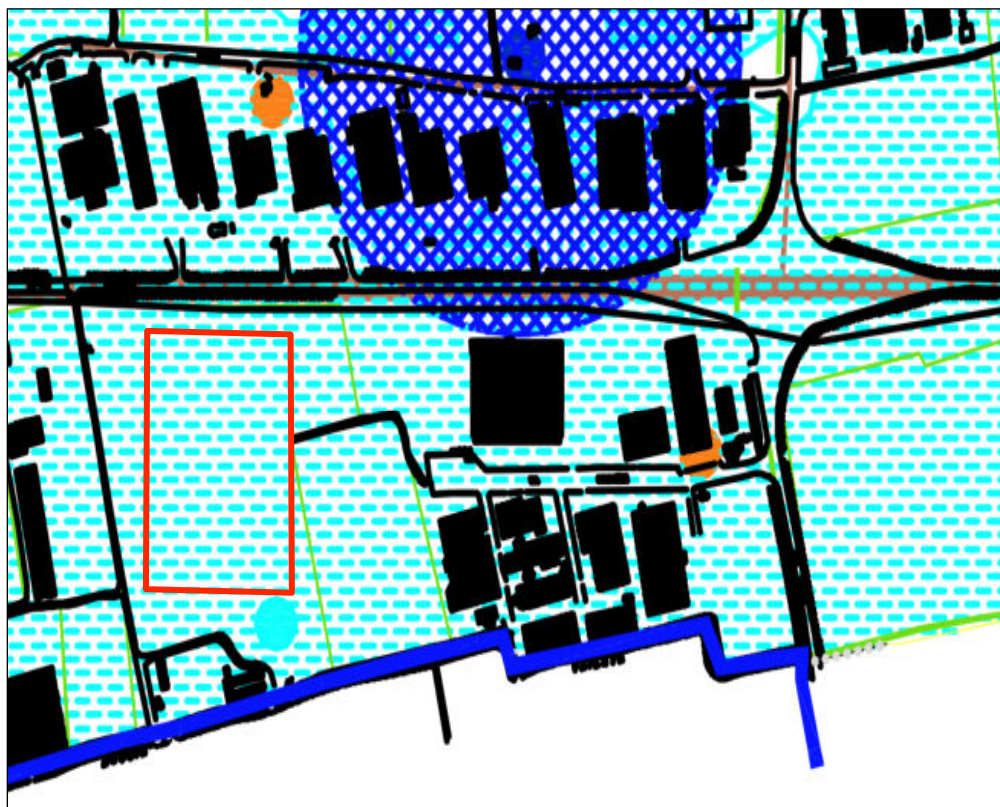
SINTESI

La carta di sintesi dello studio comunale segnala le seguenti criticità:

- Vulnerabilità idrogeologica del primo acquifero per presenza di soggiacenza inferiore ai 6 m.

Figura n° 7 : PGT - Carta di Sintesi

area in esame



FATTIBILITÀ GEOLOGICA

La Carta di Fattibilità assegna all'area oggetto di studio le seguenti classi di fattibilità:

- fattibilità 3, ovvero con consistenti limitazioni, sottoclasse c per presenza di criticità idrogeologiche;
- fattibilità 2, ovvero con modeste limitazioni, sottoclasse a per presenza di criticità geotecniche.

Si riporta di seguito uno stralcio delle NTA comunali contenente le restrizioni per le sopracitate classificazioni:

"-Sottoclasse 3c: aree con problematiche di tipo idrogeologico.

Rientrano in questa sottoclasse le aree a vulnerabilità elevata (PTCP tavola d1-3 Carta degli elementi di criticità in ambito di pianura), pianeggianti o poco acclivi con soggiacenza della falda freatica inferiore ai 6 metri. In queste aree, vista la limitata soggiacenza della falda e la frequente assenza di una spessa copertura pedogenetica, gli interventi antropici quali ad esempio: insediamenti agricoli; insediamenti industriali giudicati pericolosi, la trivellazione di nuovi pozzi, la realizzazione di serbatoi interrati, etc..., dovranno tenere in considerazione tali aspetti per non alterare le condizioni chimico-fisiche delle acque presenti nel sottosuolo. I pozzi perdenti esistenti nelle aree colettate al sistema fognario dovranno essere chiusi o servire esclusivamente alla dispersione di acque meteoriche.

Tale aspetto è evidenziato anche nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale che classifica tali aree come: "Ambiti di pianura nei quali gli interventi di trasformazione territoriale devono essere assoggettati a puntuale verifica di compatibilità geologica ed idraulica (Art. 44)" (vedi PTCP Tavola e1_1.n) .

In questa zona, vista la presenza della zona industriale del comune, si raccomandano le seguenti accortezze:

- la ridotta soggiacenza della superficie della falda unita ad un'elevata permeabilità dei terreni che si traducono in un'elevata vulnerabilità dell'acquifero superficiale, richiedono l'adozione di particolari attenzioni, come nel caso di serbatoi e di tubazioni sia superficiali che interrate per il trasporto/stoccaggio di sostanze inquinanti, con l'adozione di controlli periodici della loro perfetta tenuta;
- il censimento ed il controllo costante degli scarichi esistenti sia che si tratti di scarichi superficiali che nei primi strati del suolo/sottosuolo;
- la verifica del completo collettamento degli scarichi esistenti (non di natura meteorica) in fognatura.

Inoltre in questa sottoclasse ricadono anche le antiche zone di cava che sono state successivamente adibite a discariche e riempite di materiali non inerti. Per alcune di queste sono conosciute le tipologie dei materiali di riempimento secondo quanto riportato sulla "tavola n.6" dell'"Indagine idrogeologica del territorio di Treviglio e di Caravaggio (Comprensorio n.12)" condotta dallo Studio Idrogeotecnico (Ghezzi. A. Giugno 1980).

Pertanto nel caso si preveda di modificare la destinazione d'uso di queste aree, si dovrà accertare preventivamente e in maniera accurata la natura dei materiali di riempimento e nel caso sia necessario, effettuare la bonifica dell'area.

Non è stato possibile accertare e delimitare con sicurezza l'area in corrispondenza della quale sono stati accumulati gli scarti di prefabbricati in calcestruzzo derivanti dall'attività della fabbrica "AV strutture" (segnalazione dell'ufficio tecnico comunale), anche tale area ricadrà in classe 3c.

(...)

-Sottoclasse 2a: aree con problematiche di tipo geologico-geotecnico.

In questa sottoclasse ricade tutta l'area pianeggiante o subpianeggiante, corrispondente al L.F.d.P. e costituita da depositi fluvioglaciali recenti dove la superficie freatica è posta ad una profondità inferiore ai 6 metri. Tale valore di soggiacenza tiene in considerazione del fatto che la campagna di misura dei livelli della falda freatica è stata condotta in un periodo di magra, con livelli sensibilmente inferiori (2-3 metri) rispetto al livello freatico medio.

In questa zona si possono generare situazioni meno favorevoli per quanto riguarda l'aspetto geotecnico a causa della ridotta profondità della superficie della falda; i terreni presenti possiedono tuttavia discrete caratteristiche geologico - geotecniche. In tali zone si dovrà tenere in considerazione i seguenti elementi:

- *la riduzione della capacità portante dei terreni, per la presenza della falda;*
- *la necessità di dover realizzare opere di impermeabilizzazione nel caso siano previsti dei piani interrati;*
- *vista l'estrema vulnerabilità dell'acquifero superficiale e la ridotta soggiacenza della superficie della falda, l'adozione di particolari attenzioni nel caso si debbano realizzare serbatoi e tubazioni interrate per lo stoccaggio di sostanze inquinanti;*
- *appare limitata la possibilità di realizzare pozzi disperdenti per acque meteoriche;*
- *evitare la realizzazione di pozzi perdenti di acque nere. "*

Figura n°8: PGT - Carta della Fattibilità Geologica  area in



 CLASSE DI FATTIBILITA' 1 (fattibilità senza particolari limitazioni)

 CLASSE DI FATTIBILITA' 2 (fattibilità con modeste limitazioni)

 sottoclasse 2a (problematiche di tipo geotecnico)

 CLASSE DI FATTIBILITA' 3 (fattibilità con consistenti limitazioni)

 sottoclasse 3a (problematiche di tipo geologico-geotecnico)

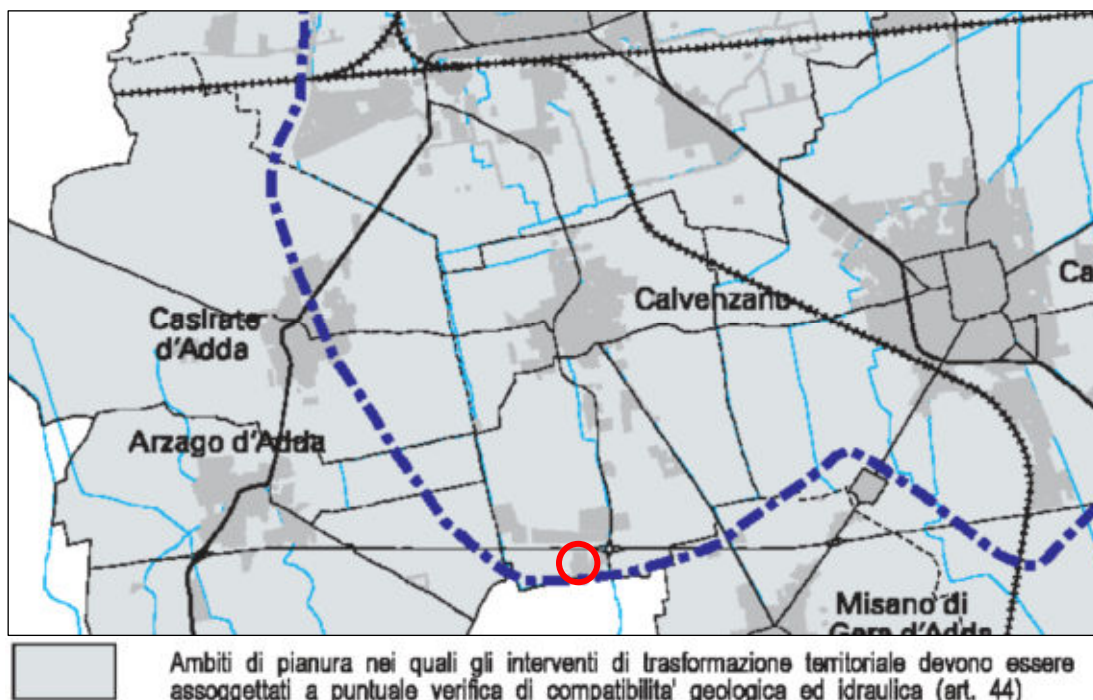
 sottoclasse 3c (problematiche di tipo idrogeologico)

1.6 ESAME E DESCRIZIONE DELLA CARTOGRAFIA DEL PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE

Si è esaminata la cartografia del PTCP provinciale inerente agli aspetti geologico ambientali. L'area viene definita, dalla cartografia "E1 - Suolo e Acque" come "Ambito di pianura nel quale gli interventi di trasformazione territoriale devono essere assoggettati a puntuale verifica di compatibilità geologica ed idraulica (art.44)". Si riporta di seguito quanto indicato dalle NTA provinciali:

"1. Ambiti di pianura nei quali gli interventi di trasformazione territoriale devono essere assoggettati a puntuale verifica di compatibilità geologica ed idraulica. Si tratta di ambiti sui quali si rileva la presenza di valori bassi di profondità della falda rispetto al piano campagna e la mancanza, o il limitato spessore, dello strato di impermeabilità superficiale. In tali aree ogni intervento che possa potenzialmente alterare le condizioni chimico-fisiche delle acque presenti nel sottosuolo (esemplificativamente: insediamenti agricoli; insediamenti industriali giudicati pericolosi, trivellazione di nuovi pozzi) dovrà essere sottoposto ad un approfondito studio di compatibilità idrogeologica ed idraulica che ne attesti l'idoneità."

Figura 9: PTCP - Tav.E1_Suolo e Acque_Elementi di pericolosità e di criticità:



1.7 ESAME DELLA CARTOGRAFIA DEL PGRA

Le mappe del Piano di Gestione Rischio Alluvioni del distretto idrografico del Fiume Po rispondono alla Direttiva Alluvioni 2007/60 CE del 2013. Le mappe sono state revisionate prima nel 2015 poi nel 2019 e 2020.

Esse cartografano la pericolosità ed il rischio alluvioni.

Viene dunque mappata la pericolosità delle aree potenzialmente interessate da eventi alluvionali, secondo gli scenari di diversa probabilità da P1 a P3, caratterizzandone l'intensità secondo: estensione dell'inondazione, altezze idriche, velocità e portata. Vengono identificati ambiti territoriali omogenei, in base alle caratteristiche del reticolo idrografico ed alla tipologia e gravità dei processi di alluvioni prevalenti:

- Reticolo idrografico principale (RP)
- Reticolo idrografico secondario collinare e montano (RSCM)
- Reticolo idrografico secondario di pianura artificiale (RSP)
- Aree costiere lacuali (ACL)

Risulta anche cartografato il rischio di alluvioni. Il rischio deriva per definizione dal prodotto della probabilità per il danno, dove questo ultimo rappresenta le potenziali conseguenze negative derivanti dell'evento alluvionale, e si definisce a sua volta come il prodotto del valore dell'elemento esposto per la sua vulnerabilità. In termini di elementi interessati si considerano: abitanti colpiti, infrastrutture/strutture strategiche, beni ambientali, storici e culturali, distribuzione e natura delle attività economiche, impianti a rischio di incidente rilevante. Vengono inoltre distinte le aree soggette ad alluvioni con elevato volume di trasporto solido e/o colate detritiche. Vengono definite quattro classi di rischio crescente, da R1 a R4.

