

Studio di Geologia - Dott. Geol. Luigi Renna - Dott. Geol. Niccolò Crestana
Viale Michelangelo, 40 – 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 349 2936733 - 347 9428449
mail: renna@crestanasrls.com - crestana@crestanasrls.com

COMUNE DI CALCINATO

PROVINCIA DI BRESCIA
Regione Lombardia

PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI NUOVO A.T.E., IN LOCALITÀ COLOMBERINO

RELAZIONE GEOLOGICA R1

ai sensi del punto 6.2.1 del D.M. 17/01/18 " Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"

RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA R3

ai sensi della D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011 "Norme di Piano"

Committente: *Sig. Angelo Fontanella*

Data:

13 Febbraio 2020

I Tecnici:

Dott. Geol. Niccolò Crestana

Ordine dei Geologi della Lombardia n°1691

Dott. Geol. Luigi Renna

Ordine dei Geologi della Lombardia n°1667



INDICE

1. PREMESSA	3
1.1 Metodologia di lavoro.....	3
1.2 Riferimenti Normativi	4
2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL SITO	5
2.1 Inquadramento Geografico e Geologico	5
2.2 Assetto Geomorfologico	7
2.3 Caratteri Idrogeologici locali e soggiacenza del livello di falda.....	8
2.4 Permeabilità dei terreni e vulnerabilità degli acquiferi	9
2.5 Rete Idrografica locale.....	10
2.6 Piano di Gestione Rischio Alluvioni.....	11
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	13
3.1 Prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH).....	14
3.2 Scavi esplorativi	14
3.3 Permeabilità dei terreni.....	15
3.4 Prospezioni sismiche e modello sismostratigrafico	17
4. SISMICITÀ DELL'AREA E AZIONE SISMICA	24
4.1 Inquadramento sismotettonico	24
4.2 Sismicità locale	25
4.3 Normativa sismica vigente	26
4.4 Azione sismica di progetto.....	26
5. FATTIBILITÀ GEOLOGICA E VINCOLI DELL'AREA DI PROGETTO.....	32
6. MODELLO GEOTECNICO – VALORI CARATTERISTICI	35
7. PROGETTO DI COLTIVAZIONE.....	36
8. CONCLUSIONI	37

1. PREMESSA

Su incarico conferito dal Sig. *Angelo Fontanella* e a seguito dei colloqui intercorsi con l'Arch. *Stefano Loda*, è stato eseguito uno studio geologico e idrogeologico a supporto del progetto di realizzazione di un nuovo A.T.E., in Località Colomberino, nel Comune di Calcinato (BS).

Lo studio viene eseguito in ottemperanza a quanto prescritto dal Testo Unico sulle Costruzioni (D.M. 14/01/08) e relativo aggiornamento (D.M. 17/01/18), secondo quanto previsto dalle Norme di Piano (D.G.R. 30/11/2011 n. IX/2616) e dalle normative regionali in materia di vigilanza sulle costruzioni in zone sismiche (DGR 5001/2016, LR 33/2015) e dall'aggiornamento della classificazione sismica regionale (DGR 2129/2014). Inoltre lo studio geologico e idrogeologico viene redatto secondo quanto indicato dalla L.R. 14/1998.

1.1 Metodologia di lavoro

Scopo del lavoro è stato quello di valutare la natura litologica dei terreni presenti nell'area, ricostruire l'assetto idrogeologico della zona con particolare riguardo alle modalità di circolazione idrica sotterranea, verificare la fattibilità delle opere di progetto secondo i regolamenti urbanistici comunali e regionali vigenti e considerare le problematiche realizzative, in relazione alla possibilità di costruire in loco un nuovo polo di sfruttamento per attività estrattive di inerti (ghiaia e sabbia).

Lo studio degli aspetti geomorfologici ed idrografici del territorio d'interesse e delle caratteristiche geotecniche dei terreni, si è articolato in una prima fase di rilievi geologico-geomorfologici di campagna, eseguiti in un intorno significativo dell'area di progetto.

Quindi si è proceduto ad una seconda fase che ha riguardato l'acquisizione dei dati reperibili in letteratura consultando, tra gli altri, lo studio della "*Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio*" di Calcinato (*Settembre 2008 e Aggiornamento Gennaio 2018*), sulla base del quale è stata considerata la fattibilità dell'opera di progetto e vari studi geologici eseguiti dal *Dott. Geol. G. Crestana* (di cui si dispone dell'archivio personale), in aree limitrofe a quella oggetto di studio e più in generale nel territorio comunale di Calcinato (BS).

Per la caratterizzazione geologica, idrogeologica e geotecnica dei terreni, sono stati presi in considerazione, i dati provenienti dall'esecuzione di indagini geognostiche e pozzi, eseguiti nelle immediate vicinanze e nello stesso contesto geologico e idrogeologico dell'area di studio.

Sono stati infine prodotti alcuni allegati cartografici e tecnici a supporto della presente relazione, come di seguito elencati:

- ✓ TAV. 1 – Corografia con ubicazione dell'area di studio e dei siti con indagini geognostiche
- ✓ TAV. 2 – Estratto mappa catastale con ubicazione dei siti con indagini geognostiche
- ✓ Diagrammi indagini geotecniche e stratigrafie pozzi relativi ai Siti indagati

1.2 Riferimenti Normativi

- D.M. 14 Gennaio 2008 *“Approvazione delle Norme Tecniche per la Costruzioni”* (G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008) e relativo aggiornamento (D.M. 17 Gennaio 2018); che sancisce l’obbligo di effettuare la progettazione antisismica e la relazione geologica e geotecnica.
- Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti approvata dal C.S.LL.PP. *“Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018”*.
- Ordinanza Presidenza Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006 n. 3519, recante *“Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”* (G.U. n. 108 del 11/5/2006).
- L.R. 11 Marzo 2005 - n.12 Piani di Governo del Territorio; DGR 22 Dicembre 2005 n.8/1566 *“Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio”*.
- D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 *“Norme in materia ambientale”* con riferimento alla Parte Terza *“Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall’inquinamento e di gestione delle risorse idriche”* - Sezione II *“Tutela delle acque dall’inquinamento”*.
- D.G.R. 30 Novembre 2011 – n° IX/2616 *“Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n° 12”, approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005, n° 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n° 8/7374”*
- 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)”*.
- L.R. 12 Ottobre 2015 - n. 33 *“Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche”* BURL n. 42, suppl. del 16 Ottobre 2015).
- D.G.R. 30 Marzo 2016 – n. X/5001 *“Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)”*.
- D.G.R. 19 Giugno 2017 – n° X/6738 *“Disposizioni regionali concernenti l’attuazione del piano di gestione dei rischi di alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell’emergenza, ai sensi dell’art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l’assetto idrogeologico (PAI) del bacino del fiume Po”*.
- *Raccomandazioni per la redazione della “Relazione Geologica” ai sensi delle norme tecniche sulle costruzioni* secondo quanto approvato con delibera n.1 del 14/04/2015 dal Centro Studi del Consiglio Nazionale dei Geologi e con delibera n. 111/2015 del 28/04/2015 del C.N.G..
- Associazione Geotecnica Italiana *“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche in sito”* (1977).
- L.R. 8 Agosto 1998 – n°14 *“Nuove norme per la disciplina della coltivazione di sostanze minerali di cava”*.

2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Nel presente capitolo viene redatto, sulla base di tutti i dati raccolti in letteratura, un inquadramento geografico-geologico, geomorfologico, idrografico ed idrogeologico generale e di dettaglio, dell'area di progetto.

2.1 Inquadramento Geografico e Geologico

L'area d'interesse, identificata dai *Mappali* n° 1, 2, 4, 5, 9, 13, 14, 44, 49, 50 del *Foglio 50* e dai *Mappali* 27, 30, 31, 51, 56, 60, 92 del *Foglio 49*, è ubicata tra Via Pozzo Cavato (a Ovest) e Via Colombara Trivellino (a Est/Nord-Est), a circa 1.700 m in direzione Est rispetto a località Pozzo Cavato ed in adiacenza al confine territoriale con il comune di Lonato d/G, nell'estrema porzione sud-orientale del territorio comunale di Calcinato (**Fig. 1**).

Il lotto d'interesse, in particolare, è individuato nella CTR RL (*Carta Tecnica Regionale della Regione Lombardia*) alla scala 1:10.000 nella tavola D6e3 e possiede, nel punto mediano, le seguenti coordinate geografiche (Gauss-Boaga): 5031383,86 latitudine N – 1613518,92 longitudine E.

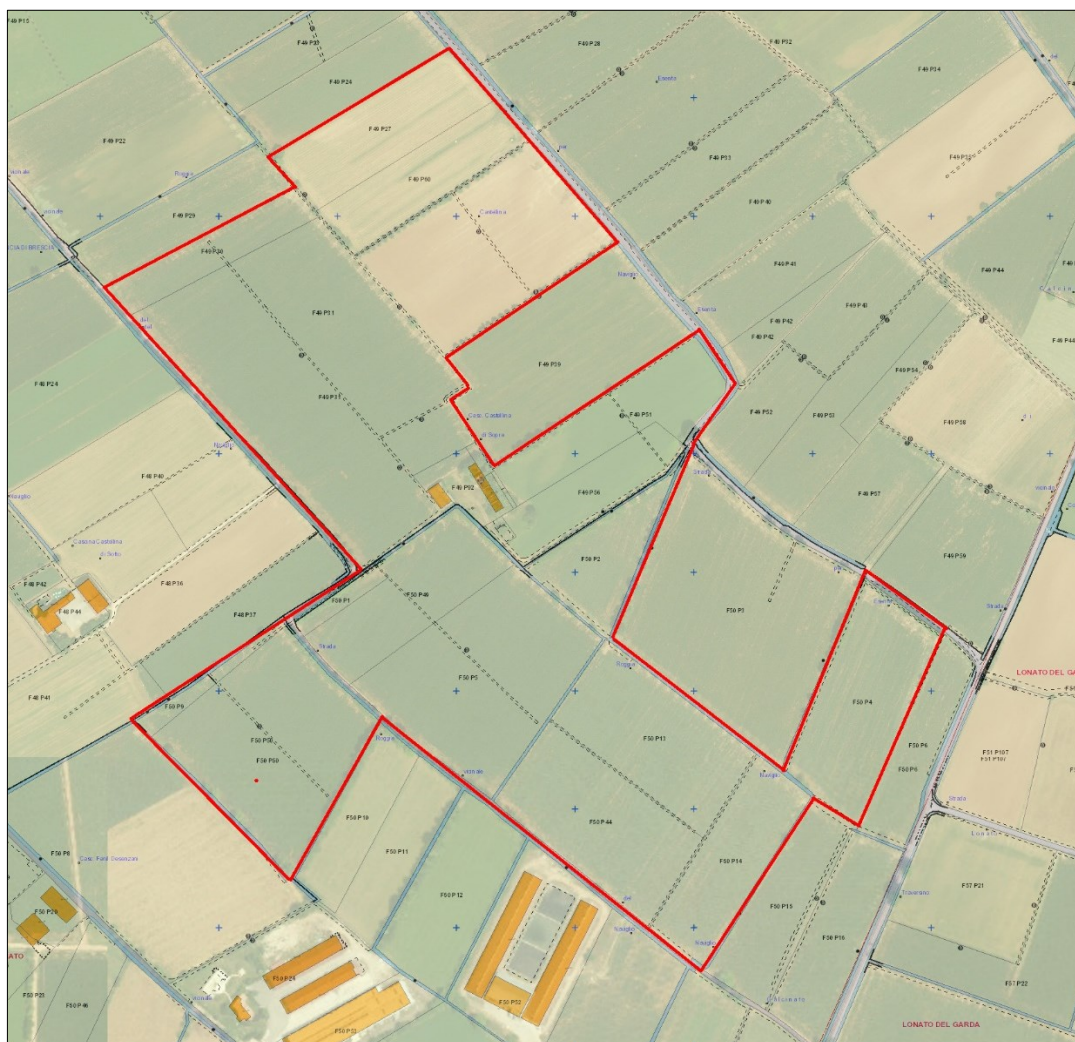


Fig. 1 - Individuazione dell'area oggetto d'interesse su mappa catastale e satellitare
(fonte Viewer Geografico Regione Lombardia).