Nelle mappe aggiornate in base alla revisione del 2015 (e successive) sono mappate anche le Aree a Rischio Significativo, dove le condizioni di rischio particolarmente significative rendono necessaria una specifica gestione del rischio. L'elevata pericolosità che caratterizza tali aree deriva dall'entità delle portate di piena e dell'estensione delle aree inondabili. Le ARS della Regione

Lombardia sono 315, di cui 8 ARS Distrettuali, 27 regionali e le restanti a carattere locale. Le ARS Distrettuali corrispondono a “nodi critici di rilevanza strategica le cui condizioni di rischio elevato o molto elevato coinvolgono insediamenti abitativi e produttivi di grande importanza, numerose infrastrutture di servizio e le principali vie di comunicazione...richiedono complessi interventi di mitigazione del rischio...alla scala di intero bacino idrografico o di ampi settori del reticolo idrografico principale, è pertanto necessario il coordinamento delle politiche di più regioni”. Le ARS distrettuali sono definite in base al perimetro delle aree allagabili chiuse a monte ed a valle lungo i confini comunali dei comuni maggiormente esposti al rischio. Misure localizzate del PGRA possono interessare anche aree esterne, generalmente a monte. In adiacenza od in contiguità alle ARS Distrettuali possono esservi ARS regionali o locali. In tal caso le misure sono state coordinate tra queste realtà.

In base alla cartografia aggiornata con la revisione del 2020 l'area in esame non risulta caratterizzata da nessuno scenario di pericolosità e/o di rischio.

1.8 ANALISI SISMICA DI II LIVELLO

Sulla base dei risultati ottenuti dalla prospezione sismica M.A.S.W. è stato possibile calcolare il valore del Fattore di Amplificazione (**Fa**) atteso per l'area in esame.

Il valore ottenuto è stato utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente. La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di Fa ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e valido per ciascuna zona sismica (zona 2, 3 e 4) e per le diverse categorie di sottosuolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5s (relativo a strutture basse, regolari e piuttosto rigide) e 0.5-1.5s (per strutture alte e più flessibili). Il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia è riportato nella banca dati on line della Regione Lombardia e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione del sito.

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di Fa con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di ± 0.1 che tiene conto della variabilità del valore di Fa ottenuto dalla procedura semplificata.

Per il comune di Calvenzano (zona sismica 3) e con un suolo in Classe C (determinato con la prospezione MASW) i valori di Fa soglia risultano:

$$\mathbf{Fa (0.1-0.5 s) = 1.9}$$

$$\mathbf{Fa (0.5-1.5 s) = 2.4}$$

Per procedere con il calcolo del valore di Fa per il sito in esame si è scelto di applicare, tra quelle disponibili, la scheda litologica sabbiosa in quanto unica tra quelle disponibili per la quale l'andamento delle Vs risulta compatibile.

All'interno della suddetta scheda litologica si è scelta, in funzione della profondità e della velocità Vs dello strato superficiale, la curva n° 2 per la valutazione del valore di Fa nell'intervallo 0.1-0.5 s e nell'intervallo 0.5-1.5 s, in base al valore del periodo proprio del sito T.

Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è stato calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs uguale o superiore a 800 m/s utilizzando la seguente

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

Nel caso in esame con l'indagine Masw non è stata raggiunta la velocità di 800 m/s ed è stato quindi estrapolato un opportuno andamento delle Vs con la profondità fino al raggiungimento della stessa che è stata stimata a circa 99.2 m da p.c.

E' stato prolungato l'ultimo strato rilevato dall'indagine fino a quota 40 m da p.c. e sono stati aggiunti tre ulteriori sismostrati corrispondenti ai punti della retta che mostra il trend lineare di estrapolazione completando nel modo seguente la

tabella profondità-Vs (in carattere rosso i valori corrispondenti al tratto estrapolato):

Profondità in metri (Limite inferiore strato)	Vs (m/s)
3.0	260
8.0	269
18.0	327
24.0	400
40.0	412
60.0	466
80.0	578
99.2	692
>99.2	800 m/s

I valori di T e di Fa così determinati vengono approssimati alla prima cifra decimale e per il sito in esame risultano:

T = 0.77 s

Fa (0.1-0.5s) = 1.1

Fa (0.5-1.5s) = 1.9

In entrambi i casi il valore riscontrato risulta inferiore al valore soglia per il comune di Calvenzano: la normativa è quindi da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche dei possibili effetti di amplificazione litologica del sito. Viene pertanto confermata la **CATEGORIA DI SOTTOSUOLO "C"**.

1.9 SISMICITA' DELL'AREA

1.9.1 Normativa

Secondo la Normativa Italiana Sismica (decreti emessi sino al 1988 e DM 16/01/96) l'area in oggetto non era compresa in area sismica.

Nella recente Normativa Sismica (Ordinanza del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003) tutto il territorio Nazionale è stato suddiviso in quattro zone. A seguito del D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129, aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d) , il comune di Calvenzano è inserito in Zona Sismica 3 con accelerazione massima di 0,103856 m/s².

Nel settembre 2005 è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale la nuova Normativa Italiana sulle Costruzioni, il cosiddetto Testo Unico (DM 14/09/2005); poi successivamente viene realizzata una nuova versione (DM 14/01/2008) pubblicata in Gazzetta Ufficiale n°29 del 4 febbraio con successiva pubblicazione della Circolare n° 617 del 02/02/2009, Gazzetta ufficiale n°47 del 27 febbraio 2009-Suppl. Ordinario n°27: Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 la determinazione delle azioni sismiche non deve più essere fatta sulla base della zona sismica territorialmente definita ma sito per sito secondo l'allegato B del D.M. Infine con decorrenza dal 22 marzo 2018 sono diventate cogenti le nuove NTC 2018. Già ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 la determinazione delle azioni sismiche non doveva più essere fatta sulla base della zona sismica territorialmente definita ma sito per sito secondo l'allegato B del D.M., confermato dalle NTC 2018. Tutte le verifiche vanno fatte con il metodo degli stati limite in condizioni statiche ed in condizioni dinamiche facendo riferimento ai parametri sismici di calcolo di cui alle tabelle allegate alla NTC.

1.9.2 Spettri di risposta elastici

La valutazione dell'azione sismica della componente sia verticale che orizzontale viene fatta sia agli stati limite ultimi (SLV e SLC con probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R rispettivamente del 5% e del 10%) che agli stati

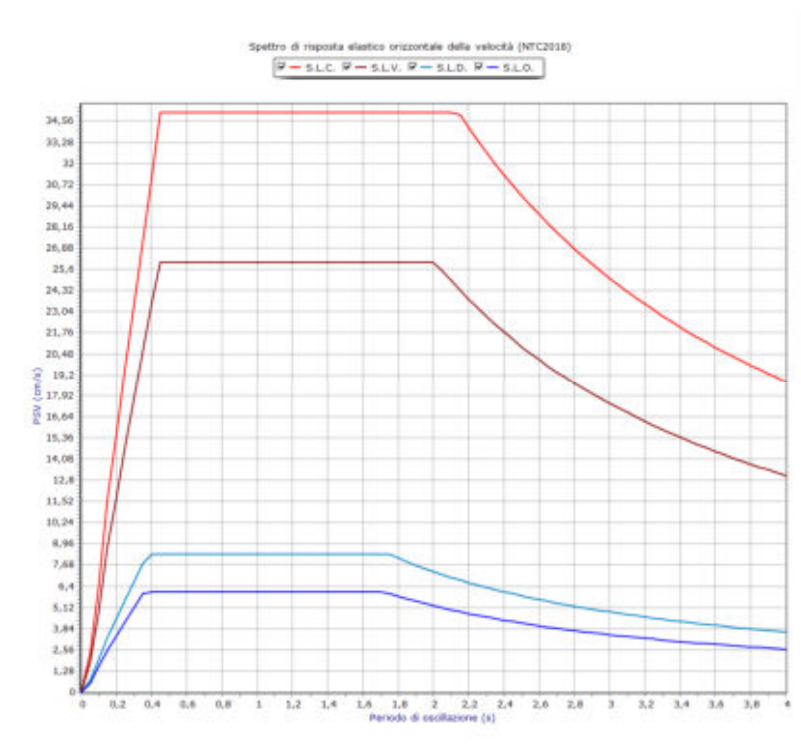
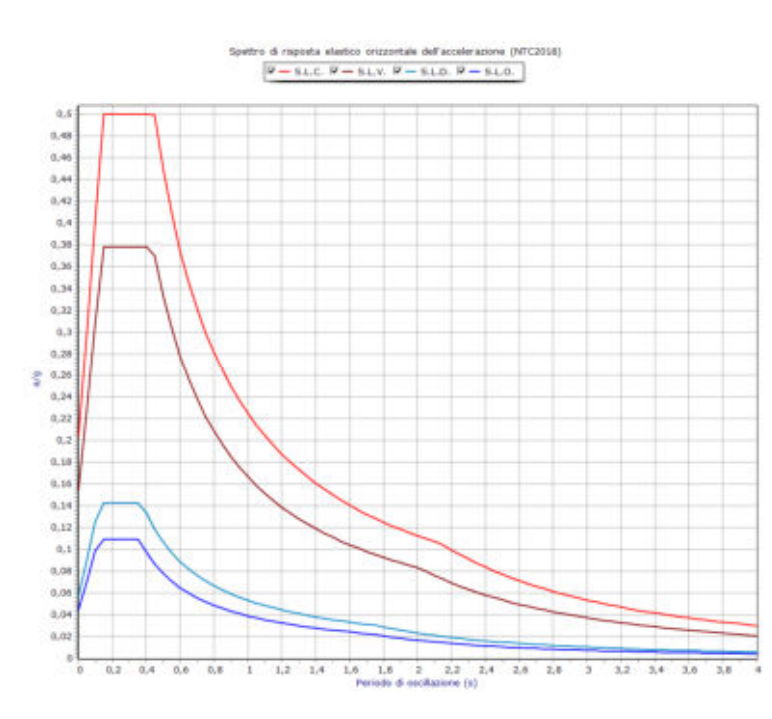
limite di esercizio (SLO e SLD con probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R rispettivamente del 81% e del 63%). Per le verifiche è stato utilizzato il programma di calcolo della PROGRAMGEO SICodes aggiornato alla NTC 2018. Si è ottenuto :

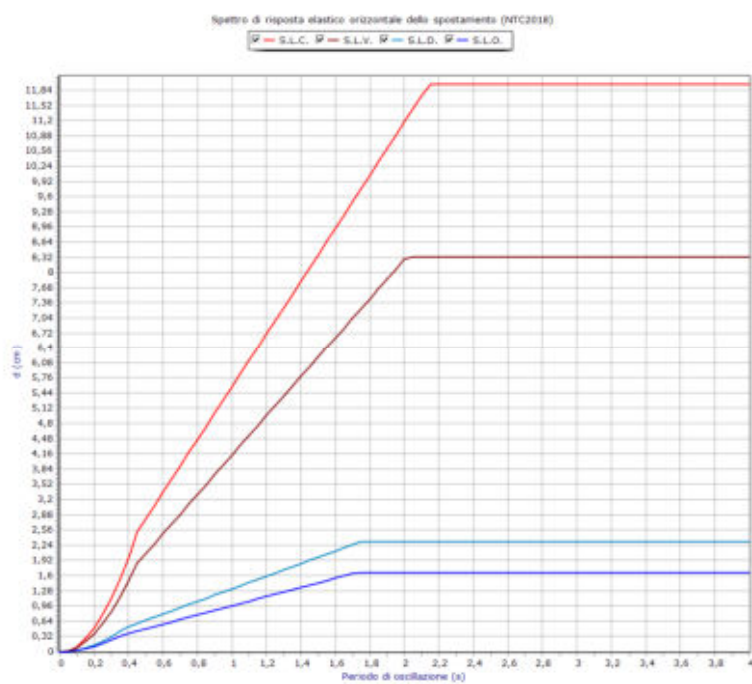
Stato	agh base(g)	F0	Tc*	agv base(g)	Fv	Tr(anni)	Pr(%)
S.L.C.	0,1357	2,46	0,28	0,1357	1,22	975	0,05
S.L.V.	0,1031	2,45	0,27	0,1031	1,06	475	0,1
S.L.D.	0,0380	2,50	0,21	0,0380	0,66	50	0,63
S.L.O.	0,0296	2,46	0,20	0,0296	0,57	30	0,81

Pr(%)	agh max(g)	agv max(g)	khs	kvs	beta
0,05	0,2035	0,1357	0,049	0,024	0,24
0,1	0,1547	0,1031	0,037	0,019	0,24
0,63	0,0570	0,0380	0,011	0,006	0,20
0,81	0,0444	0,0296	0,009	0,004	0,20

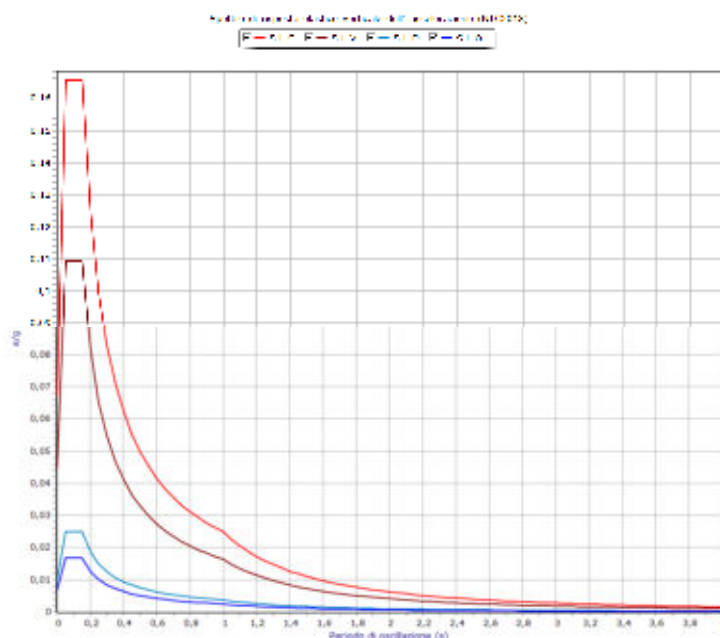
Legenda:	
agh base:	Accelerazione sismica orizzontale di base;
F0:	Max fattore di amplificazione spettrale orizzontale;
Tc*:	Periodo inizio tratto a velocità costante;
agv base:	Accelerazione sismica verticale di base;
Fv:	Max fattore di amplificazione spettrale verticale;
Tr:	Tempo di ritorno;
Pr:	Probabilità di superamento;
agh max:	Accelerazione sismica orizzontale in superficie;
agv max:	Accelerazione sismica verticale in superficie;
khs:	Coefficiente sismico orizzontale del terreno;
kvs:	Coefficiente sismico verticale del terreno;
beta:	Coefficiente di riduzione di agh max.