L'area di progetto si colloca in un ambito a morfologia subpianeggiante posta immediatamente all'esterno dell'apparato morenico del Garda, nel settore orientale del territorio comunale. L'area è inserita in un contesto a vocazione essenzialmente rurale e si estende in posizione pressoché intermedia tra le frazioni di Colomberino ed Esenta di Lonato d/G.

Il settore in esame è insediato su un territorio contraddistinto da bassa densità abitativa in quanto destinato ad attività agricole e zootecniche.

Il territorio di Calcinato si colloca nelle immediate vicinanze del Basso Garda Bresciano, nell'ambito dell'anfiteatro morenico del Garda, caratterizzato da un complesso ambiente deposizionale di origine glaciale formatosi a seguito del verificarsi di fasi glaciali e interglaciali susseguitesesi in epoca Quaternaria. In particolare le cerchie più interne sono riferite alla fase glaciale di età *Würmiana* mentre quelle più esterne sono attribuite alla fase di età *Rissiana*, anche se non esiste uniformità di classificazione delle cerchie moreniche con le singole glaciazioni da parte dei diversi autori.

I depositi glaciali, che costituiscono le colline moreniche sono caratterizzati da materiali eterogenei a deposizione caotica (ghiaie, sabbie e ciottoli, limi e argille), a supporto di matrice, nel quale sono presenti, frequentemente, trovanti di grosse dimensioni tipici dell'ambiente deposizionale glaciale.

Durante le fasi interglaciali lo scioglimento delle masse glaciali originavano torrenti fluvio-glaciali che smantellavano i cordoni morenici già formati e deponevano il materiale nelle depressioni rimaste entro le diverse cerchie, formando delle valli di dimensioni variabili e di spessore maggiore nelle aree depocentrali. I depositi fluvio-glaciali sono generalmente costituiti da ghiaie e sabbie eterogenee, spesso a deposizione stratificata o gradata, con frazione fine limosa e/o argillosa in percentuale variabile, intercalati da lenti e/o livelli più francamente sabbioso limosi o limoso argillosi.

Laddove l'energia del trasporto delle acque di scioglimento glaciale era minore, si verificava la deposizione di depositi glaciolacustri di depressione intermorenica costituiti generalmente da materiale prevalentemente fine sabbioso e sabbioso limoso, con frazione ghiaiosa subordinata, a disposizione stratificata o gradata. Nelle aree di basso topografico relativo, sono presenti depositi fini e/o torbosi legati alla presenza di specchi lacustri intermorenici, tuttora presenti o bonificati in tempi storici.

I depositi alluvionali/fluvio-glaciali caratteristici dell'area in esame, si sono formati attraverso il trasporto e deposizione dei torrenti originati dai fronti glaciali degli apparati glaciali Gardesano e del Sebino, e costituiscono l'attuale Livello fondamentale della Pianura Bresciana (Wurm).

L'area d'indagine è ubicata all'esterno dell'anfiteatro morenico dove, trasportati dalle acque di scioglimento glaciale, si sono formati depositi fluvio-glaciali a formare un'ampia pianura proglaciale, corrispondente alla piana di Campagna-Esenta, caratterizzata sostanzialmente da ampie conoidi fluvio-glaciali-fluviali, i cui depositi si interdigitano, verso sud, con i depositi alluvionali della Pianura Padana, mentre verso ovest sono contenuti entro la cerchia morenica esterna, più antica, di Montichiari-Calcinato. Tali depositi sono costituiti prevalentemente da spessori considerevoli, anche dell'ordine di centinaia di metri, di ghiaie e sabbie eterogenee, generalmente a deposizione stratificata, nell'ambito dei quali si rinvenivano lenti e livelli sabbioso-limosi associate a fasi deposizionali di minore energia.

L'area d'indagine è ubicata quindi nella porzione pianeggiante immediatamente a Sud-Ovest dei rilievi morenici dell'abitato di Lonato d/G, ed è caratterizzata da depositi fluvio-glaciali frontali alle cerchie interne (Fig. 2), rappresentati da ghiaie con ciottoli

arrotondati a supporto di clasti o di matrice in genere sabbiosa. Talvolta possono essere presenti in superficie livelli di limitato spessore di limi sabbiosi, associati a fasi deposizionali di minore energia.

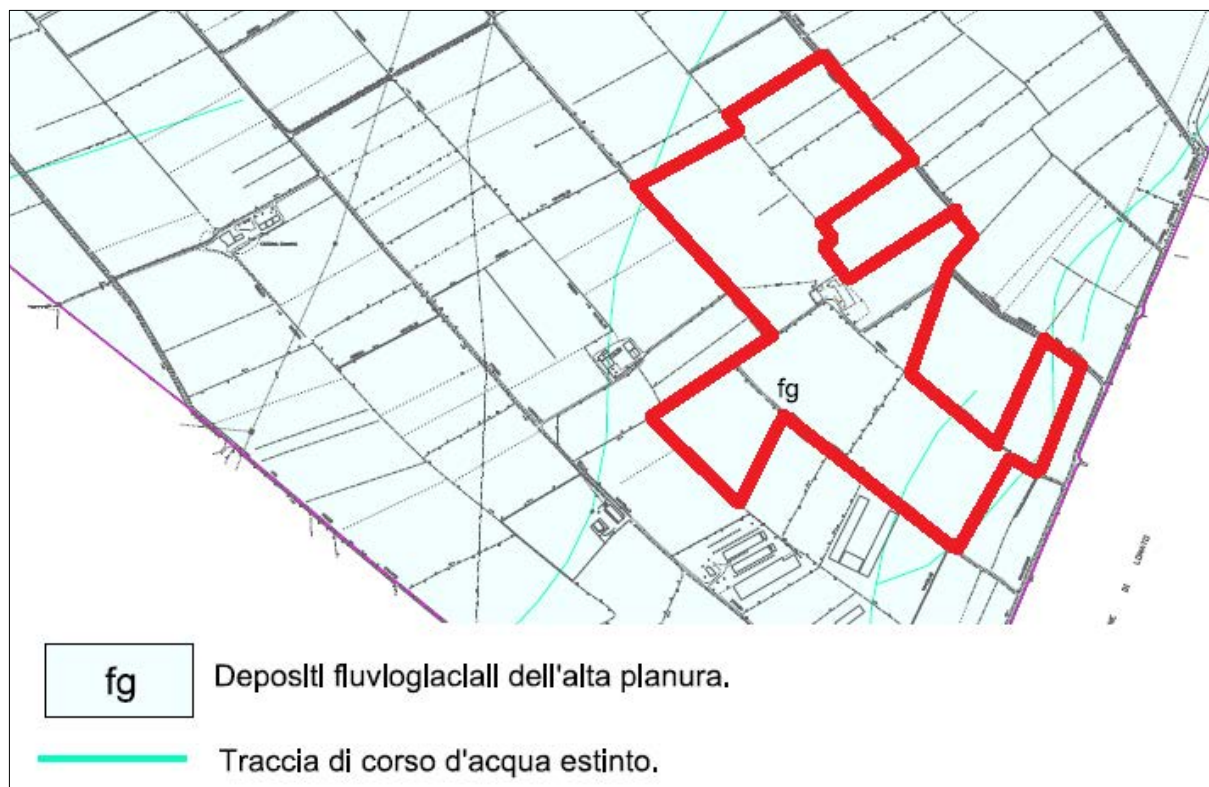


Fig. 2 - Stralcio della "Carta Geologica e Geomorfologica" (Tav. All_GE001b-Var2), allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

2.2 Assetto Geomorfológico

L'**assetto geomorfologico** del settore meridionale gardesano è caratterizzato quindi dalla presenza di cerchie moreniche concentriche al lago, talvolta discontinue a morfologia piuttosto arrotondata. Il modellamento dei cordoni morenici, avvenuto ad opera degli scaricatori fluvio-glaciali, ha prodotto piane e valli intermoreniche talora piuttosto articolate. L'arretramento delle lingue glaciali secondo più fasi, può aver comportato la formazione di depressioni tra archi morenici adiacenti, con conseguente ristagno d'acqua ed individuazione di depressioni intermoreniche e laghi di fronte glaciale.

Il territorio di Calcinato comprende due differenti ambiti geomorfologici, il primo corrisponde al settore collinare riferibile all'entroterra morenico e alle sue varie fasi evolutive. Tale ambito è caratterizzato da una cerchia collinare esterna (Unità di Sedena) piuttosto discontinua e poco pronunciata, a cui si sovrappone una cerchia più continua (cerchia esterna dell'unità di Solferino) e, frapposta tra questa ed il lago, delle alture collinari discontinue (cerchie interne dell'unità di Solferino). Questi sistemi di alture collinari moreniche sono stati parzialmente "smantellati" dall'azione erosiva fluvio-glaciale operata dagli scaricatori fluviali che raccoglievano le acque di scioglimento glaciali, dalla successiva imposizione della rete idrografica olocenica, e dall'attività di modellamento antropica.

Il secondo ambito, all'interno del quale ricade il lotto d'interesse, è riferibile alla piana fluvio-glaciale di Calcinato, caratterizzata da un ampio settore da pianeggiante a subpianeggiante, formatosi probabilmente a seguito del ritiro dei ghiacciai più antichi (fase di Carpenedolo) e successivamente recettore delle acque di scioglimento dei ghiacciai delle fasi più recenti, nonché della successiva rete idrografica olocenica. Lo sfruttamento agricolo di questo vasto settore pianeggiante ha comportato lo sviluppo di una rete idrografica artificiale piuttosto imponente che ha interessato in maniera capillare il territorio.

Nell'ambito della piana sono presenti limitate ondulazioni topografiche, soprattutto a ridosso dei versanti morenici, legate in origine allo scorrimento canalizzato delle acque di scioglimento glaciale e successivamente allo sviluppo di alcuni corsi d'acqua olocenici provenienti dall'ambito morenico. Il transito verso le condizioni climatiche attuali ha sostituito i fenomeni geomorfici legati all'idrografia superficiale ed alla gravità a quelli prettamente glaciali, apportando ulteriori modifiche al paesaggio. In tempi recenti, l'azione antropica di modifica della topografia, ha portato il territorio all'attuale configurazione.

Il sito in esame ricade in pieno nell'ambito dell'ampia piana fluvio-glaciale e l'area di intervento, nel complesso sub-pianeggiante con debole gradiente topografico verso Sud-Ovest, risulta stabile e non interessata da fenomeni geomorfici in atto di alcun tipo.

2.3 Caratteri Idrogeologici locali e soggiacenza del livello di falda

L'assetto idrogeologico del territorio lonatese è legato alla circolazione idrica sotterranea che si instaura in funzione della permeabilità delle unità litologiche sopra descritte e ai loro rapporti stratigrafici.

Nell'area identificata come piana orientale di Calcinato, il modello idrogeologico di riferimento per il settore di pianura è quello di un acquifero di tipo multistrato, circolante entro i depositi quaternari, in cui i diversi orizzonti acquiferi sono costituiti da livelli ghiaioso-sabbiosi e conglomeratici fessurati separati da intervalli argillosi, argilloso-limosi o conglomeratici compatti (aquitardi). In generale, nel modello idrogeologico di riferimento si può riconoscere un acquifero superficiale corrispondente per lo più alla falda freatica, di norma bene alimentata e con una buona potenzialità che si sviluppa entro l'unità fluvio-glaciale ghiaioso-sabbiosa. L'alimentazione della falda freatica deriva essenzialmente dall'infiltrazione diretta delle acque meteoriche nelle zone di ricarica, che comprendono anche la pianura fluvio-glaciale esterna alla cerchia di Lonato, e dall'apporto degli acquiferi circolanti negli ambiti collinari. La soggiacenza della falda freatica subisce delle naturali oscillazioni stagionali in funzione della piovosità con valori massimi di norma posti in corrispondenza del periodo primaverile. Nel periodo autunnale, invece, si registrano i valori di minima soggiacenza.

Più in profondità sono presenti falde confinate o semiconfinite contenute negli acquiferi ghiaioso-sabbiosi o ghiaioso-conglomeratici compresi tra intervalli prevalentemente limoso-argillosi. Nella piana di Calcinato le falde medie sono separate da quelle profonde da un livello argilloso-limoso e/o conglomeratico, talora discontinuo, che costituisce localmente la base del sovrastante acquifero freatico.

Per il controllo della soggiacenza della falda freatica nell'area in oggetto, sono stati reperiti i dati delle misure dei livelli piezometrici relative ai pozzi esistenti sul territorio entro un adeguato intorno dell'area di studio.

Nell'area oggetto di indagine, dati provenienti dai pozzi ubicati nella medesima piana fluvio-glaciale, pongono la falda freatica, non sfruttata, con Livello Statico a circa -36/-50 m

di profondità dal p.c. e, come evidenziato dalle stratigrafie dei pozzi in allegato al presente studio (*Sito 1 e Sito 3*) le falde medie, quelle in questo caso sfruttate, si attestano a partire da circa -87 m di profondità dal p.c. Le misure riportate devono tenere conto di un possibile innalzamento/abbassamento di circa 3,0/4,0 m rispetto al livello piezometrico misurato.

Per l'area di cava è pertanto possibile assegnare un valore di massimo innalzamento della superficie piezometrica compreso tra circa -30,0 m e -32,0 m di profondità dal piano campagna esistente alla data dei rilievi (94/92 m s.l.m.).

Il gradiente idraulico appare di poco inferiore a quello topografico.

Eventuali progetti di coltivazione dovranno prevedere il rispetto di un franco di 2,0 m dalla quota sopra riportata.

2.4 Permeabilità dei terreni e vulnerabilità degli acquiferi

La permeabilità di un terreno è essenzialmente funzione della sua porosità efficace e viene espressa dal coefficiente di permeabilità (k).

Nell'area di progetto, si ha la presenza, oltre un primo orizzonte di copertura vegetale e/o terreni rimaneggiati, di depositi grossolani fluvioglaciali (prevalentemente ghiaioso-sabbiosi) a permeabilità da medio a elevata con valori del coefficiente di permeabilità compresi, per le sequenze ghiaioso-sabbiose, tra 10^{-3} m/sec e 10^{-5} m/sec.

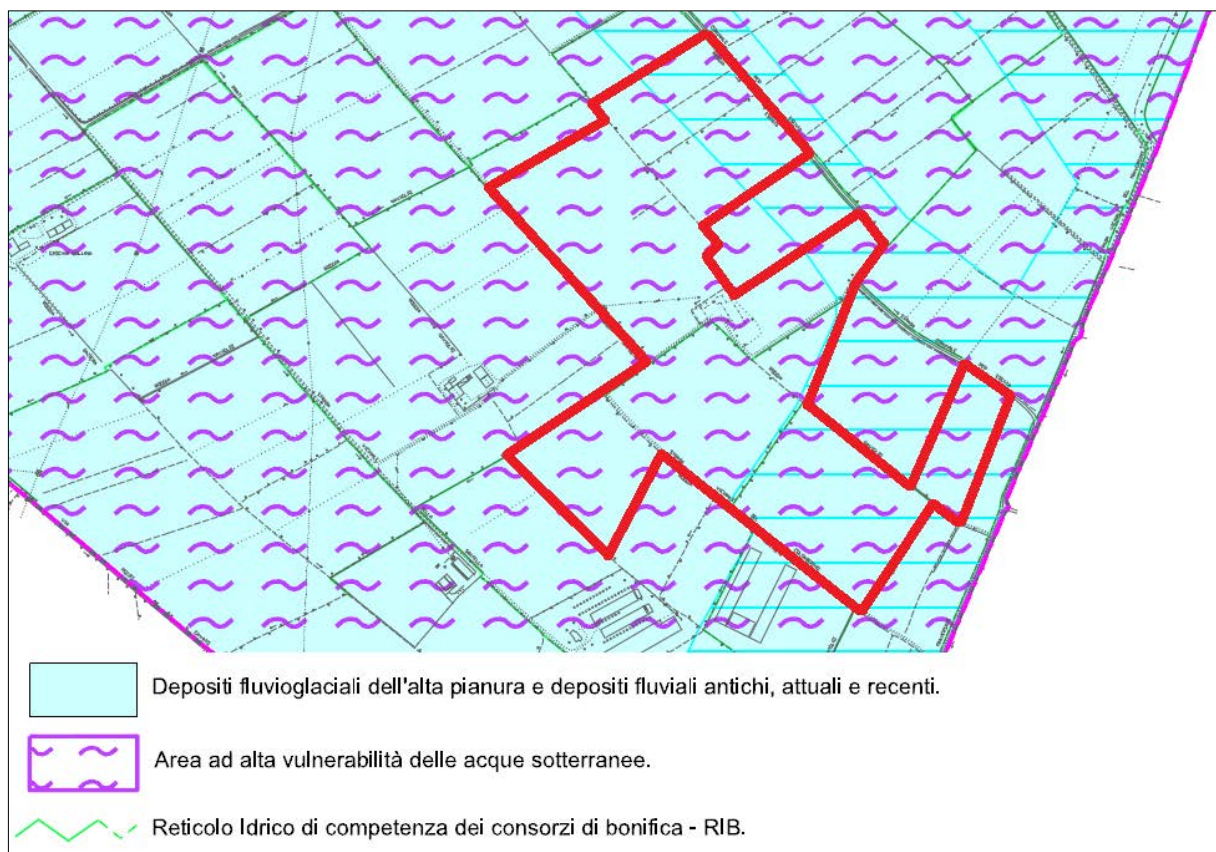


Fig. 3 - Stralcio della "Carta Idrogeologica e del Sistema Idrografico" (Tav. All_GEO02-Var2-rev01), allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

La presenza di eventuali livelli limoso-argillosi a bassa permeabilità può ostacolare localmente la filtrazione idrica verticale. A tal proposito, si segnala inoltre che a seguito dell'esecuzione di specifiche indagini in sito e di prove di permeabilità a carico variabile eseguite dal sottoscritto in un'area limitrofa (vedi stratigrafie in allegato – Sito 4), ed inserite nel medesimo contesto idrogeologico, è stata riscontrata la presenza di livelli superficiali fini limoso argillosi fino a circa -1,90/-2,20, con valori di permeabilità da bassi ($2,7 \times 10^{-6}$ m/s) a medio-bassi ($0,9 \times 10^{-5}$ m/s) con mediocri capacità di drenaggio.

All'interno della Carta Idrogeologica allegata allo studio geologico del PGT del Comune di Calcinato (**Fig. 3**) si segnala, un grado di vulnerabilità mediamente alto, in quanto si è tenuto conto del medio-basso grado di protettività dei suoli, molto permeabili, pur compensato, come nell'area oggetto di studio, da un'elevata profondità della prima falda acquifera.

2.5 Rete Idrografica locale

La rete idrografica superficiale della piana fluvio-glaciale occidentale è alimentata dal F. Chiese ed è composta da una fitta rete artificiale di canali e rogge irrigue di cui il Canale d'Arnò, il Vaso Serio e la Roggia Calcinata costituiscono gli elementi più importanti che alimentano i colatori e i fossi irrigui di gerarchia minore del reticolo idrico consortile del Consorzio Medio Chiese. Il reticolo è caratterizzato principalmente da corsi d'acqua, intrecciati tra loro e spesso costituiti da canalette in prefabbricato, da tratti con alveo artificiale o da tratti intubati, soprattutto in corrispondenza delle strade principali. Le rogge, pur rivestendo una funzione irrigua prevalente, attraverso sistemi di saracinesche manuali, in concomitanza di eventi piovosi di una certa intensità raccolgono le acque piovane e regolamentano il deflusso idrico. I tracciati dei corsi d'acqua, della suddetta piana fluvio-glaciale, seguono l'andamento e la forma dei campi e posseggono pendenze delle aste fluviali che risultano molto limitate, di conseguenza il deflusso delle acque avviene lentamente, con scarsa capacità erosiva. Per i corsi d'acqua afferenti alla rete consortile la portata viene controllata e regimata dal Consorzio Medio Chiese, in funzione dei quantitativi richiesti nei vari periodi dell'anno.

In prossimità dell'area di progetto sono presenti più elementi idrografici di competenza consortile (Consorzio di Bonifica "Medio Chiese"), come previsto nell'*Elaborato Tecnico Normativo del Reticolo Idrico Minore del Comune di Calcinato* (Consorzio di Bonifica Medio Chiese – Settembre 2012). Essi scorrono prevalentemente in corrispondenza dei confini catastali dell'area di studio (**Fig. 3**).

A tal proposito, secondo quanto prescritto sia all'interno del suddetto Studio del Reticolo Idrografico comunale vigente, integrato ed aggiornato successivamente nello Studio Geologico allegato al P.G.T. di Calcinato, tali fasce *"non istituiscono una "tutela", ma attribuiscono la "competenza" al Consorzio di Bonifica Medio Chiese demandando alle specifiche normative le attività vietate e/o soggette a concessione. Il Consorzio indicherà, di volta in volta, le distanze da mantenere rispetto al corso d'acqua artificiale in funzione della tipologia d'intervento oggetto della richiesta nonché della tipologia del corso d'acqua stesso sulla scorta dell'attuale normativa di riferimento"*.