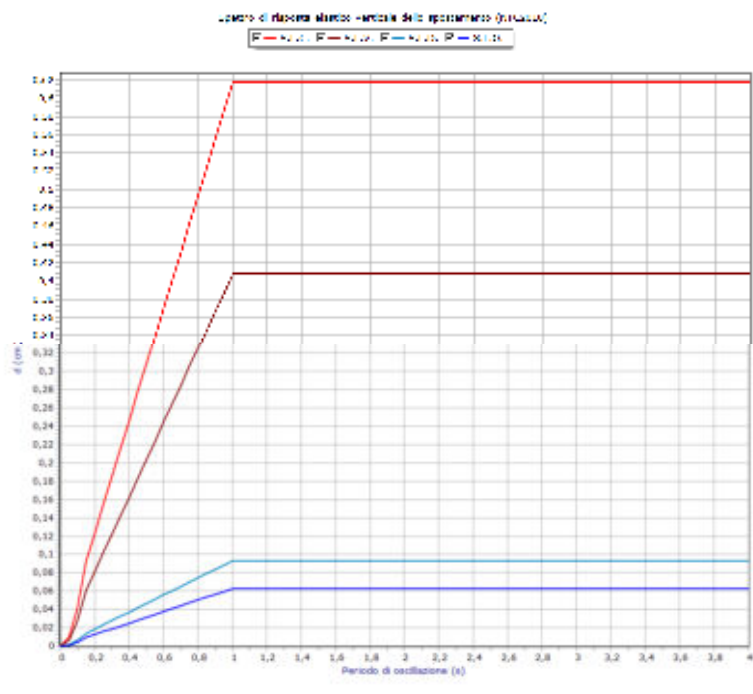
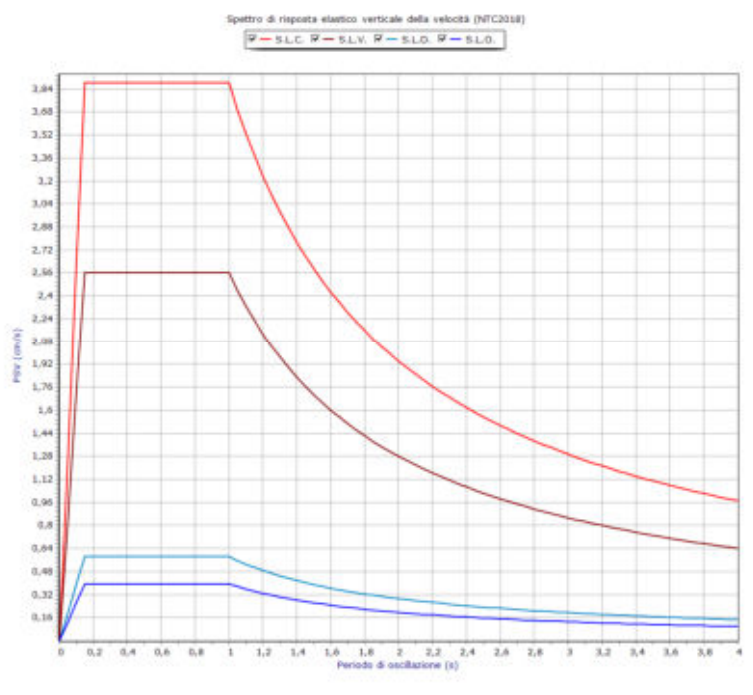
SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI ORIZZONTALI



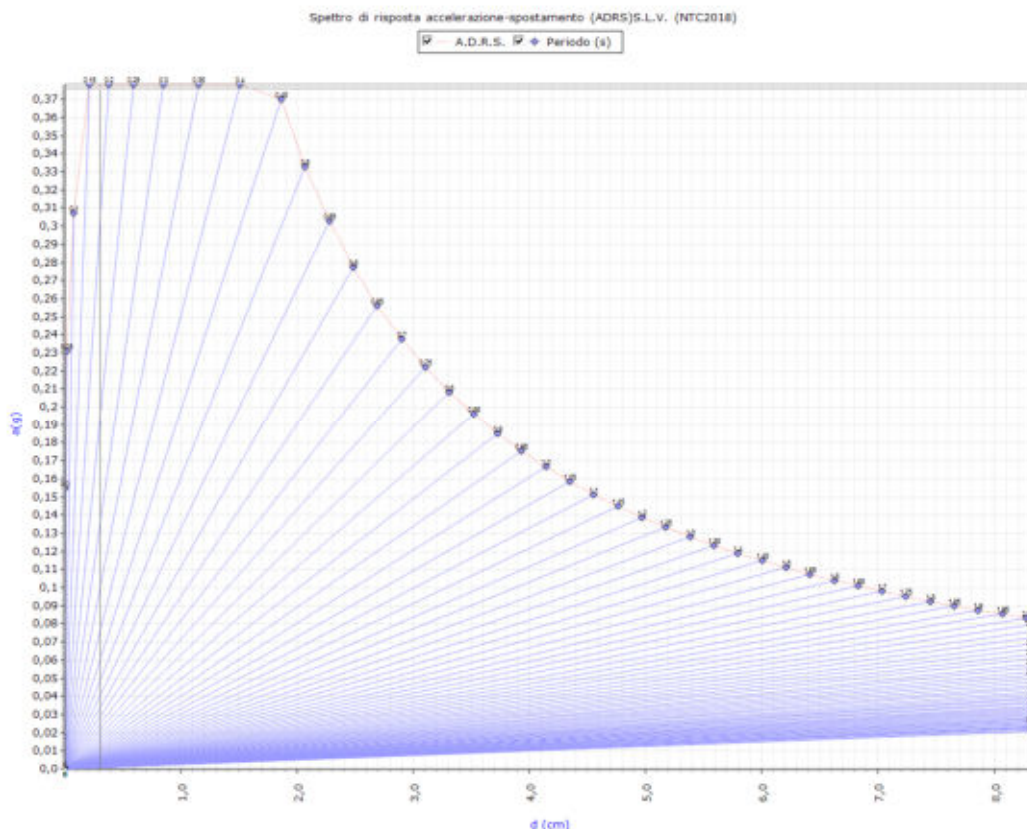


SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI VERTICALI





SPETTRO DI RISPOSTA ACCELERAZIONE SPOSTAMENTO



1.10 MODELLO GEOLOGICO DI SITO

Sulla base dei precedenti riscontri bibliografici, della indagine geognostica e di quanto osservabile direttamente in sito, viene definito il seguente modello geologico di sito.

Come risulta dalle prove penetrometriche dinamiche eseguite risultano terreni con resistenze penetrometriche modeste sino a profondità di 2,1 metri dal piano di campagna, presumibilmente riferibili a terreni di alterazione in parte anche rimaneggiati/ riportati; si osserva poi un incremento nei valori di resistenza attribuibile presumibilmente alla presenza di terreni ghiaioso sabbioso limosi, di natura incoerente, di medio grado di addensamento, che si estendono almeno sino a 4,2 metri di profondità e come risulta ancora dalle resistenze misurate con le prove penetrometriche, poi con presenza di discontinui orizzonti

poco/moderatamente addensati di spessore compreso fra 1,2 e 1,8 metri. Fanno poi seguito terreni da mediamente addensati ad addensati.

La prospezione geofisica MASW rileva terreni con valori più elevati nelle velocità delle onde Vs, che confermerebbero la continuità in profondità di tali terreni.

1.11 VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA'

A livello globale la liquefazione dei terreni costituisce una delle principali cause di danno durante un evento sismico. Secondo la vigente normativa NTC 2018 la verifica alla liquefacibilità può essere omessa solo quando ricorrono i seguenti casi:

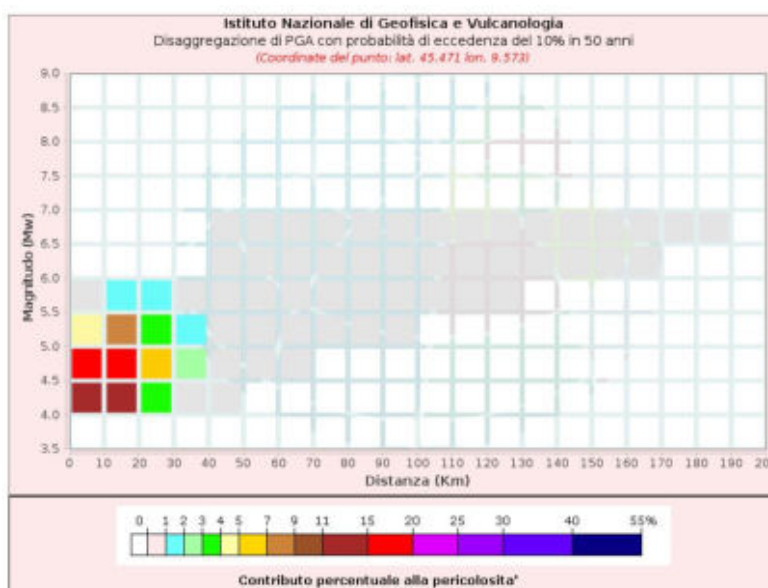
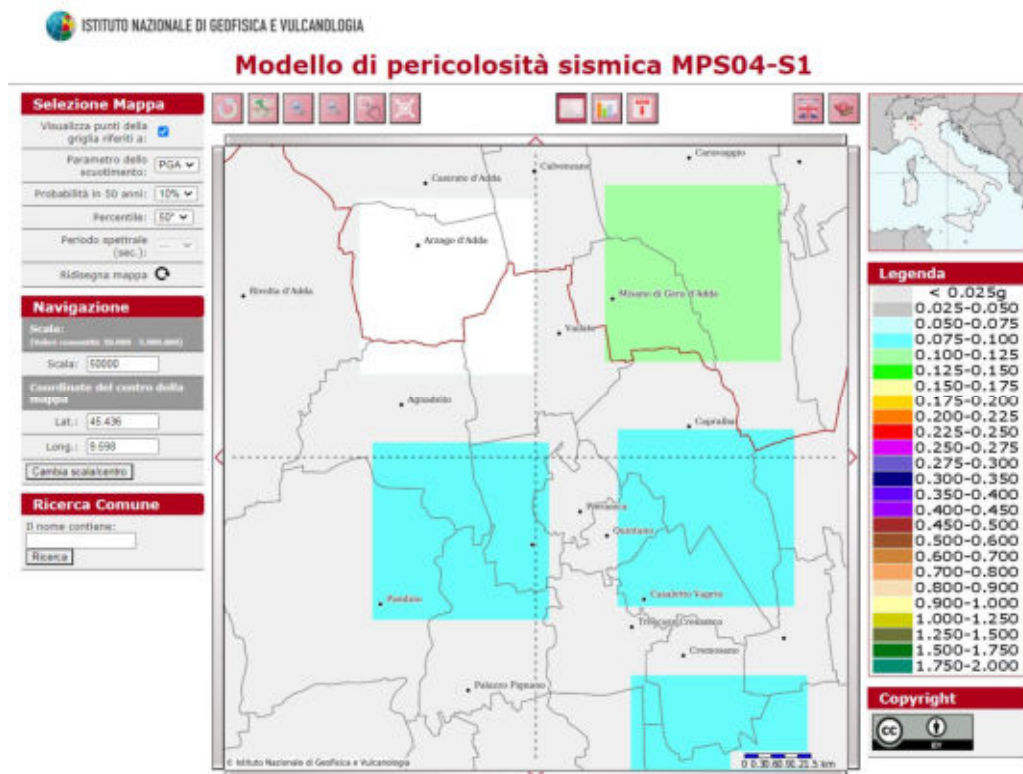
- valore della accelerazione sismica orizzontale massima in superficie $< 0,10$ g;
- profondità media stagionale della falda > 15 metri;
- composizione granulometrica esterna a fusi di riferimento.
- terreni con resistenza penetrometrica normalizzata superiore a $(N_1)_{60} > 30$ alla profondità di riscontro della falda idrica.

Non ricorrendo nel caso specifico nessuno di questi casi si è ritenuto necessario procedere alla valutazione del coefficiente di sicurezza alla liquefacibilità alla profondità a cui sono presenti terreni potenzialmente liquefacibili o comunque mediante l'applicazione di metodi storico empirici ad almeno 3 profondità ritenute significative.

Per la valutazione occorre sapere oltre il valore della accelerazione sismica orizzontale massima in superficie, già calcolato, il valore della magnitudo massima attesa.

Un procedimento scientificamente corretto per valutare tale valore di magnitudo si basa sul concetto di disaggregazione della pericolosità sismica. Con tale procedimento vengono sommati i contributi dovuti alle singole coppie magnitudo distanza degli epicentri ricadenti all'interno di un'area di riferimento allo scopo di individuare, con una procedura di tipo probabilistico (Cornell 1968), l'evento sismico dominante. Il terremoto individuato, detto terremoto di scenario è caratterizzato da una magnitudo, una distanza dal sito indagato ed un tempo di ritorno. Per applicare tale sistema si fa riferimento al sito dell'I.N.G.V. che

consente di calcolare il terremoto di scenario sulla base della Mappa di pericolosità sismica del territorio italiano. Nello specifico caso si è ottenuto quanto risulta dalle seguenti tabelle e schemi.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 45.471 lon. 9.573)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5- 4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0- 5.5	5.5- 6.0	6.0- 6.5	6.5- 7.0	7.0- 7.5	7.5- 8.0	8.0- 8.5	8.5- 9.0
0-10	0.0000	13.7000	15.7000	4.2900	0.8650	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	12.7000	18.5000	7.0700	1.8400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	3.6300	6.9400	3.7800	1.3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.9180	2.5100	1.9100	0.7530	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0708	0.6040	0.7360	0.3560	0.0306	0.0047	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0871	0.2970	0.2410	0.1260	0.0204	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0048	0.1190	0.1690	0.1260	0.0221	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0347	0.1160	0.1030	0.0194	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0057	0.0678	0.0785	0.0159	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0300	0.0604	0.0137	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0403	0.0109	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	0.0246	0.0075	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0129	0.0046	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0058	0.0026	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.77	16.1	0.715

Per quanto riguarda il metodo di calcolo della suscettibilità alla liquefazione si è utilizzato, disponendo dei dati di resistenza SPT, quello di Seed Idriss (1985), sempre utilizzando per lo sviluppo dei calcoli il programma Liquef (ProgramGeo di Carpenedolo-BS).