Pertanto, si rimanda al parere del Consorzio di Bonifica Medio Chiese, sulla necessità di istituire per tali corpi idrici, specifiche normative, autorizzazioni e/o interventi specifici da operare in merito alla realizzazione di un nuovo A.T.E. entro i limiti territoriali descritti.

2.6 Piano di Gestione Rischio Alluvioni

Il **Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)** è lo strumento operativo previsto dalla legge italiana, in particolare dal d.lgs. n. 49 del 2010, che dà attuazione alla Direttiva Europea 2007/60/CE, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali. Esso deve essere predisposto a livello di distretto idrografico.

Per **alluvione** si intende qualsiasi evento che provoca un allagamento temporaneo di un territorio non abitualmente coperto dall'acqua, purché direttamente imputabile a cause di tipo meteorologico. Per il Distretto Padano, cioè il territorio interessato dalle alluvioni di tutti i corsi d'acqua che confluiscono nel Po, dalla sorgente fino allo sbocco in mare, è stato predisposto il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po (PGRA-Po).

Il PGRA, adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po con delibera n. 4 del 17 dicembre 2015 e approvato con delibera n. 2 del 3 marzo 2016 è definitivamente approvato con d.p.c.m. del 27 ottobre 2016, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 30, serie Generale, del 6 febbraio 2017.

I dati in termini di pericolosità e di rischio da alluvione, in attuazione a quanto disposto dal D.Lgs. 49/2010 e dai successivi indirizzi del Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, come previsti nell'ultimo Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po, individuano la porzione sud-orientale dell'area oggetto d'interesse (*Mappali 4, 13, 14, 44 – Foglio 50*), all'interno dello scenario di Pericolosità elevata "H" (P3) riferita al consorzio "07 Mella e Chiese" (RSP), caratterizzato da un'alta probabilità di ricorrenza di fenomeni alluvionali (**Fig. 4**).

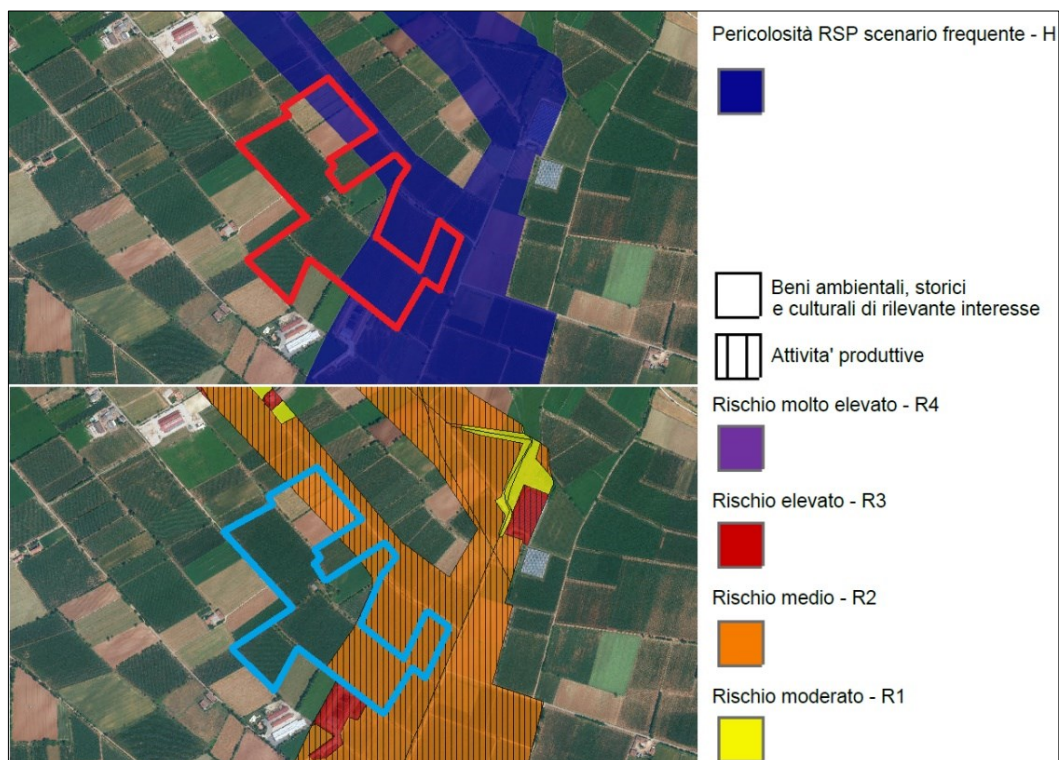


Fig. 4 - Stralcio della Mappa degli Scenari di Pericolosità da alluvione e Mappa del Rischio Alluvioni stralciate dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po (Ottobre 2016).

Fonte Viewer Geografico del Geoportale della Regione Lombardia.

Tali scenari sono stati successivamente integrati nel recente aggiornamento della Componente Geologica Idrogeologica e Sismica di Calcinato (Aggiornamento Gennaio 2018). Di conseguenza, all'interno delle *Norme Geologiche di Piano* del suddetto studio, e all'interno della *"Carta della Fattibilità Geologica per le azioni di Piano"* (Tav. All_GEO06b-Var2), allo scenario in questione (P3/H, ambito RSP) è stato ricompreso all'interno della sottoclasse di **fattibilità geologica "3c"** (vedi **Fig. 17**), la quale prevede testualmente:

- *"Eventuali interventi edilizi sono subordinati alla realizzazione di uno studio di compatibilità idraulica che l'Amministrazione comunale è tenuta ad acquisire in sede del rilascio del titolo edilizio. Tale studio è finalizzato a definire i limiti e gli accorgimenti da assumere per rendere l'intervento compatibile con le criticità rilevate, in base al tipo di pericolosità e al livello di esposizione locali. Detto studio può essere omesso per gli interventi edilizi che non modificano il regime idraulico dell'area allagabile, accompagnando il progetto da opportuna asseverazione del progettista (es. recupero di sottotetti, interventi edilizi a quote di sicurezza)".*
- *"va garantita l'applicazione di misure volte al rispetto del principio dell'invarianza idraulica, finalizzate a salvaguardare e non peggiorare la capacità ricettiva del sistema idrico e a contribuire alla salvaguardia del territorio".*

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

A supporto della presente relazione tecnica, sono stati presi in considerazione i dati derivanti da precedenti lavori eseguiti dal sottoscritto (Sito 1) e indagini geognostiche (Sito 2 e Sito 3) realizzate in siti diversi, ubicati in aree limitrofe e ricadenti in un contesto geologico omologo a quello oggetto di studio (vedi **Tavv. 1 e 2**).

Tali indagini hanno permesso di raggiungere i seguenti obiettivi:

- ✓ Caratterizzazione geotecnica dei terreni e verifica della presenza di un'eventuale falda acquifera superficiale
- ✓ Modello sismostratigrafico e caratterizzazione sismica del sito

Di seguito si elencano le indagini prese in considerazione nel presente studio:

DENOMINAZIONE SITO	UBICAZIONE	INDAGINI ESEGUITE
SITO 1	Via Malocche ang. Via Fossa - Lonato d/G	<ul style="list-style-type: none">• n°3 prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH).• n°1 Pozzo• n°1 stendimento di sismica attiva MASW• n°1 indagine sismica passiva HVSr• n°1 Pozzo
SITO 2	Via Malocche - Lonato d/G	<ul style="list-style-type: none">• n°2 prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH).
SITO 3	Via Colombara Loc. Trivellino - Lonato d/G	<ul style="list-style-type: none">• n°1 Pozzo

Le indagini sono state eseguite secondo le prescrizioni e gli oneri contenuti nelle *Raccomandazioni A.G.I. (1977)* ed alla presenza costante del sottoscritto, geologo abilitato.

I dati derivanti dalle prove in situ riassunti nei diagrammi in allegato, sono riferiti al piano campagna dell'area di indagine, presente alla data delle indagini.

3.1 Prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH)

Metodologia ed attrezzatura di prova

La prova penetrometrica dinamica SCPT (*Standard Cone Penetration Test*) è una prova puntuale che consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta di acciaio prolungabile ad una batteria di aste, e misurare il numero di colpi N_{SCPT} necessari per la penetrazione di 30 cm della punta, nel corso della prova. La diffusione di questo tipo di prova e la sua standardizzazione consentono, attraverso l'utilizzo di alcune correlazioni di bibliografia, di ottenere una soddisfacente caratterizzazione dei terreni indagati ed un'interpretazione dei fondamentali parametri geotecnici.

Nello specifico sono state considerate un totale di **n° 5 prove penetrometriche**, eseguite presso le aree di indagine Sito 1 e Sito 2 (vedi **Tavv. 1 e 2**) mediante Penetrometro DINAMICO SUPERPESANTE DPSH (Dinamic Penetrometer Super Heavy) *Tipo Emilia* - mod. *Pagani TG 63/200*, con avanzamento delle aste e dei rivestimenti ogni 30 cm.

Dal valore di N_{SCPT} (numero di colpi per 30 cm di infissione delle aste) può essere ricavato il corrispondente valore di $N_{S.P.T.}$ mediante la relazione: $N_{S.P.T.} = N_{DPSH}/C$. Il coefficiente C è un fattore dipendente dalla litologia dei terreni attraversati durante la prova e dall'attrezzatura utilizzata.

Penetrometro dinamico-statico super pesante Tipo: Emilia – Modello: Pagani TG 63-200	
Massa battente (M)	73,0 kg
Altezza di caduta del maglio (H)	0,75 m
Avanzamento aste (δ)	30 cm
Apertura punta conica di infissione (α)	60°
Diametro punta conica di infissione (D)	50,5 mm
Base cono di infissione (A)	20 cm ²
Diametro batteria d'aste (d)	34 mm
Lavoro specifico compiuto per ciascuna battuta (L)	234 kJ/m ²

Fig. 5 - Caratteristiche della strumentazione utilizzata.

3.2 Scavi esplorativi

Metodologia di esecuzione

Sono stati presi in considerazione per il presente studio, **n° 2 scavi esplorativi**, eseguiti in un sito immediatamente adiacente all'area di studio, per la caratterizzazione stratigrafica del sottosuolo d'interesse e per l'esecuzione di prove di permeabilità dei terreni (SC1-P1 e SC2-P2). Gli scavi, sono stati ubicati in modo da essere complementari alle informazioni geotecniche desumibili dalle prove eseguite contestualmente ai saggi esplorativi. Gli scavi hanno raggiunto una profondità massima di -1,65 dal p.c. (SC2), necessaria a raggiungere gli obiettivi preposti e ad indagare gli orizzonti stratigrafici superficiali la determinazione delle caratteristiche di permeabilità dei terreni.

La stratigrafia riscontrata risulta pienamente corrispondente alle caratteristiche dei terreni superficiali individuati con le prove penetrometriche. La descrizione dei terreni è stata eseguita utilizzando il “criterio granulometrico” fissato per la descrizione delle terre dalle (AGI 1977), secondo cui il terreno viene denominato gerarchicamente con il nome della frazione percentuale maggiore. Successivamente, la frazione gerarchicamente inferiore viene preceduta dal termine “con” se la percentuale è compresa tra il 25% e il 50% oppure seguita dal suffisso “... oso” se la percentuale è compresa tra il 10% e il 25%, oppure dal suffisso “debolmente ...oso” se la percentuale è compresa tra il 5% e il 10%. Le frazioni inferiori al 5% sono indicate con “... in tracce”.