Viene applicata in questo caso la metodologia semplificata valida in condizione free-field e per aree sub-pianeggianti che seppure con le relative approssimazioni permette di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilitabile nello strato (R) e lo sforzo tagliante indotto dal sisma (T) come dalle seguente correlazione:

$F_s = CRR/CSR$ La grandezza CRR viene correlata ai parametri N_{spt} (penetro metro dinamico), q_c (penetrometro statico) e V_s (velocità delle onde S); in questo caso N_{spt} .

La grandezza CRS è invece funzione dell'accelerazione sismica orizzontale max in superficie. Un deposito viene considerato suscettibile di liquefazione per $F_s < 1$.

La NTC 2018 non indica un valore specifico di F_s da utilizzare come riferimento. Questo deve essere scelto e motivato dal progettista.

L'Eurocodice 8 suggerisce che un terreno debba essere considerato liquefacibile se lo sforzo di taglio indotto dal terremoto supera l'80% della resistenza mobilitata dal terreno.

$CSR \geq 0.80CRR$ Questo comporta un coefficiente di sicurezza limite uguale a:

$$F_s = CRR/CSR = 1.25$$

Il valore di F_s calcolato dovrà essere quindi maggiore o uguale di questo valore limite.

Nel caso specifico per la verifica si è riutilizzato il metodo di Seed et al. (1985), modificato avendo a disposizione dati di resistenza del terreno.

La valutazione del terremoto di progetto, cioè dell'evento sismico di riferimento rispetto al quale effettuare la stima della suscettibilità del terreno alla liquefazione, viene eseguita adottando un valore di magnitudo determinata con il metodo precedentemente descritto.

Nel metodo di Seed e al.(1985) la resistenza alla liquefazione viene calcolata con

la seguente formula:
$$R = \frac{a + cx + ex^2 + gx^3}{1 + bx + dx^2 + fx^3 + hx^4} \quad \text{dove:}$$

$x = N_{60cs}$ numero di colpi SPT riferito ad un'efficienza del 60% e corretto per tenere conto dell'eventuale presenza di una frazione fine;

$a = 0.048$;

$b = -0.1248$;

$c = -0.004721$;

$d = 0.009578$;

$e = 0.0006136$;

$f = -0.0003285$;

$g = -0.00001673$;

$h = 0.000003714$.

N_{60cs} può essere valutato con la relazione:

$N_{60cs} = f_a + f_b (C_E C_N C_b C_r C_s N_{spt})$ in cui:

C_N = fattore correttivo per l'approfondimento della prova = $\sqrt{\frac{1}{\sigma_v}}$ (

con σ_v in kg/cmq); se C_N è maggiore di 1.7 porre $C_N = 1.7$;

C_E = fattore correttivo per l'efficienza dell'infissione = $ER/60$ con ER l'efficienza del sistema d'infissione usato;

C_b = fattore correttivo collegato al diametro del foro di sondaggio;

questi i valori consigliati:

da 65 a 115 mm $C_b=1.0$

da 115 a 150 mm $C_b=1.05$

da 150 a 200 mm $C_b=1.15$

C_r = fattore correttivo collegato alla lunghezza delle aste;

questi i valori consigliati:

da 3 a 4 m $C_r=0.75$

da 4 a 6 m $C_r=0.85$

da 6 a 10 m $C_r=0.95$

da 10 a 30 m $C_r=1.0$

>30 m $C_r>1.0$

C_s = fattore correttivo collegato al tipo di campionatore;

questi i valori consigliati:

campionatore standard $C_s=1.0$

campionatore senza astuccio C_s da 1.1 a 1.3

f_a = 0 per una percentuale di fine(FC) $\leq 5\%$;

= $\exp\left(1.76 - \frac{190}{FC^2}\right)$ per $5 < FC < 35 \%$;

= 5 per $FC \geq 35 \%$;

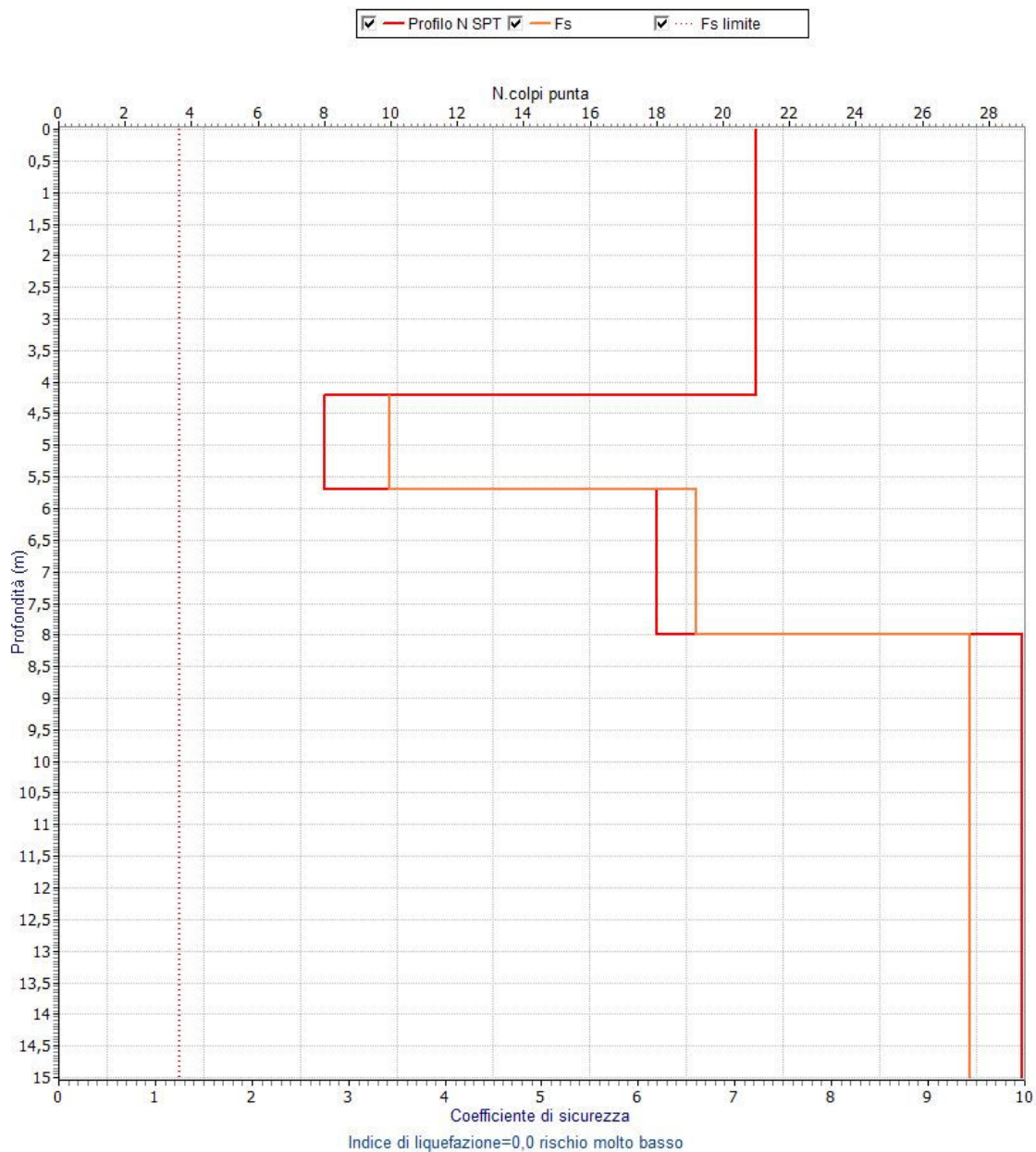
f_b = 1 per $FC \leq 5\%$;

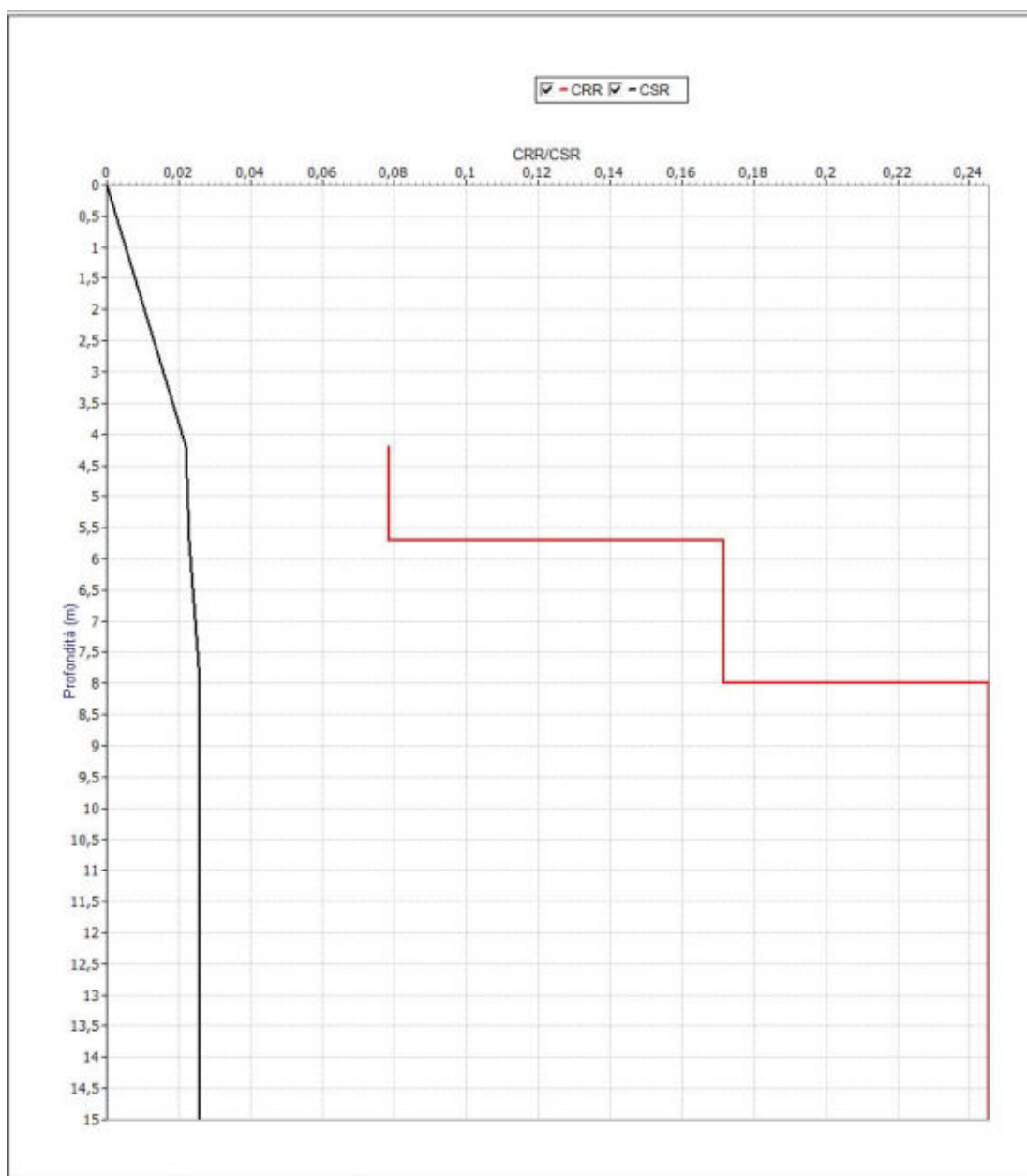
= $0.99 + \frac{FC^{1.5}}{1000}$ per $5 < FC < 35 \%$;

= 1.2 per $FC \geq 35 \%$.

Questa procedura è raccomandata dal National Center for Earthquake Reasearch (NCEER). Dai calcoli effettuati risulta quanto illustrato nelle seguenti tabelle e grafici:

10





Profilo CRR da SPT o DP								
N.	da (m)	a (m)	Nspt	%fine	Gamma/kN/	CSR	CRR	Fs
1	0.00	4.2	21	5.0	19.61	0.022		
2	4.2	5.7	8	5.0	18.63	0.023	0.079	3.42
3	5.7	8	18	5.0	19.42	0.026	0.172	6.604
4	8	15	29	5	20.10	0.026	0.245	9.436

Pertanto il terreno che costituisce il sottosuolo risulta con $FS_{minimo}=3,42$:

NON LIQUEFACIBILE

Per le profondità significative considerate.

1.12 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La Carta di Fattibilità assegna all'area oggetto di studio sia la classe di fattibilità 3c per presenza di elevate criticità idrogeologiche che 2 per modeste profondità della falda.

Rimandando allo specifico capitolo per indicazioni più estese si riassumono qui di seguito le principali prescrizioni:

Per quanto riguarda le criticità geotecniche, la esecuzione di indagini geognostiche che sono state compiutamente esperite, rimandando allo specifico capitolo ed alla relazione geotecnica.

Per quanto riguarda le criticità idrogeologiche la soggiacenza della falda freatica inferiore ai 6 metri e la assenza di una spessa copertura pedogenetica, dovranno tenere in considerazione l'aspetto di non alterare le condizioni chimico-fisiche delle acque presenti nel sottosuolo. I pozzi perdenti esistenti dovranno essere chiusi o servire esclusivamente alla dispersione di acque meteoriche. (aspetto evidenziato anche nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale).

Si raccomandano le seguenti accortezze:

- per il trasporto/stoccaggio di sostanze inquinanti, con l'adozione di controlli periodici della loro perfetta tenuta;
- la verifica del completo collettamento degli scarichi esistenti (non di natura meteorica) in fognatura.

INDICE

1.0 Relazione geologica	1
1.1 Premessa	1
1.2 Metodologia dell'indagine	1
1.2.1 Modalità esecuzione prove penetrometriche S.C.P.T	1
1.2.2 Modalità esecuzione indagine sismica MASW	1
1.2.2.1 Analisi multicanale delle onde superficiali	1
1.2.2.2 Risultati	6
1.3 Inquadramento geologico e geomorfologico	10
1.4 inquadramento idrogeologico e idrografico	12
1.5 Confronto con altra cartografia dello studio geologico comunale	16
1.6 descrizione confronto e verifica di coerenza con cartografia del PTCP	23
1.7 descrizione e verifica di coerenza con la cartografia del PGRA	24
1.8 Analisi sismica di secondo livello	25
1.9 Sismicità dell'area	28
1.9.1 Normativa	28
1.9.2 Spettri di risposta elastici	28
1.10 Modello geologico del sito	33
1.11 Verifica di liquefacibilità	34
1.12 Indicazioni conclusive	41





UBICAZIONE PROVE PENETROMETRICHE

- ubicazione prove penetrometriche
- ubicazione stendimento MASW

TAVOLA N. 2

Allegato n° 1

Rapporti di prova – prove penetrometriche SCPT

Prova n°: 1

Eseguita il: 28/10/2022

Committente:

Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli

Comune di:

Calvenzano (BG)

Località: Via Lombardia 15

Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100

Caratteristiche strumentazione:

peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm

rapporto di prova n° 4335 del 7/11/2022

quota inizio prova: p.c.

profondità falda m: rilevazione non effettuata

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
0,3	14	
0,6	24	
0,9	19	
1,2	10	
1,5	5	
1,8	10	
2,1	16	
2,4	18	
2,7	27	
3,0	32	
3,3	46	
3,6	47	
3,9	100	
4,2		
4,5		
4,8		
5,1		
5,4		
5,7		
6,0		
6,3		
6,6		
6,9		
7,2		
7,5		
7,8		
8,1		
8,4		
8,7		
9,0		
9,3		
9,6		
9,9		
10,2		
10,5		

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
10,8		
11,1		
11,4		
11,7		
12,0		
12,3		
12,6		
12,9		
13,2		
13,5		
13,8		
14,1		
14,4		
14,7		
15,0		
15,3		
15,6		
15,9		
16,2		
16,5		
16,8		
17,1		
17,4		
17,7		
18,0		
18,3		
18,6		
18,9		
19,2		
19,5		
19,5		
20,1		
20,4		
20,7		
21,0		

Note e osservazioni:

Prova n°: 1

Eseguita il: 28/10/2022

Committente:

Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli

Comune di:

Calvenzano (BG)

Località: Via Lombardia 15

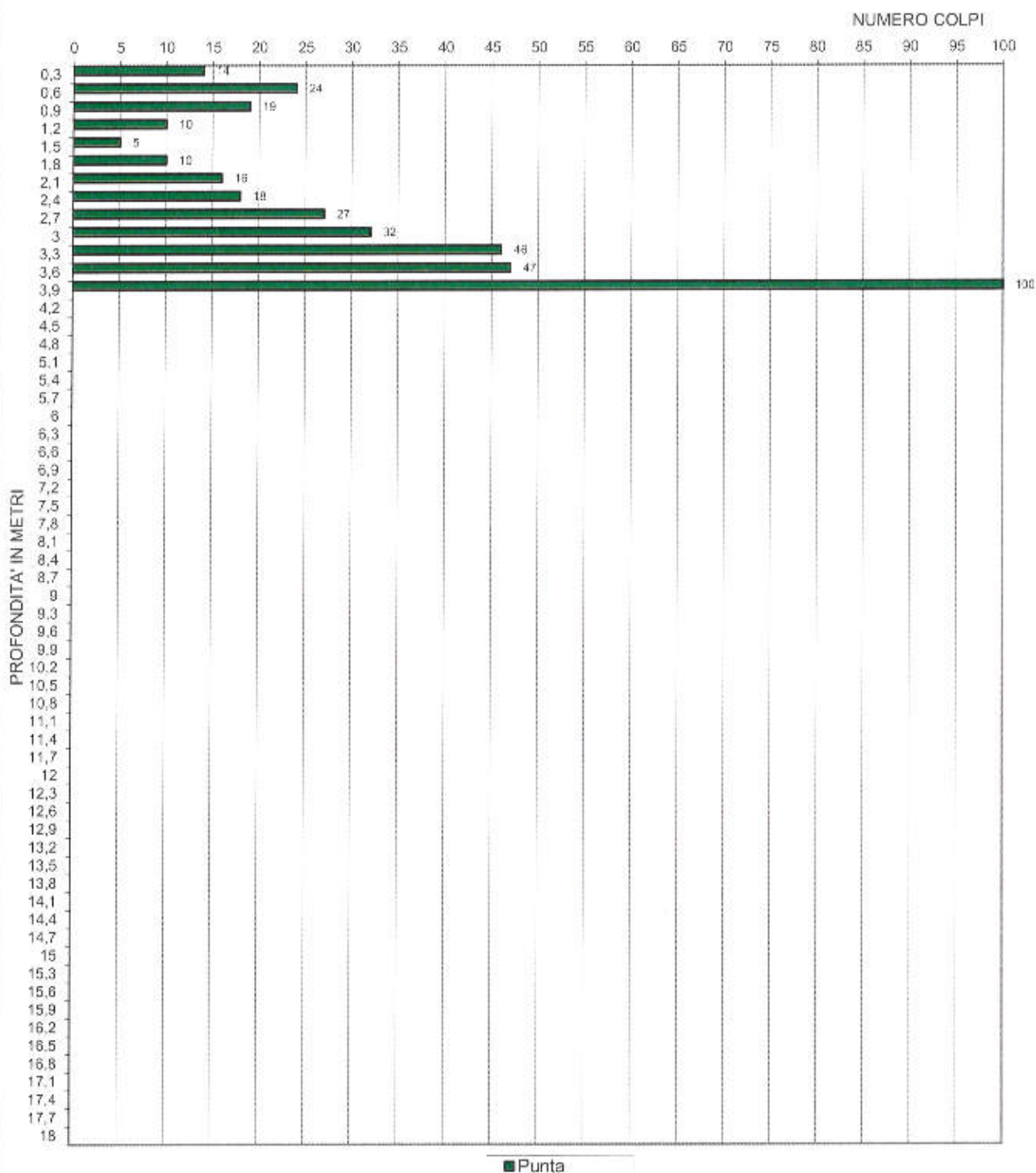
Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100

Caratteristiche strumentazione:

peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm

rapporto di prova n° 4335 del 7/11/2022

Società autorizzata con Decreto n° 106 del 10/03/2011 - relativo a
autorizzazioni per esecuzione di indagini geotecniche, presso di campioni
e prove in situ al sensi dell'art. 50 del D.P.R. n. 309/02
Circolare 32 settembre 2010 n° 16104512



Il Direttore tecnico
Dott. Marco Belloli



Prova n°: **2**

Eseguita il: **28/10/2022**

Committente: **Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli**

Comune di: **Calvenzano (BG)**

Località: **Via Lombardia 15**

Strumentazione impiegata: **Penetrometro Pagani TG 63-100**

Caratteristiche strumentazione: **peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm**

rapporto di prova n° 4336 del 7/11/2022

Società autorizzata con Decreto n° 158 del 12/04/2011, relativo al
Monitoraggio per penetrometri di tipo DPSH, presso il cantiere
a provenienza e/o presso del n° 58 del D.P.R. n° 325/01
Circolare 06 settembre 2010 n° 29158/10

quota inizio prova: p.c.

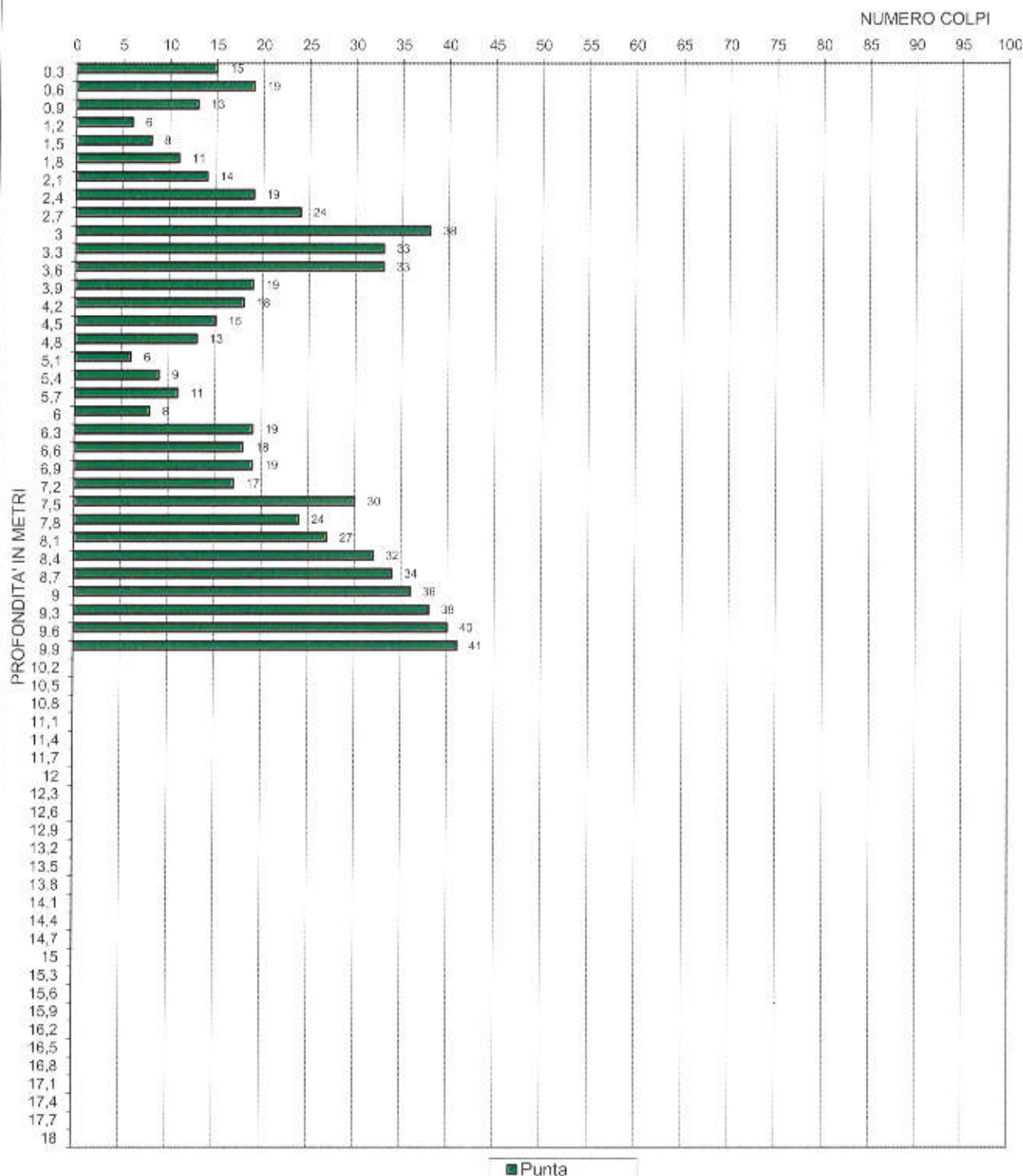
profondità falda m: rilevazione non effettuata

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
0,3	15	
0,6	19	
0,9	13	
1,2	6	
1,5	8	
1,8	11	
2,1	14	
2,4	19	
2,7	24	
3,0	38	
3,3	33	
3,6	33	
3,9	19	
4,2	18	
4,5	15	
4,8	13	
5,1	6	
5,4	9	
5,7	11	
6,0	8	
6,3	19	
6,6	18	
6,9	19	
7,2	17	
7,5	30	
7,8	24	
8,1	27	
8,4	32	
8,7	34	
9,0	36	
9,3	38	
9,6	40	
9,9	41	
10,2		
10,5		

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
10,8		
11,1		
11,4		
11,7		
12,0		
12,3		
12,6		
12,9		
13,2		
13,5		
13,8		
14,1		
14,4		
14,7		
15,0		
15,3		
15,6		
15,9		
16,2		
16,5		
16,8		
17,1		
17,4		
17,7		
18,0		
18,3		
18,6		
18,9		
19,2		
19,5		
19,5		
20,1		
20,4		
20,7		
21,0		

Note e osservazioni:

	 	PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TIPO DPSH		
		Prova n°: 2	Eseguita il: 28/10/2022	
Committente: Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli		Località: Via Lombardia 15		
Comune di: Calvenzano (BG)		Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100		
Caratteristiche strumentazione:		peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm		
rapporto di prova n° 4336 del 7/11/2022				



Il Direttore tecnico
Dott. Marco Belloli



		PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TIPO DPSH		
		Prova n°: 3 Committente: Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli Comune di: Calvenzano (BG)	Eseguita il: 28/10/2022 Località: Via Lombardia 15	
Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100 Caratteristiche strumentazione: peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm				
rapporto di prova n° 4337 del 7/11/2022				

quota inizio prova: p.c.

profondità falda m: rilevazione non effettuata

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
0,3	10	
0,6	19	
0,9	11	
1,2	8	
1,5	10	
1,8	26	
2,1	20	
2,4	28	
2,7	29	
3,0	42	
3,3	45	
3,6	100	
3,9		
4,2		
4,5		
4,8		
5,1		
5,4		
5,7		
6,0		
6,3		
6,6		
6,9		
7,2		
7,5		
7,8		
8,1		
8,4		
8,7		
9,0		
9,3		
9,6		
9,9		
10,2		
10,5		

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
10,8		
11,1		
11,4		
11,7		
12,0		
12,3		
12,6		
12,9		
13,2		
13,5		
13,8		
14,1		
14,4		
14,7		
15,0		
15,3		
15,6		
15,9		
16,2		
16,5		
16,8		
17,1		
17,4		
17,7		
18,0		
18,3		
18,6		
18,9		
19,2		
19,5		
19,5		
20,1		
20,4		
20,7		
21,0		

Note e osservazioni:

Prova n°: **3**

Eseguita il: **28/10/2022**

Committente:

Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli

Comune di:

Calvenzano (BG)