3.3 Permeabilità dei terreni

Per la definizione delle caratteristiche di permeabilità dei terreni presenti in sito, sono state prese in considerazione **n°2 prove di permeabilità a carico variabile**, all’interno dei relativi scavi esplorativi (Vedi stratigrafia in allegato).

Metodologia ed esecuzione della prova

Le prove di permeabilità forniscono una valutazione della permeabilità dei terreni superficiali al di sopra del livello di falda e vengono solitamente eseguite in pozzetti a base rettangolare con pareti verticali, sui quali viene calcolato il lato equivalente di un teorico pozzetto a base quadrata, esse possono essere di due tipologie:

- prove a carico costante, effettuate cioè riempiendo d’acqua il pozzetto e misurando la portata necessaria per mantenere costante il livello;
- prove a carico variabile, effettuate misurando la velocità di abbassamento in funzione del tempo.

Le prove, in questo caso di tipo a carico variabile, sono state eseguite mediante riempimento del fondo scavo con acqua per un’altezza pari a circa 0,28 m, con misura della velocità di abbassamento del livello idrico in funzione del tempo.

La stima del *coefficiente di permeabilità* (k), per un pozzetto a base quadrata equivalente, viene ricavata utilizzando la seguente formula:

$$k = \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} \frac{1 + \left(2 \frac{h_m}{b}\right)}{\left(27 \frac{h_m}{b} + 3\right)} \quad (\text{m/s})$$

in cui:

b = lato della base del pozzetto a forma quadrata equivalente

$t_2 - t_1$ = intervallo di tempo

$h_2 - h_1$ = variazione del livello dell’acqua nell’intervallo di tempo $t_2 - t_1$

h_m = altezza media dell’acqua nel pozzetto

Interpretazione dei risultati

Vengono di seguito riportati i valori del coefficiente di permeabilità (k) ricavati dalle prove:

SCAVO/PROVA	PROFONDITÀ DEL TRATTO DI PROVA (m da p.c.)	LITOLOGIA	PERMEABILITÀ K
S1/P1	Da -1,92 a -2,20	Ghiaia con sabbia e limo debolmente argillosa	$0,9 \times 10^{-5} \text{ m/s}$
S2/P1	Da -1,60 a -1,90	Limo argilloso ghiaioso-sabbioso	$2,7 \times 10^{-6} \text{ m/s}$

Sulla base dei dati raccolti dalle due prove in situ, al sottosuolo, interessato dalla realizzazione di sistemi di dispersione delle acque meteoriche, costituito da terreni vegetali prima e da depositi glaciali dopo, sono attribuiti valori di permeabilità da bassi (Unità V - $2,7 \times 10^{-6} \text{ m/s}$) a medio-bassi (Unità A - $0,9 \times 10^{-5} \text{ m/s}$) con mediocri capacità di drenaggio.

Interpretazione dei dati

Si ritiene che le indagini prese in considerazione nel presente studio risultino sufficientemente rappresentative dei terreni indagati. Le metodologie ed i risultati dei dati considerati hanno permesso di definire un modello stratigrafico medio dell'area investigata.

Le evidenze lito-stratigrafiche delle verticali d'indagine e il grado di addensamento dei terreni attraversati, derivati dai dati considerati in aree limitrofe, sono di seguito riassunti:

MODELLO GEOLOGICO LOCALE

	Unità stratigrafica	Caratteristiche litologiche	Denominazione AGI
STRATO 1 da 0,0 a -0,5/-1,0 m	Unità S	Terreno superficiale vegetale e/o rimaneggiato limoso-ghiaioso e a tratti argilloso	Scarsamente addensato
STRATO 2 Oltre -0,5/-1,0 m	Unità A	Depositi Fluvioglaciali ghiaioso sabbiosi in debole matrice limosa con ciottoli	Da moderatamente addensato ad addensato

Durante l'avanzamento delle indagini geognostiche considerate non sono stati riscontrati livelli di umidità. A tal proposito, a seguito della consultazione dei dati relativi alla piezometria riportati all'interno dello studio Geologico del P.G.T. dei comuni di Calcinato e Lonato d/G, e dalle stratigrafie dei pozzi in allegato al presente elaborato (Sito 1 e Sito 3), si ipotizza la presenza continua di corpi idrici, a partire da almeno -36/-50 m di profondità dal p.c. presente alla data delle indagini. Pertanto, si segnala che le eventuali opere di scavo ed attività estrattive previste, non interferiranno in alcun modo con fenomeni di circolazione d'acqua sotterranei.

3.4 Prospezioni sismiche e modello sismostratigrafico

Per la verifica del comportamento sismico dei terreni interessati dal progetto sono stati utilizzati dati provenienti da n° 1 prospezione sismica multicanale con acquisizione ed elaborazione dei dati mediante metodologia MASW e misura di microtremiti sismici ambientali mediante tecnica HVSR, eseguita presso il Sito 1 d'indagine (Crestana S.r.l.s. - Settembre 2018) e nel medesimo scenario di Pericolosità Sismica Locale.

Nello specifico, lo stendimento sismico utilizzato è stato eseguito in un lotto posto a circa 900 m in direzione NE dall'area di progetto, nel medesimo ambito geologico e nello stesso contesto di pericolosità sismica locale (Zona Z4a).

Mediante tali metodologie è stato possibile ricostruire l'**andamento medio delle onde Vs** in profondità ed eseguire la valutazione del parametro **Vs_{eq}** di sito, al fine di classificare il terreno di fondazione secondo il D.M. 17/01/2018, misurando eventualmente il periodo proprio di vibrazione di sito.

ANALISI HVSR

Cenni sulla metodologia HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. La prova a stazione singola, nota anche come prova Nakamura (1989), consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti.

Il risultato di questa prova è una curva sperimentale, che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi, sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza f_r relativa a quella configurazione stratigrafica (con f_r circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

Acquisizione dei dati

Nell'area d'indagine è stata eseguita, mediante tromometro a stazione singola, una misura di rumore sismico ambientale per un tempo di registrazione massimo di 15 minuti.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- un sistema di ricezione costituito da un tromometro CGE a 3 componenti geofoniche con frequenza propria di 2 Hz per acquisizioni del microtremore lungo la direzione verticale e le due direzioni orizzontali ortogonali.
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-*

1000); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms (campionamento eseguito a 4 ms). Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

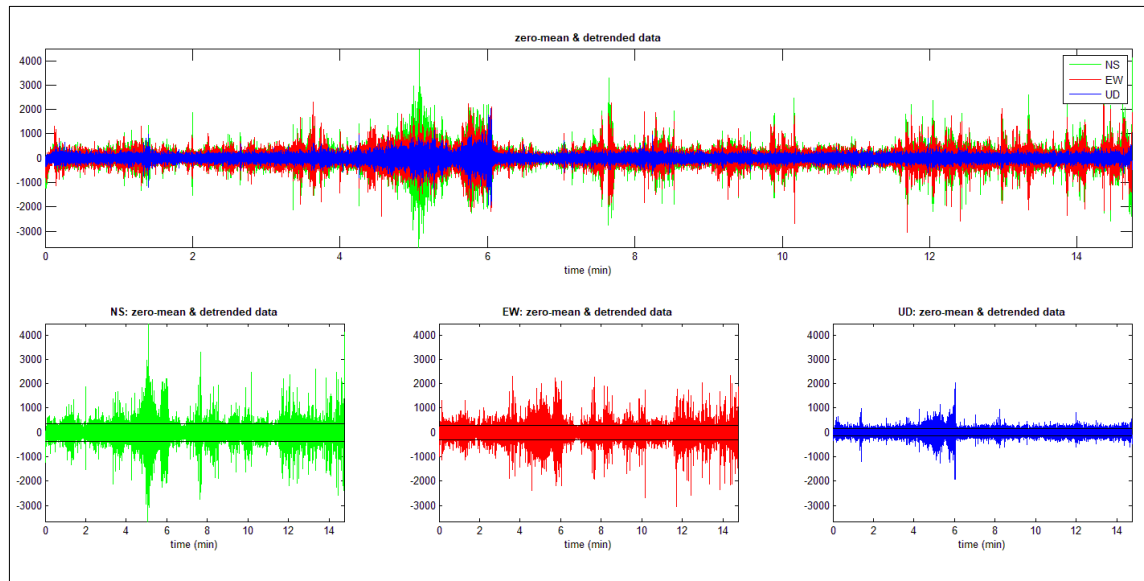


Fig. 6 - Visualizzazione dei dati originali prima della rimozione di eventi transienti.

Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

I risultati delle analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software *winMASW* versione *Acd 7.2*, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore, misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, l'acquisizione del rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 ms), per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto. La determinazione della curva HVSR ha previsto in sintesi i seguenti steps:

- 1) Eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi non conformi al rumore ambientale (transienti). Questa operazione produce una diminuzione della lunghezza del segnale analizzato.
- 2) Definizione della lunghezza degli intervalli entro cui calcolare le curve HVSR (20 ms).
- 3) Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto.
- 4) Operazione di smoothing degli spettri di Fourier.
- 5) Somma delle due componenti orizzontali x e y.
- 6) Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari.
- 7) Calcolo della curva HVSR media tra le N curve HVSR.

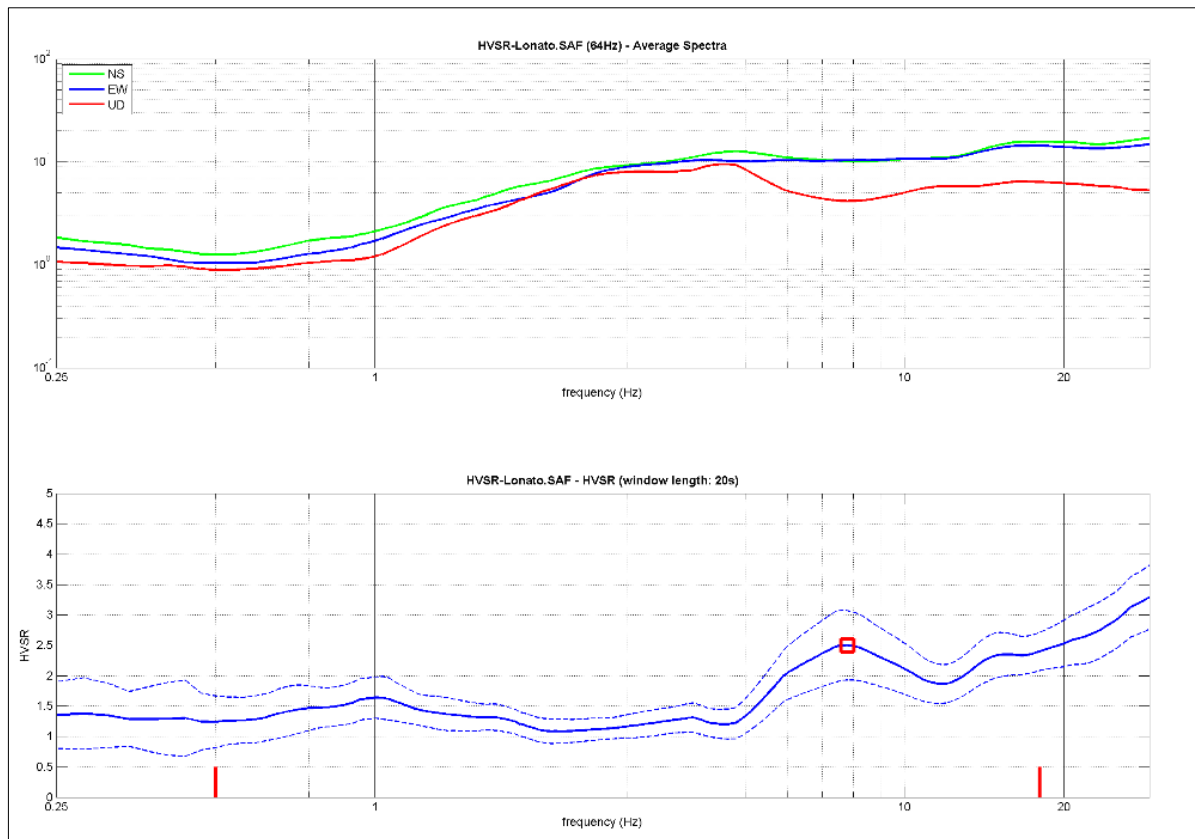


Fig. 7 - HVSr e spettro medio di ampiezza del sito indagato.

La curva HVSr riportata, indica un picco principale a circa 7,8 Hz; la sua validità viene verificata, mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto SESAME (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSr e degli eventuali picchi presenti).

Criteria for a reliable H/V curve (Criteri per una curva affidabile)

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: $7.789 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]$: $13397 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

Criteria for a clear H/V peak (Criteri per un picco H/V chiaro)

- #1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2]$: yes, at frequency 2.0Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2]$: (NO)
- #3. $[A_0 > 2]$: $2.5 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)
- #5. $[\sigma_{f_0} < \epsilon(f_0)]$: $6.217 > 0.389$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.572 < 1.58$ (OK)

Descrizione dei risultati

Il picco a 7,8 Hz, di ampiezza pari 2,5 rispetta tutti i criteri *SESAME* per una curva affidabile; tuttavia non è rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5 criteri su 6 per un picco chiaro, nonostante siano stati modificati, in diverso modo, i parametri di elaborazione affinché essi fossero tutti verificati.

Dall'analisi della curva HVSR, eseguita tra 0,5 Hz e 20 Hz (range utile ai fini ingegneristici) è quindi risultata una possibile frequenza principale attorno a 7,8 Hz.

Questa non può essere definita come certamente significativa ai fini dell'individuazione di una possibile frequenza di risonanza di sito. L'assenza di picchi di frequenza significativi è correlabile alla mancanza di forti contrasti di impedenza sismica all'interno della sequenza deposizionale indagata e/o all'aumento graduale, con la profondità, delle caratteristiche di addensamento dei terreni stessi. Alla luce dei risultati ottenuti si è pertanto opportunamente scelto di non modellare la curva HVSR per trarre informazioni di tipo sismostratigrafico.

INDAGINE SISMICA MASW

Cenni sulla metodologia MASW

Con una prospezione sismica *MASW* (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) si analizza il fenomeno della dispersione che le onde di superficie subiscono in un mezzo stratificato. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda (λ), quindi frequenza è, infatti, influenzata dalle proprietà che il sottosuolo attraversato possiede ed è detta *velocità di fase*. Le *MASW* attive sono realizzate tramite analisi delle onde di Rayleigh o di Love oppure, congiuntamente Rayleigh + Love. Queste rappresentano le onde di superficie prodotte dall'iterazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le onde di Rayleigh, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale, la classica martellata. Le onde di Love invece vengono acquisite mediante geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante l'indagine in oggetto lungo lo stendimento sismico sono state registrate per motivi operativi solo le componenti verticali delle onde di Rayleigh.

Il principio della tecnica *MASW* prevede che, poiché la dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo e dalle sue variazioni verticali, dalla determinazione delle curve di dispersione del segnale è possibile ricavare le caratteristiche fondamentali del mezzo quali ad esempio la velocità delle onde di taglio V_s e lo spessore degli strati. La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) infatti è correlabile alla V_s , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio. L'analisi del fenomeno della dispersione, che avviene attraverso la *curva di dispersione*, permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La curva di dispersione del *dataset* è ottenuta mediante il passaggio dal dominio *spazio-tempo* (sismogramma) al dominio *velocità di fase/frequenza* (spettro di velocità) effettuato mediante specifica operazione con software dedicato. Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi *MASW con analisi congiunta delle onde di Rayleigh e di Love*, risulti idonea alla definizione dei dati richiesti.

Acquisizione dei dati

L'ubicazione e la lunghezza dello stendimento è stato scelto in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro dell'area di progetto, eseguendo lo stendimento in corrispondenza del piano campagna esiste alla data delle indagini. L'allineamento sismico ha previsto una distanza tra i geofoni pari a 1 m ed una serie di scoppi esterni all'ultimo geofono con offset variabili (1-3-5-7-10-15 m) a diversa intensità di energizzazione.

L'acquisizione della componente verticale delle onde di Rayleigh è avvenuta mediante registrazione della propagazione del segnale sismico generato da una sorgente ad impatto verticale (martellata), tramite uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente verticale.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche direzionali e ricche di energia realizzata mediante la battuta verticale di una mazza battente di 10 kg su piastra;
- un sistema di ricezione costituito da uno stendimento di 24 geofoni a movimento verticale (*Geospace GS11D*) a frequenza di 4,5 Hz e tripode in alluminio, collegati mediante un cavo multielettrodo;
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms. Il sistema di acquisizione è completato da dispositivo di *trigger*, computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

Determinazione degli spettri di velocità ed individuazione delle curve di dispersione

La stima dell'andamento in profondità delle velocità V_s , mediante acquisizione sismica multicanale è ottenuta tramite l'analisi del segnale nel dominio frequenza/velocità di fase.

Viene utilizzato lo spettro di velocità in quanto è il dominio dove è chiaramente più immediato e naturale comprendere le proprietà dispersive del mezzo attraversato, determinando con precisione la velocità di ciascuna componente del segnale registrato.

Dopo aver scelto quindi il sismogramma più idoneo, quello solitamente con il miglior rapporto *segnale/rumore*, si esegue una trasformata dal dominio *spazio/tempo* al dominio *frequenza/velocità* (**Fig. 8**).

Particolare attenzione nell'interpretazione delle curve di dispersione è posta in considerazione del fatto che le vibrazioni indotte dalle onde di superficie sono correlabili a diversi *modi*, che possono sovrapporsi all'interno dello spettro di velocità. Se tale sovrapposizione avviene, come in questo caso, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione. Al fine di individuare i modi correlabili alla reale successione stratigrafica è stato scelto di eseguire ed analizzare più scoppi sismici ad Offset minimi variabili. Tutte le curve di dispersione sono state quindi visionate prima di procedere al processing del dataset prescelto (*file6.dat*). I modi superiori, se correttamente riconosciuti, come in questo caso, concorrono ad elaborare un modello maggiormente vincolato e preciso.

Nel caso in esame, sono stati individuati il "*modo fondamentale e il primo modo superiore*", utilizzati per la successiva modellazione della curva di dispersione.

Procedure di modellazione diretta e analisi congiunta Rayleigh

Analizzato il sismogramma e il rispettivo spettro di velocità si è proceduto alla ricostruzione della distribuzione verticale delle Vs. Partendo dalla curva di dispersione delle onde di Rayleigh è stato ricostruito il modello che è responsabile di quella curva, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna.

Lo spettro di velocità di fase è stato interpretato identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso (**Fig. 8**). Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti.

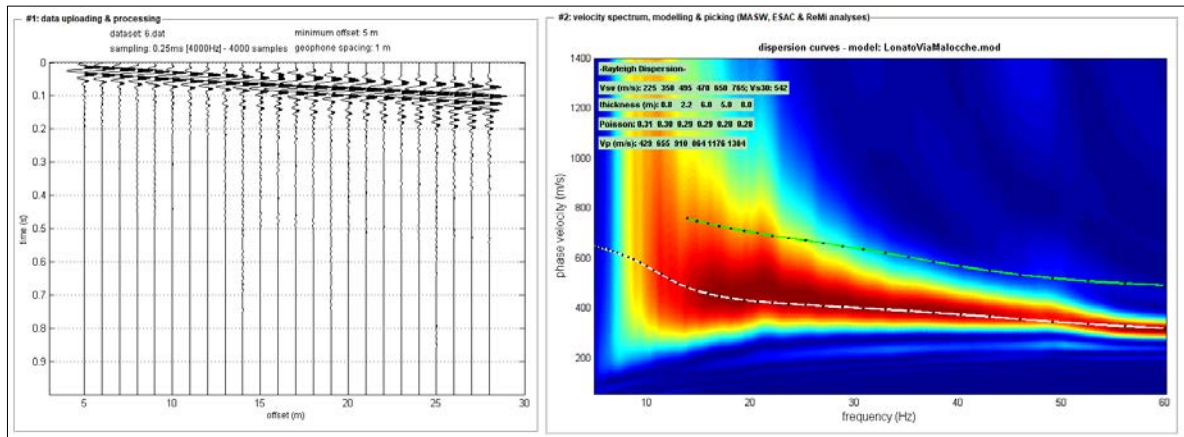


Fig. 8 - Visualizzazione del sismogramma acquisito (sx) e modellazione diretta degli spettri di velocità di fase mediante individuazione del modo fondamentale e dei modi superiori individuati (dx).

Modello sismostratigrafico

Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un **modello geofisico medio**, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia MASW in onde di Rayleigh.

Si riportano inoltre le stime dei valori della densità e del modulo di Poisson eseguite contestualmente all'elaborazione e mediante correlazioni di letteratura. Poiché la dispersione delle onde di superficie dipende essenzialmente dalla Vs e degli spessori degli strati, tali valori devono essere considerati solamente come stime largamente approssimative. Viene riportato, inoltre, il valore del modulo di taglio che tra i moduli elastici è l'unico che non dipende da Vp, ma solamente da Vs e densità e quindi la sua stima risulta più attendibile.

MODELLO GEOFISICO MEDIO – Sito 1 (Via Malocche)						
Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm ³)	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	225	0,8	-0,8	1,85	0,31	94
2	350	2,2	-3,0	1,95	0,30	239
3	495	6,0	-9,0	2,03	0,29	498
4	470	5,0	-14,0	2,02	0,29	446
5	650	8,0	-22,0	2,09	0,28	884
6	765	8,0	-30,0	2,13	0,28	1248

Il valore del modulo dinamico di taglio, dipendente da Vs e densità si riferisce a condizioni di bassa deformazione. Per deformazioni superiori, i valori dovranno essere idoneamente corretti e utilizzati solo nei modi e nei casi appropriati.