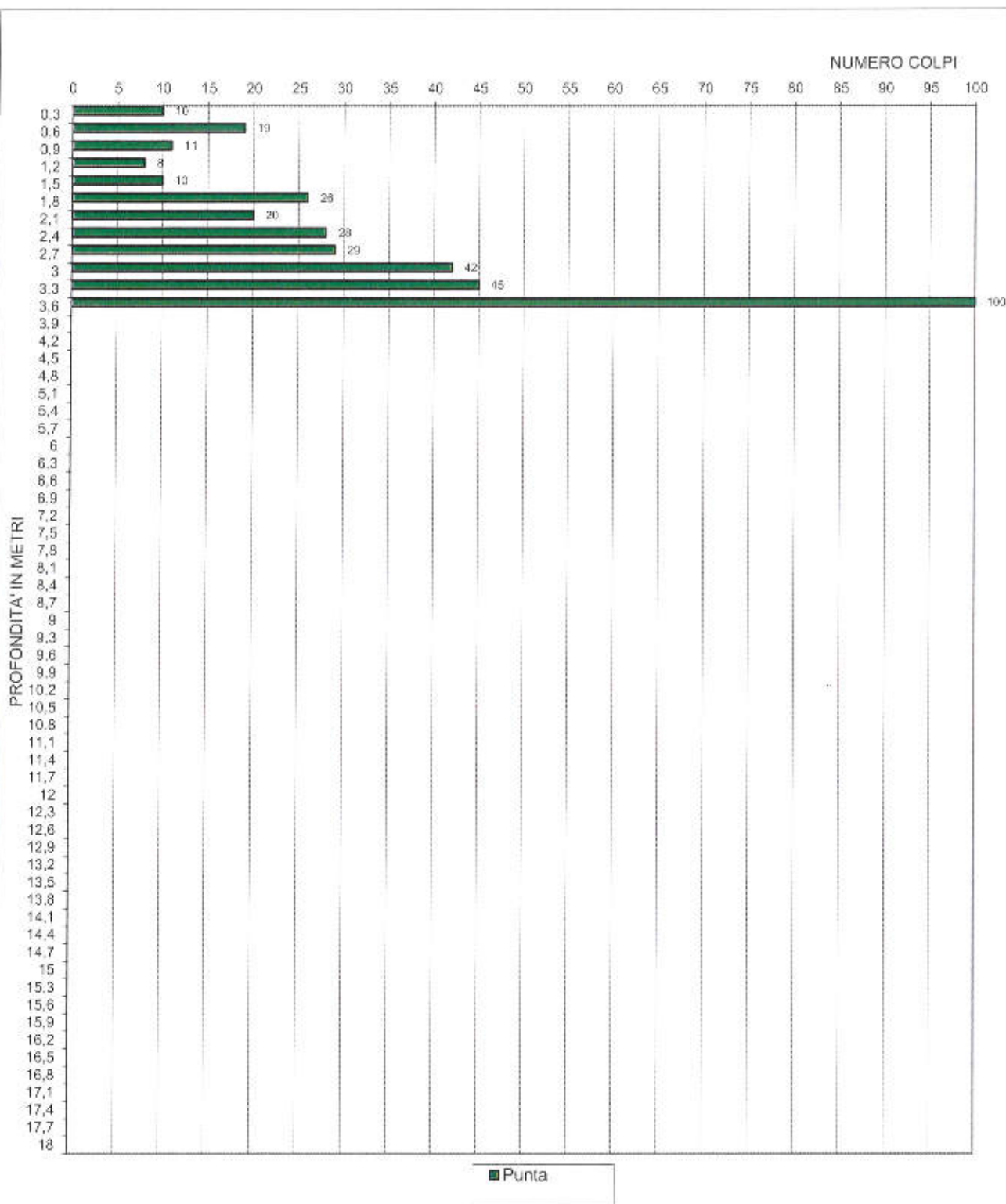
Località: **Via Lombardia 15**

Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100

Caratteristiche strumentazione:

peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm

rapporto di prova n° 4337 del 7/11/2022



Il Direttore tecnico
Dott. Marco Belloli



Prova n°: 4

Eseguita il: 28/10/2022

Committente:

Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli

Comune di:

Calvenzano (BG)

Località: Via Lombardia 15

Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100

Caratteristiche strumentazione:

peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm

rapporto di prova n° 4338 del 7/11/2022

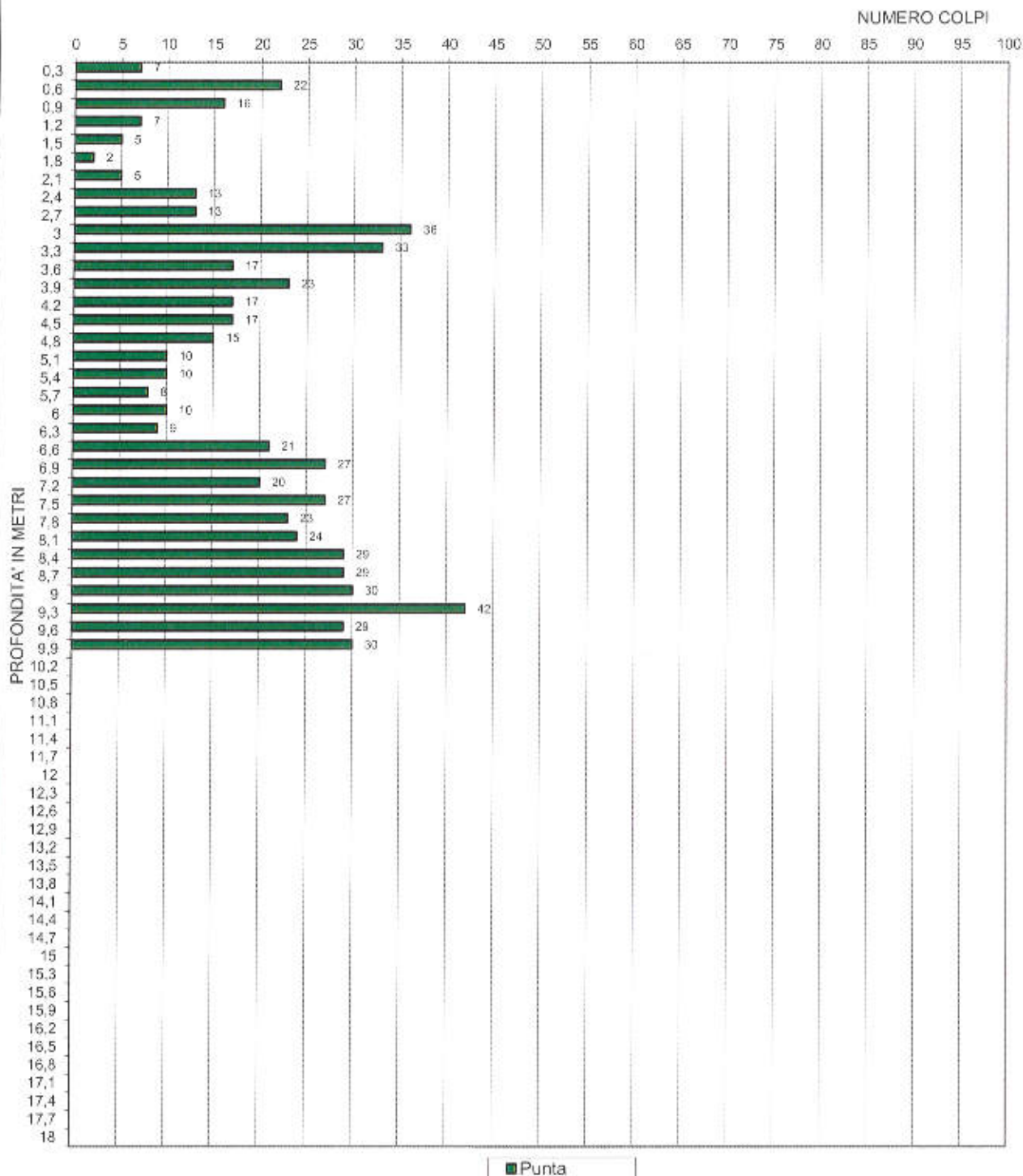
quota inizio prova: p.c.

profondità falda m: rilevazione non effettuata

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
0,3	7	
0,6	22	
0,9	16	
1,2	7	
1,5	5	
1,8	2	
2,1	5	
2,4	13	
2,7	13	
3,0	36	
3,3	33	
3,6	17	
3,9	23	
4,2	17	
4,5	17	
4,8	15	
5,1	10	
5,4	10	
5,7	8	
6,0	10	
6,3	9	
6,6	21	
6,9	27	
7,2	20	
7,5	27	
7,8	23	
8,1	24	
8,4	29	
8,7	29	
9,0	30	
9,3	42	
9,6	29	
9,9	30	
10,2		
10,5		

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
10,8		
11,1		
11,4		
11,7		
12,0		
12,3		
12,6		
12,9		
13,2		
13,5		
13,8		
14,1		
14,4		
14,7		
15,0		
15,3		
15,6		
15,9		
16,2		
16,5		
16,8		
17,1		
17,4		
17,7		
18,0		
18,3		
18,6		
18,9		
19,2		
19,5		
19,5		
20,1		
20,4		
20,7		
21,0		

Note e osservazioni:



Il Direttore tecnico
 Dott. Marco Belloli

		PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TIPO DPSH		
		Prova n°: 5 Committente: Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli Comune di: Calvenzano (BG)	Eseguita il: 28/10/2022 Località: Via Lombardia 15	
Società autorizzata con Decreto n° 139 del 10/03/2011, relativo al laboratorio per esecuzione di indagini geotecniche, geofisiche e geologiche in prova n° 100 al verbale n° 39 del 03/01/2011 Circolare 33 settembre 2013 n° 15162/TC				
Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100 Caratteristiche strumentazione: peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm				
rapporto di prova n° 4339 del 7/11/2022				

quota inizio prova: p.c.

profondità falda m: rilevazione non effettuata

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
0,3	12	
0,6	15	
0,9	5	
1,2	7	
1,5	6	
1,8	5	
2,1	10	
2,4	15	
2,7	18	
3,0	27	
3,3	31	
3,6	25	
3,9	21	
4,2	20	
4,5	18	
4,8	17	
5,1	25	
5,4	21	
5,7	14	
6,0	24	
6,3	18	
6,6	14	
6,9	16	
7,2	12	
7,5	10	
7,8	15	
8,1	18	
8,4	21	
8,7	36	
9,0	40	
9,3	38	
9,6	26	
9,9	40	
10,2		
10,5		

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
10,8		
11,1		
11,4		
11,7		
12,0		
12,3		
12,6		
12,9		
13,2		
13,5		
13,8		
14,1		
14,4		
14,7		
15,0		
15,3		
15,6		
15,9		
16,2		
16,5		
16,8		
17,1		
17,4		
17,7		
18,0		
18,3		
18,6		
18,9		
19,2		
19,5		
19,5		
20,1		
20,4		
20,7		
21,0		

Note e osservazioni:

Prova n°:

5

Eseguita il: 28/10/2022

Committente:

Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli

Comune di:

Calvenzano (BG)

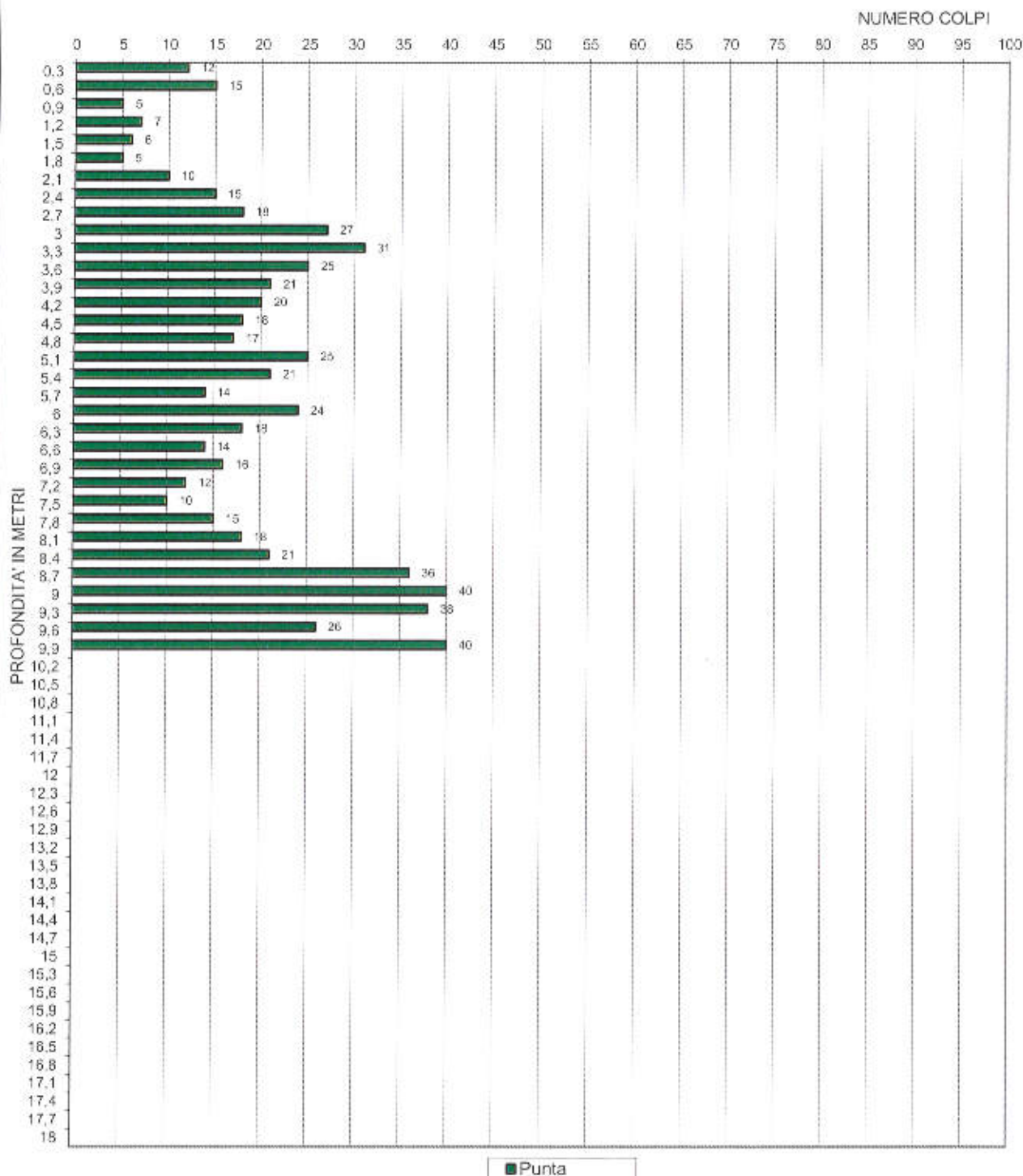
Località: Via Lombardia 15

Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100

Caratteristiche strumentazione:

peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm

rapporto di prova n° 4339 del 7/11/2022



Il Direttore tecnico
Dott. Marco Belloli

Prova n°: 6

Eseguita il: 31/10/2022

Committente:

Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli

Comune di:

Calvenzano (BG)