D.M. 17/01/2018	V _{s,eq} (m/s)	Profondità del bedrock sismico	Categoria di sottosuolo: B
Calcolo eseguito a partire dal p.c.	542m/s	Oltre 30,0 m	<p>Stimata sulla base del valore di Vs,eq calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018</p> $V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$ <p>Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II</p>

Si riporta inoltre la stratigrafia schematica del modello medio, ottenuto mediante analisi congiunta MASW, fino a -30,0 m dal p.c., utilizzato per il calcolo del parametro Vs,eq (**Fig. 9**).

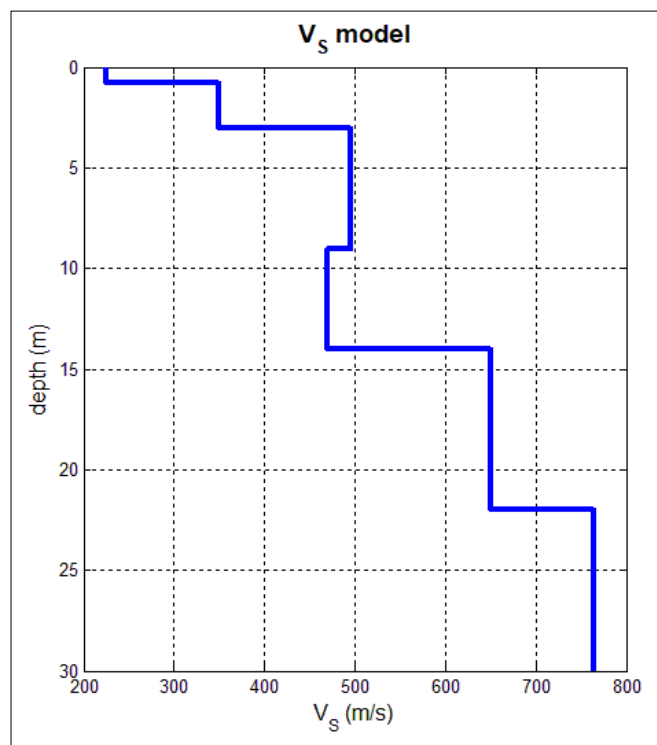


Fig. 9 - Profilo sismostratigrafico.

4. SISMICITÀ DELL'AREA E AZIONE SISMICA

4.1 Inquadramento sismotettonico

La regione benacense è collocata nel quadro tettonico della formazione delle Alpi, legato ai movimenti della placca euroasiatica e di quella africana, che con la loro collisione produssero l'innalzamento della catena alpina, con formazione della struttura a coltri di ricoprimento. Quest'ultima si interrompe a sud della Linea Insubrica, la quale costituisce il confine tra le Alpi e le Alpi Meridionali che comprendono la regione del Lago di Garda. Il tratto interessato, della Linea Insubrica, alla quale è imputata la formazione dei più importanti elementi strutturali dell'area gardesana, è quella denominata Linea delle Giudicarie. Questa è caratterizzata da strutture aventi direzione NNE-SSW, tra le quali, l'elemento più noto, è la doppia piega anticlinale e sinclinale del monte Baldo, situato lungo la sponda est del lago. Il sistema giudicariense è caratterizzato da sovrascorrimenti con presenza di faglie trasversali, che determinano un assetto strutturale irregolare (**Fig. 10**).

In particolare, gli affioramenti del substrato roccioso nel Medio e Basso Garda sono da mettere in relazione ad un pronunciato sistema di *thrust*. Tra gli affioramenti delle formazioni paleogeniche, collegate a questo sistema strutturale, rientrano quelle affioranti nella parte settentrionale della penisola di Sirmione. Tale sistema tettonico è correlabile principalmente a fasi compressive neogeniche, ma l'attività tettonica persiste anche durante il Plio-Pleistocene e l'Olocene, così come documentato dalla sismicità storica e recente dell'area gardesana.

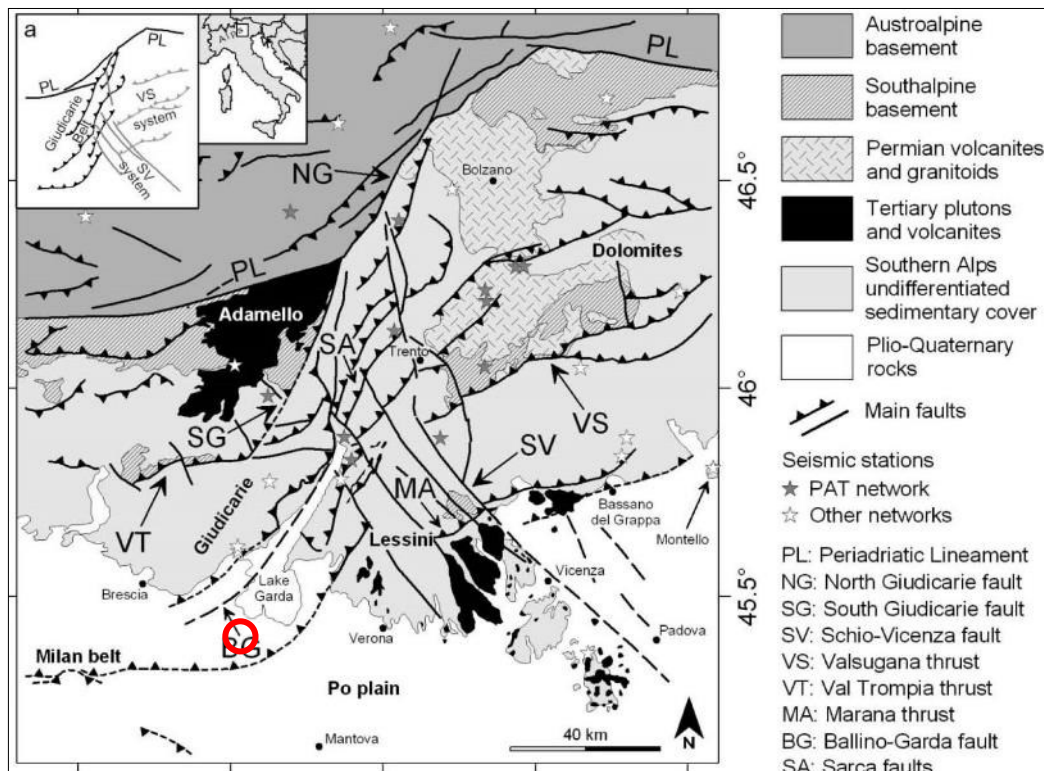


Fig. 10 - Schema tettonico delle Alpi meridionali (tratta dal Viganò et al. 2009).

4.2 Sismicità locale

L'attività sismica storica nel basso Garda e più ingenerale nel bresciano rappresenta la naturale continuazione di quella pliocenica e quaternaria e risulta correlata alla collocazione, delle aree di studio, tra zone sismogenetiche riferibili, da una parte al fronte alpino e dall'altra al fronte appenninico, sepolti al di sotto della coltre fluvioglaciale-alluvionale della Pianura Padana. Storicamente, nella porzione del basso Garda, si risente di effetti macroscopici in funzione della relativa vicinanza alle aree epicentrali dei forti terremoti storici, che colpiscono le provincie di Brescia e Verona. Alcuni sismi recenti, con le massime intensità storiche, si sono risentiti, per la relativa vicinanza con l'area sismogenetica del Reggiano-Ferrarese-Parmense e dell'edificio appenninico sepolto al di sotto delle coltri quaternarie dei depositi di pianura.

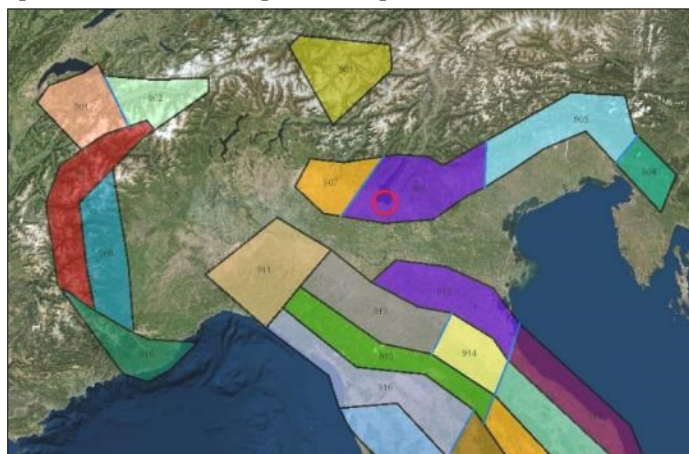
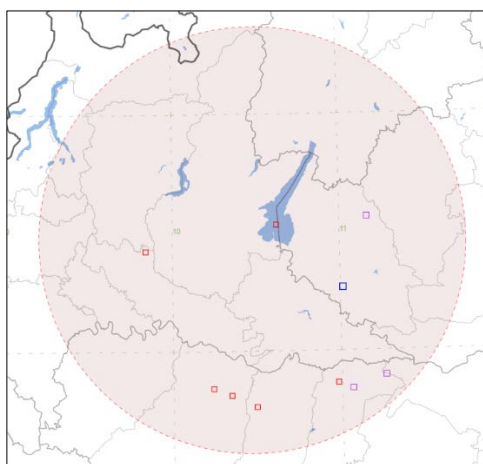


Fig. 11 - Schema Zonazione Sismogenetica ZS9
(tratta dal Geoportale del Ministero dell'Ambiente).

Gli eventi sismici storici sono consultabili nel Catalogo Parametrico dei Terremoti (CPTI15 - progetto INGV-T3 anno 2016) e sono assegnati mediante l'individuazione della "Zonazione sismogenetica ZS9 (**Fig. 11**) - App. 2 al Rapporto Conclusivo - Marzo 2004" a cura di C. Meletti e G. Valensise (Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica - OPCM 3274/2003 - INGV).

L'area in esame, secondo il modello sismotettonico riassunto nella *zonazione sismogenetica ZS9*, ricade nella zona sorgente 906. Per tale zona sorgente e per quelle limitrofe, si elencano i terremoti, con epicentro collocabile in un'area circolare di raggio pari a circa 100 km e centro in corrispondenza del **Comune di Calcinato**:

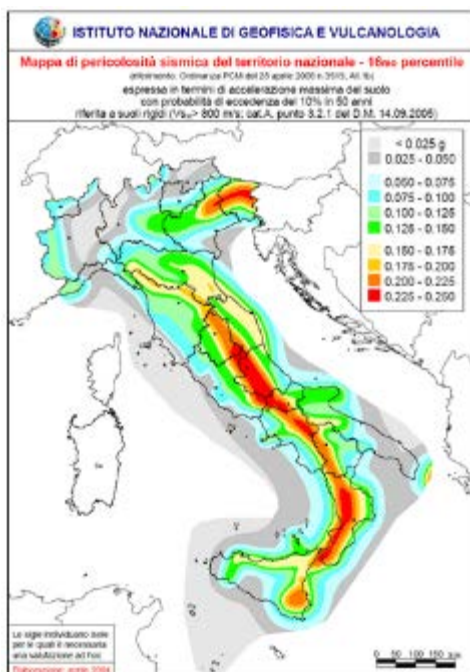


Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDF	Io	Mw
1117	01	03	15	15		Veronese	55	9	6.52
1222	12	25	12	30		Bresciano-Veronese	18	7-8	5.68
1438	06	11	02			Parmense	4	8	5.56
1802	05	12	09	30		Valle dell'Oglio	94	8	5.60
1832	03	13	03	30		Reggiano	97	7-8	5.51
1891	06	07	01	06	14	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
1971	07	15	01	33	23	Parmense	228	8	5.51
2012	05	20	02	03	50	Pianura emiliana	53	7	6.09
2012	05	29	07	00	02	Pianura emiliana	87	7-8	5.90
2012	05	29	10	55	56	Pianura emiliana			5.50

Fig. 12 - Catalogo multiparametrico dei terremoti italiani con magnitudo (M_w) > 5,5 verificatisi in un'area di raggio pari a 100 km dall'area d'indagine (CPTI15 - progetto INGV-T3 anno 2016).