Località: Via Lombardia 15

Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100

Caratteristiche strumentazione:

peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm

rapporto di prova n° 4340 del 7/11/2022

Società autorizzata con Decreto n° 156 del 19/04/2011 relativo a
laboratori per esecuzione di indagini geoprofonde, per sondi di campioni
e prove in situ ai sensi dell'art. 15 del D.P.R. n. 308/21
Circolare 06 settembre 2010 n° 7019/STG

quota inizio prova: p.c.

profondità falda m: rilevazione non effettuata

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
0,3	13	
0,6	17	
0,9	18	
1,2	8	
1,5	6	
1,8	2	
2,1	8	
2,4	27	
2,7	34	
3,0	29	
3,3	27	
3,6	24	
3,9	17	
4,2	13	
4,5	9	
4,8	8	
5,1	10	
5,4	9	
5,7	19	
6,0	17	
6,3	20	
6,6	12	
6,9	14	
7,2	23	
7,5	21	
7,8	27	
8,1	36	
8,4	38	
8,7	40	
9,0	31	
9,3	36	
9,6	38	
9,9	40	
10,2		
10,5		

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
10,8		
11,1		
11,4		
11,7		
12,0		
12,3		
12,6		
12,9		
13,2		
13,5		
13,8		
14,1		
14,4		
14,7		
15,0		
15,3		
15,6		
15,9		
16,2		
16,5		
16,8		
17,1		
17,4		
17,7		
18,0		
18,3		
18,6		
18,9		
19,2		
19,5		
19,5		
20,1		
20,4		
20,7		
21,0		

Note e osservazioni:

Prova n°:

6

Eseguita il: 31/10/2022

Committente:

Studio Geoconsult di dr. Marco Belloi

Comune di:

Calvenzano (BG)

Località: Via Lombardia 15

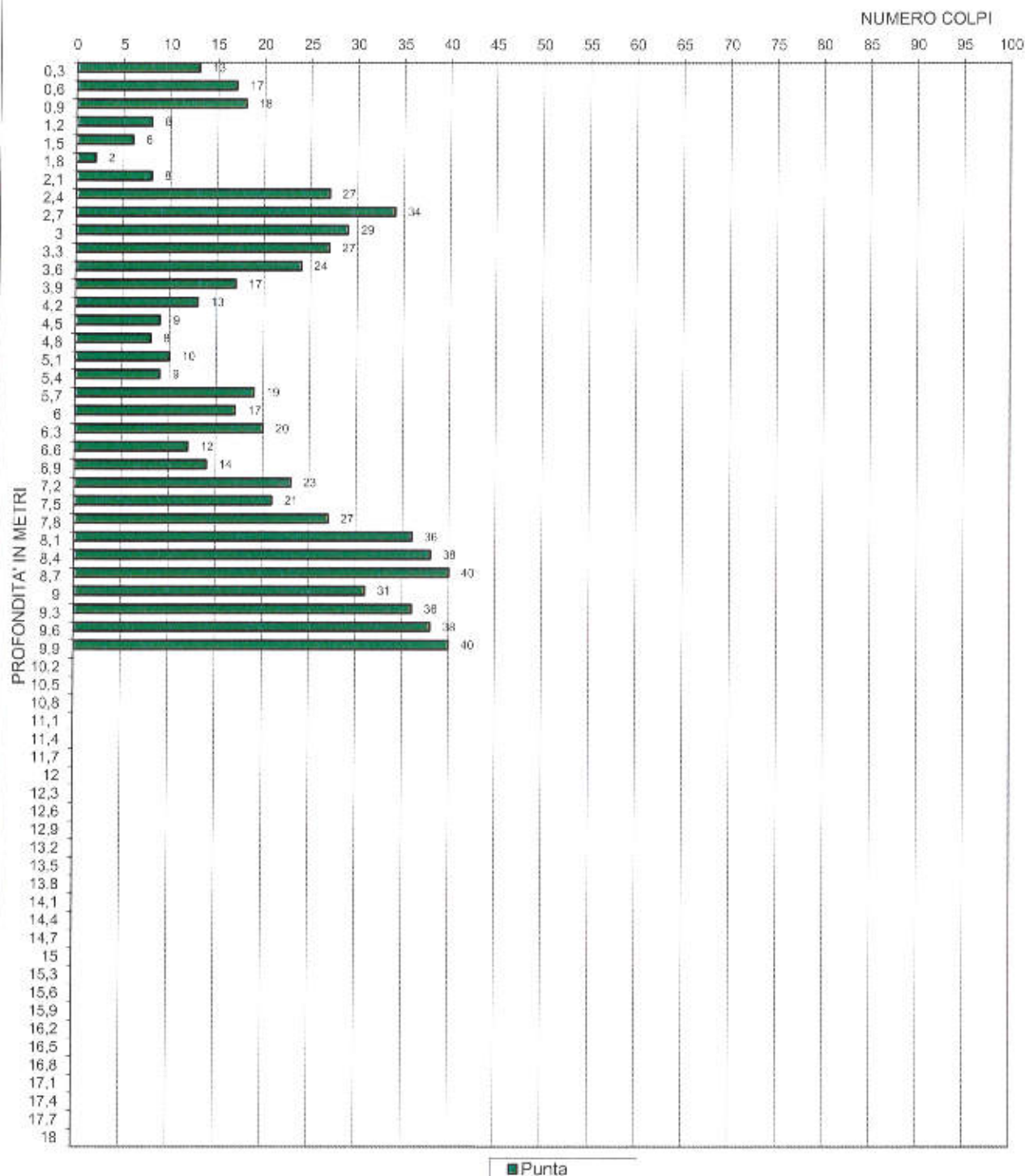
Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100

Caratteristiche strumentazione:

peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm

Società autorizzata con Decreto n° 148 del 10/04/2011, relativo al
sistema per l'assicurazione di indagini geotecniche, professi in categoria
a provenienza in corso dell'art. 38 del D.P.R. n° 382/01
Dichiarazione 05 settembre 2010 n° 2919270

rapporto di prova n° 4340 del 7/11/2022



Il Direttore Tecnico
Dr. Marco Belloi
365

Prova n°: 7 **Eseguita il:** 31/10/2022

Committente: Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli

Comune di: Calvenzano (BG)

Località: Via Lombardia 15

Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100

Caratteristiche strumentazione: peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm

rapporto di prova n° 4341 del 7/11/2022

quota inizio prova: p.c.

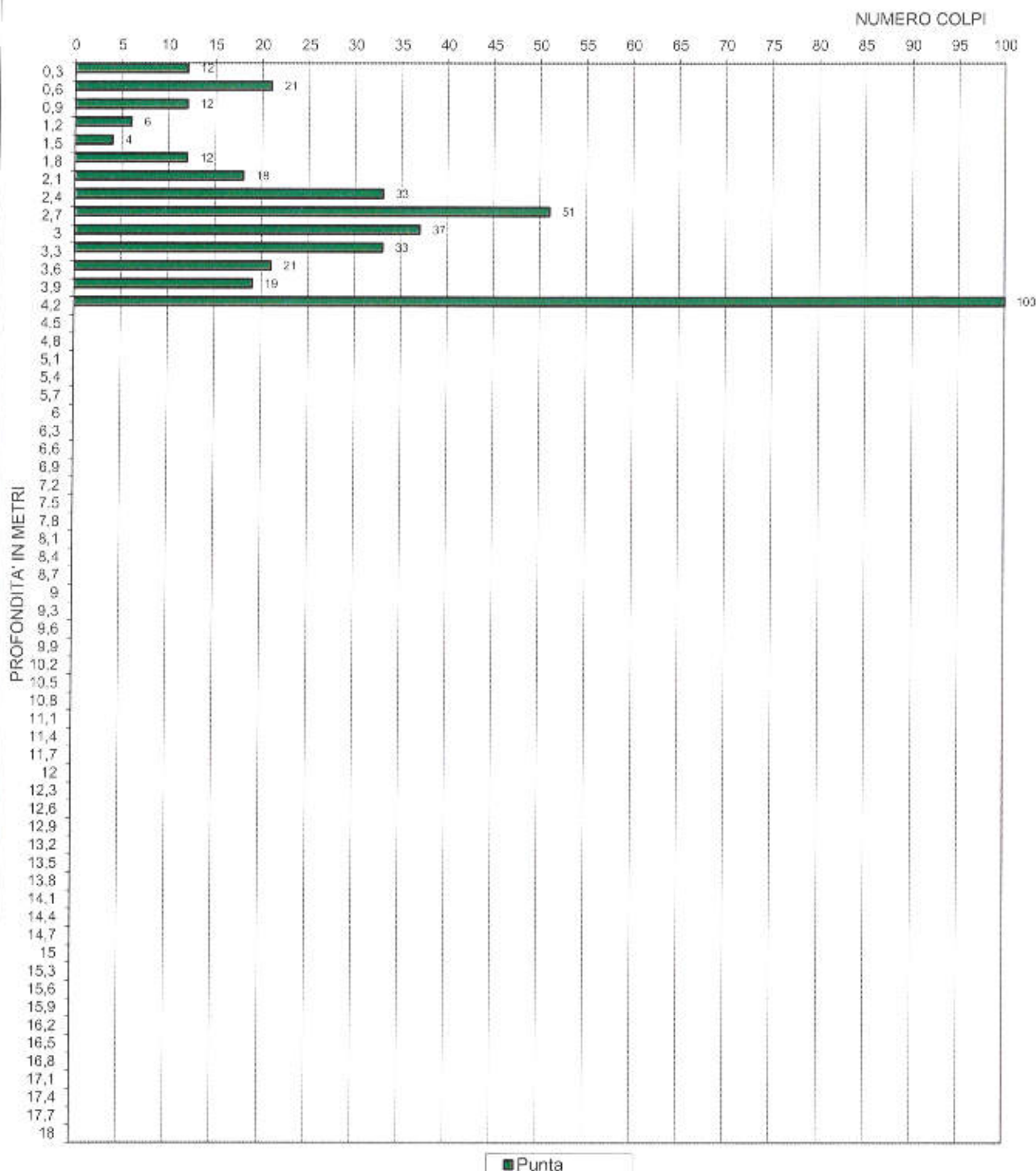
profondità falda m: rilevazione non effettuata

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
0,3	12	
0,6	21	
0,9	12	
1,2	6	
1,5	4	
1,8	12	
2,1	18	
2,4	33	
2,7	51	
3,0	37	
3,3	33	
3,6	21	
3,9	19	
4,2	100	
4,5		
4,8		
5,1		
5,4		
5,7		
6,0		
6,3		
6,6		
6,9		
7,2		
7,5		
7,8		
8,1		
8,4		
8,7		
9,0		
9,3		
9,6		
9,9		
10,2		
10,5		

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
10,8		
11,1		
11,4		
11,7		
12,0		
12,3		
12,6		
12,9		
13,2		
13,5		
13,8		
14,1		
14,4		
14,7		
15,0		
15,3		
15,6		
15,9		
16,2		
16,5		
16,8		
17,1		
17,4		
17,7		
18,0		
18,3		
18,6		
18,9		
19,2		
19,5		
19,5		
20,1		
20,4		
20,7		
21,0		

Note e osservazioni: devia a 4,4 metri

	 	PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TIPO DPSH		
		Prova n°: 7	Eseguita il: 31/10/2022	
Committente: Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli		Località: Via Lombardia 15		
Comune di: Calvenzano (BG)		Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100		
Caratteristiche strumentazione: peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm		rapporto di prova n° 4341 del 7/11/2022		



Il Direttore tecnico
Dott. Marco Belloli



Prova n°: 8

Eseguita il: 31/10/2022

Committente: Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli

Comune di: Calvenzano (BG)

Località: Via Lombardia 15

Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100

Caratteristiche strumentazione: peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm

rapporto di prova n° 4342 del 7/11/2022

Società autorizzata con Decreto n° 158 del 19/04/2011 - relativo al
laboratori per esecuzione di indagini geotecniche, presso di cui è
a prova n° 100 al sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 309/2011
Erogare 03 settembre 2010 n° 2019/512

quota inizio prova: p.c.

profondità falda m: rilevazione non effettuata

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
0,3	8	
0,6	17	
0,9	9	
1,2	6	
1,5	11	
1,8	28	
2,1	20	
2,4	24	
2,7	28	
3,0	34	
3,3	24	
3,6	17	
3,9	15	
4,2	27	
4,5	41	
4,8	54	
5,1	100	
5,4		
5,7		
6,0		
6,3		
6,6		
6,9		
7,2		
7,5		
7,8		
8,1		
8,4		
8,7		
9,0		
9,3		
9,6		
9,9		
10,2		
10,5		

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
10,8		
11,1		
11,4		
11,7		
12,0		
12,3		
12,6		
12,9		
13,2		
13,5		
13,8		
14,1		
14,4		
14,7		
15,0		
15,3		
15,6		
15,9		
16,2		
16,5		
16,8		
17,1		
17,4		
17,7		
18,0		
18,3		
18,6		
18,9		
19,2		
19,5		
19,5		
20,1		
20,4		
20,7		
21,0		

Note e osservazioni:

Prova n°: **8**

Eseguita il: **31/10/2022**

Committente:

Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli

Comune di:

Calvenzano (BG)

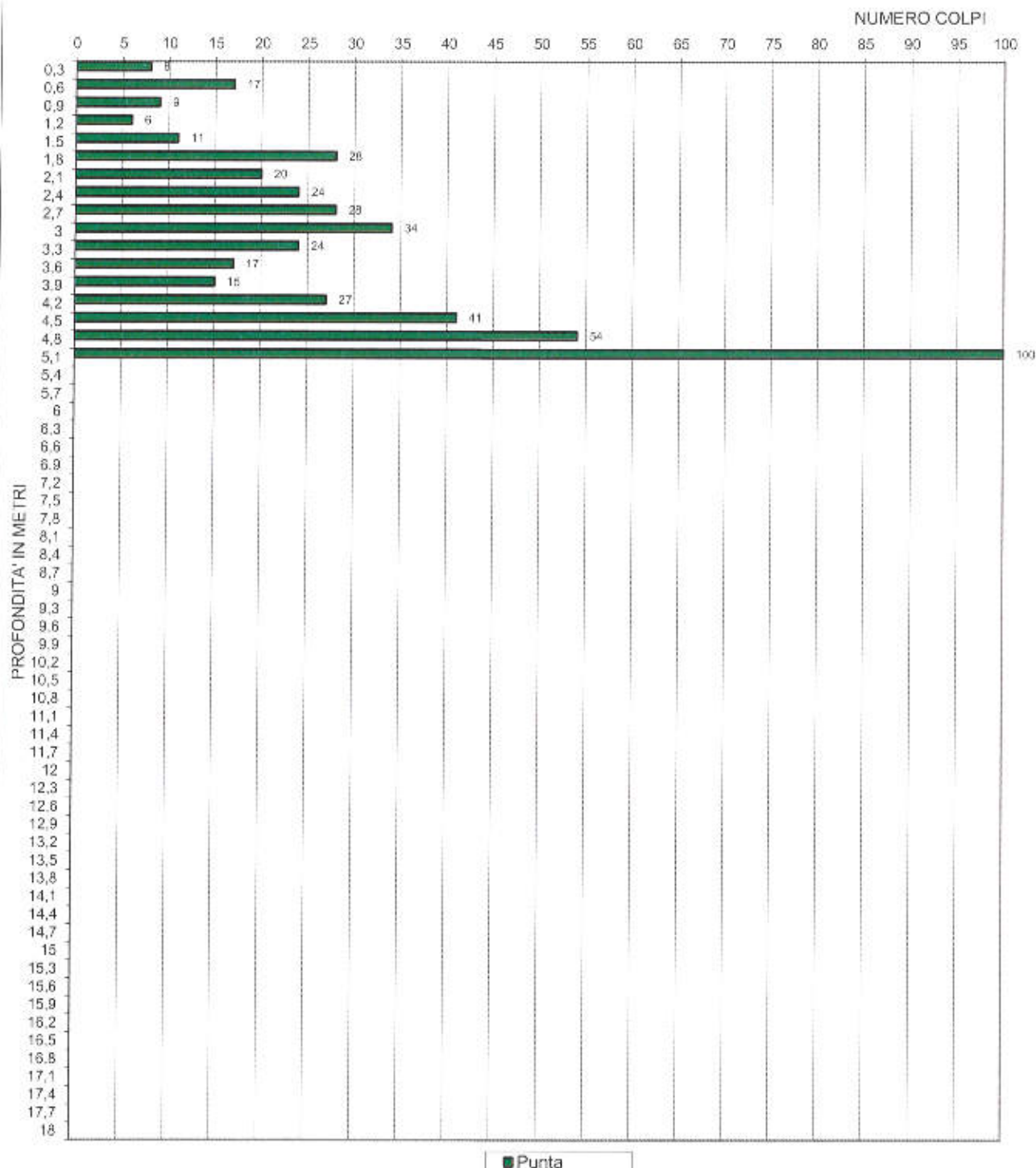
Località: **Via Lombardia 15**

Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100

Caratteristiche strumentazione:

peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm

rapporto di prova n° 4342 del 7/11/2022



Il Direttore Tecnico
Dott. Marco Belloli
30/11/2022

	  	PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TIPO DPSH		
		Prova n°: 9 Committente: Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli Comune di: Calvenzano (BG)	Eseguita il: 31/10/2022 Località: Via Lombardia 15	
Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100 Caratteristiche strumentazione: peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm				
rapporto di prova n° 4343 del 7/11/2022				

quota inizio prova: p.c.

profondità falda m: rilevazione non effettuata

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
0,3	9	
0,6	24	
0,9	8	
1,2	5	
1,5	11	
1,8	18	
2,1	26	
2,4	23	
2,7	22	
3,0	26	
3,3	28	
3,6	29	
3,9	100	
4,2		
4,5		
4,8		
5,1		
5,4		
5,7		
6,0		
6,3		
6,6		
6,9		
7,2		
7,5		
7,8		
8,1		
8,4		
8,7		
9,0		
9,3		
9,6		
9,9		
10,2		
10,5		

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
10,8		
11,1		
11,4		
11,7		
12,0		
12,3		
12,6		
12,9		
13,2		
13,5		
13,8		
14,1		
14,4		
14,7		
15,0		
15,3		
15,6		
15,9		
16,2		
16,5		
16,8		
17,1		
17,4		
17,7		
18,0		
18,3		
18,6		
18,9		
19,2		
19,5		
19,5		
20,1		
20,4		
20,7		
21,0		

Note e osservazioni:

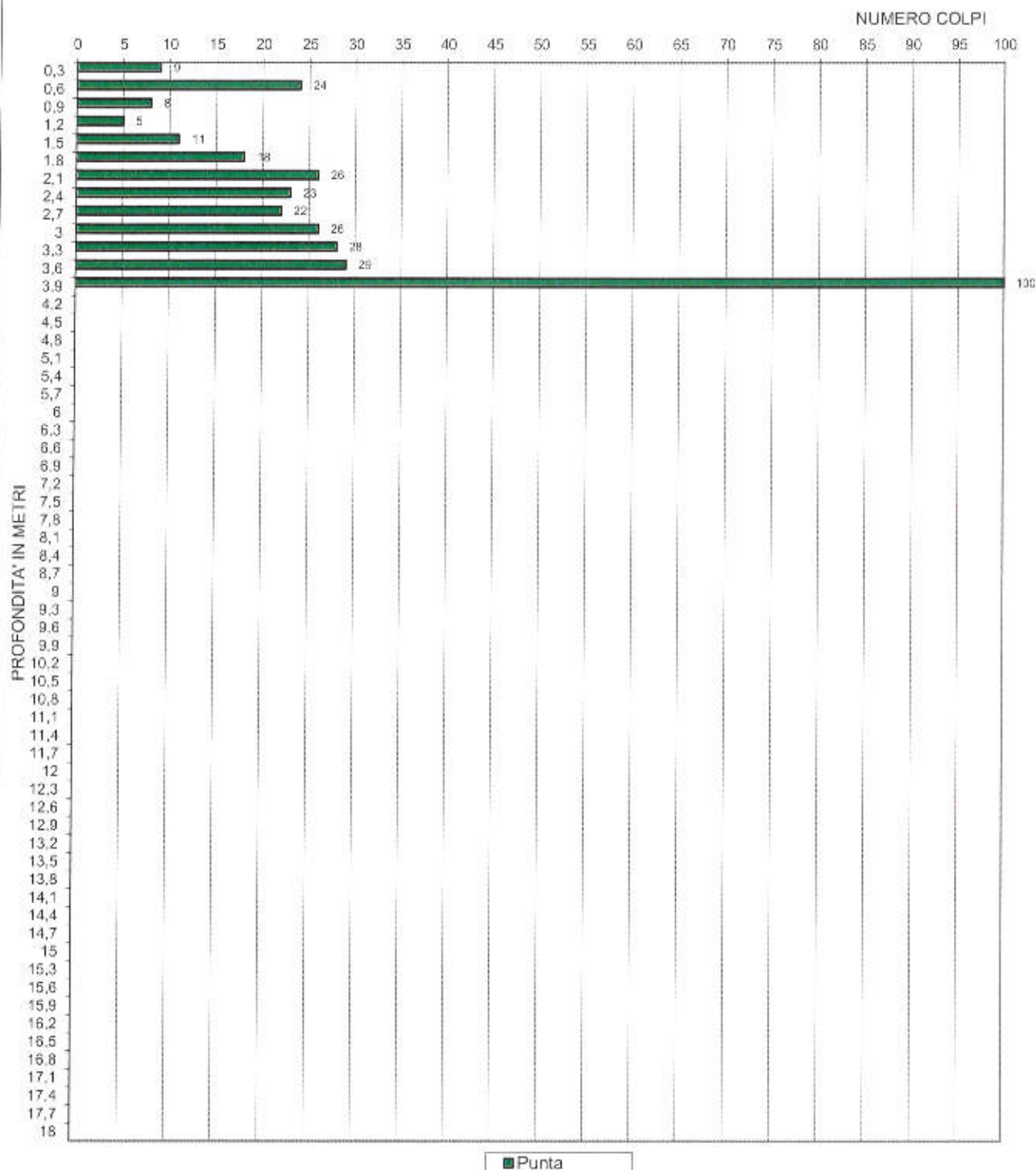
Prova n°: 9 **Eseguita il:** 31/10/2022
Committente: Studio Geoconsult di dr. Marco Belloi
Comune di: Calvenzano (BG) **Località:** Via Lombardia 15

Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100

Caratteristiche strumentazione: peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm

Società autorizzata con Decreto n° 156 del 10/04/2011, relativo al
 laboratorio per esecuzione di indagini geotecniche, presso il cantiere
 a prove in sito ai sensi dell'art. 54 del D.P.R. n° 382/01
 Circolare 55 settembre 2012 n° 79/9570

rapporto di prova n° 4343 del 7/11/2022



Il Direttore tecnico
 Dott. Marco Belloi

		PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TIPO DPSH		
		Prova n°: 10 Committente: Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli Comune di: Calvenzano (BG)	Eseguita il: 31/10/2022 Località: Via Lombardia 15	
Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100				
Caratteristiche strumentazione: peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm				
rapporto di prova n° 4344 del 7/11/2022				

quota inizio prova: p.c.

profondità falda m: rilevazione non effettuata

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
0,3	8	
0,6	5	
0,9	10	
1,2	6	
1,5	10	
1,8	9	
2,1	16	
2,4	18	
2,7	22	
3,0	24	
3,3	26	
3,6	17	
3,9	18	
4,2	24	
4,5	19	
4,8	41	
5,1	56	
5,4	100	
5,7		
6,0		
6,3		
6,6		
6,9		
7,2		
7,5		
7,8		
8,1		
8,4		
8,7		
9,0		
9,3		
9,6		
9,9		
10,2		
10,5		

profondità m	n° colpi asta	n° colpi rivestimento
10,8		
11,1		
11,4		
11,7		
12,0		
12,3		
12,6		
12,9		
13,2		
13,5		
13,8		
14,1		
14,4		
14,7		
15,0		
15,3		
15,6		
15,9		
16,2		
16,5		
16,8		
17,1		
17,4		
17,7		
18,0		
18,3		
18,6		
18,9		
19,2		
19,5		
19,5		
20,1		
20,4		
20,7		
21,0		

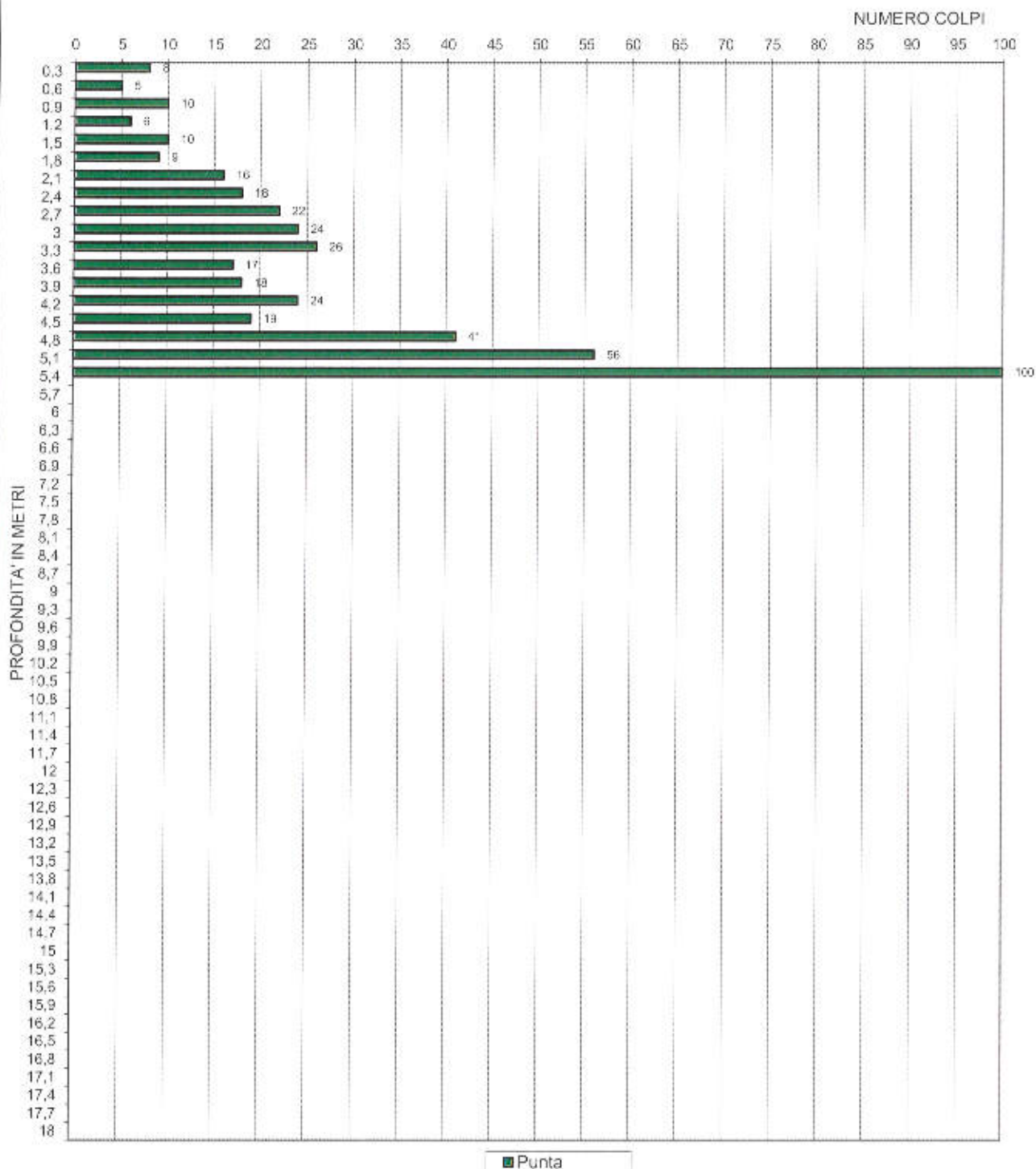
Note e osservazioni:

Prova n°: 10 **Eseguita il:** 31/10/2022
Committente: Studio Geoconsult di dr. Marco Belloli
Comune di: Calvenzano (BG) **Località:** Via Lombardia 15

Strumentazione impiegata: Penetrometro Pagani TG 63-100

Caratteristiche strumentazione: peso mazza: 73.5 kg - volata 75 cm - diam. punta 51 mm

rapporto di prova n° 4344 del 7/11/2022



Studio Geoconsult
Direttore Tecnico
Dot. Marco Belloli