4.3 Normativa sismica vigente

Con il Testo Unico (D.M. 14/01/08), entrato in vigore con la L.77/2009 di conversione del DL 39/2009 (Decreto “Abruzzo”), è divenuto vigente l’obbligo di eseguire la progettazione in prospettiva sismica in tutte le aree classificate in zona sismica. In particolare, con l’Allegato A sono state adottate definitivamente le stime di pericolosità sismica del progetto S1 già comprese nella citata Ordinanza 3519/2006 (**Fig. 13**). Accedendo



al link <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, si possono scaricare i dati di pericolosità sismica rappresentati dai valori di a_g per diverse frequenze annuali di superamento, relativamente ai 10751 punti di una griglia in cui è stato diviso il territorio nazionale. Per qualsiasi punto del territorio Italiano è quindi possibile calcolare i parametri di azione sismica grazie a formule di interpolazione definite nella Circolare esplicativa 617/09. Tali stime superano il concetto di classificazione a scala comunale sulla base di 4 zone sismiche. Il concetto di zona sismica comunale tuttavia mantiene una funzione prevalentemente amministrativa così come chiarito, dalla DGR Lombardia 9/2616/2011 e come regolamentato dalle recenti normative regionali in termini di nuova classificazione sismica (D.G.R. 11 Luglio 2014 – n. X/2129) e di normative di indirizzo per la vigilanza sulle costruzioni in zona sismica (LR 33/2015, e DGR 5001/2016).

Fig. 13 - Mappa di pericolosità sismica secondo l’OPCM n. 3519 del 28/4/2006.

La redazione della “Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale” (espressa come accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) allegata all’O.P.C.M. n. 3519/2006 indica che il Comune di **Calcinato del Garda** risulta interessato da una fascia con accelerazione sismica **a_g compresa tra 0,150 g e 0,175g** (con probabilità di superamento del 10% in 50 anni) riferibile quindi a una **Calcinato 2**. La D.G.R. 11 Luglio 2014 – n. X/2129 che ha aggiornamento recentemente le zone sismiche in Regione Lombardia, ha lasciato tutto il territorio di Calcinato del Garda in Zona sismica 2, indicando un valore di $a_{g,max}$ pari a 0,158 g.

4.4 Azione sismica di progetto

Per la valutazione dell’Azione Sismica sono stati utilizzati i metodi semplificati previsti dal D.M. 17/01/18. In questo paragrafo si affrontano quindi, per quanto di pertinenza del Geologo, le eventuali prescrizioni sismiche di pianificazione urbanistica e, considerando le apposite analisi sismiche e geomorfologiche, si forniscono la Cat. di Sottosuolo e la Cat. Topografica di sito, che potranno essere utilizzate per la stima dell’Azione Sismica e più in generale per la progettazione prevista. Mediante il foglio elettronico Excel “Spettri-NTC (ver. 1.0.3)” è stato possibile definire gli Spettri di Risposta Elastici ed i Parametri di Pericolosità Sismica utilizzabili per il sito di progetto sulla base dei risultati del progetto S1 – INGV. Per

la definizione degli Spettri di Risposta Elastici di progetto, relativi ai vari Stati Limite, è necessaria la conoscenza e la scelta di parametri progettuali di competenza dei Tecnici Progettisti dell'opera di progetto.

È stata infine presa in esame la stabilità del sito nei confronti della liquefazione, come richiesto al paragrafo 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/2018.

■ **Categoria di Sottosuolo e Categoria Topografica**

Viene di seguito eseguita la classificazione dei terreni di fondazione secondo quanto previsto dalle norme tecniche allegate al D.M. 17/01/18 ed in particolare tenendo conto di quanto indicato nella *Tabella 3.2.II* (Categorie di sottosuolo), allegate al testo unico.

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 3.2.1 del D.M. 17/01/18:

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

Secondo il D.M. 17/01/18, quindi, e tenuto conto dei risultati dell'indagine sismica MASW presa in considerazione (Sito 1), è stato calcolato un valore di V_{seq} pari a 542 m/s e quindi il sito di progetto ricadrebbe in una "categoria di sottosuolo B".

Dal punto di vista della *Pericolosità Sismica Locale* l'area d'intervento è stata classificata, nella "Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio" di Calcinato (*Tav. All_GEO03-Var2*), entro lo scenario di pericolosità sismica **Z4a** "Zona di fondovalle o di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi" (**Fig. 14**).



Fig. 14 - Stralcio della "Carta della pericolosità Sismica Locale" (*Tav. All_GEO03-Var2*) allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

Per tale scenario è stata eseguita, nello Studio Geologico Comunale, un'analisi sito-specifica per la Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito (2° Livello) e, come indicato tra l'altro nella *Carta della Fattibilità Geologica per le azioni di Piano* (Tav. 14), vengono segnalati valori di F_a di sito inferiore a quelli di "soglia" normativa e quindi potenziali fenomeni di amplificazione sismica tali da rendere sufficiente l'utilizzo dei parametri sismici definiti in base alla normativa vigente (D.M. 17/01/2018), rispetto ad un terreno di categoria "B".

Considerato che per lo scenario di Pericolosità sismica individuato la normativa prevede possibili fenomeni di amplificazione litologica, e avendo a disposizione un profilo sismostratigrafico dell'area oggetto di studio, **è stato scelto di eseguire comunque un'analisi sito-specifica per la Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito (2° Livello di approfondimento - All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011)**, utilizzando il profilo sismico riportato nel par. 3.2 ottenuto mediante indagine sito-specifica presso il lotto di progetto.

In accordo con la procedura, la successione stratigrafica di riferimento, cioè lo spessore e la velocità di ciascuno strato, come definiti nel modello geofisico medio, sono stati riportati nelle "Schede di Stima degli Effetti Litologici".

Si specifica che l'inserimento del profilo sismico, all'interno delle schede di valutazione, è stato effettuato a partire dal piano campagna esistente alla data delle indagini, coincidente con lo stesso ripiano dal quale è stata eseguita la prospezione sismica. Rispettando soprattutto i campi di validità e le caratteristiche granulometriche dei terreni presenti in sito è stata eseguita una verifica dei valori dei Fattori di amplificazione di sito (F_a) rispetto a quelli di "soglia comunale", utilizzando la scheda relativa alla litologia "*Ghiaiosa - curva 3*", di cui si riporta uno stralcio grafico (**Fig. 15**).

Con i risultati ottenuti per il sito di progetto è stato verificato che sia per edifici con periodo T compreso tra 0,5 e 1,5 s, che per edifici con periodo compreso tra 0,1 s e 0,5 s si ottengono valori di F_a di sito compatibili con i valori di F_a di soglia previsti per la **categoria di sottosuolo "B"** (definita per il sito d'interesse) e che pertanto i parametri sismici della normativa sismica vigente sono sufficienti a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica.

Per quanto concerne le caratteristiche geomorfologiche facendo riferimento alla tabella 3.2.III del D.M. 17/01/2018 e analizzando la cartografia dell'area di studio a scale da 1:5.000 a 1:10.000, si ritiene che il sito di progetto è inserito in un contesto caratterizzato da una morfologia subpianeggiante con inclinazione media $< 15^\circ$. Si potrà dunque tenere conto di una **categoria topografica T1**, alla quale, secondo quanto riportato nella sopracitata *Tabella 3.2.III*, corrisponde un coefficiente topografico **S_T pari a 1,0**.

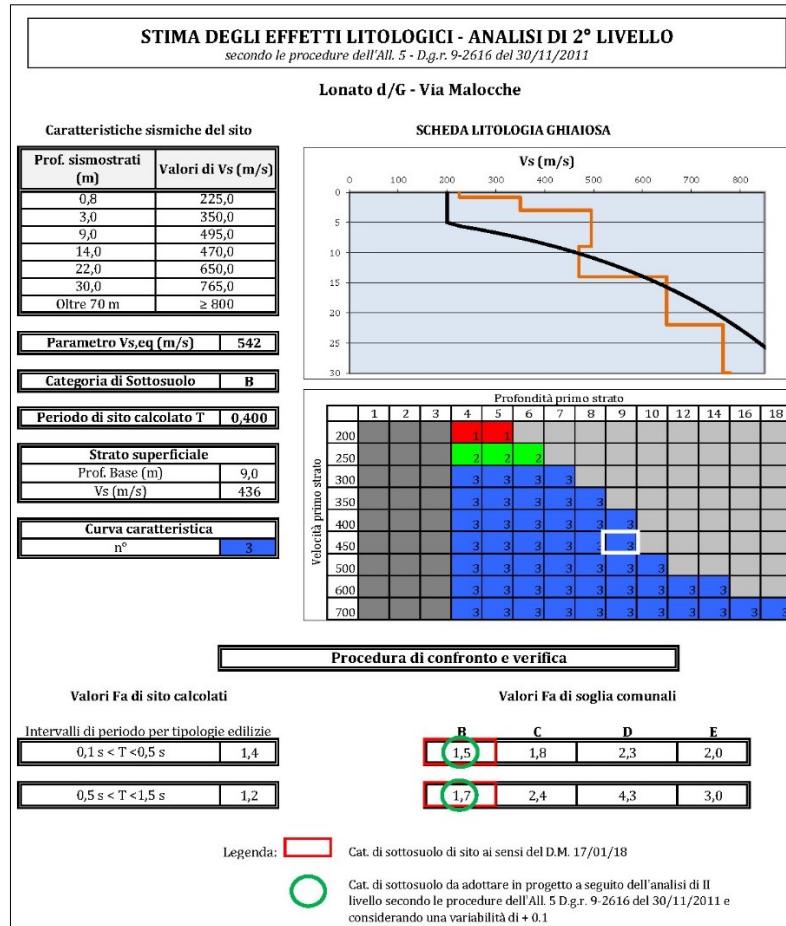


Fig. 15 - Stima degli effetti litologici - Analisi di 2° livello
secondo le procedure previste dall'All. 5 - D.G.R. 9-2616 del 30/11/2011.

■ **Pericolosità Sismica del Sito (parametri di riferimento)**

Attraverso il programma Spettri-NTC ver.1.0.3, partendo dall'identificazione geografica del punto mediano del sito di progetto (**Longitudine: 10,450745 - Latitudine: 45,426588**) sono stati stimati, per varie frequenze annuali di superamento, i valori dei parametri sismici normativi (a_g , F_0 e T_c^*) relativi alla Pericolosità Sismica.

Per l'analisi dell'azione sismica di progetto sono stati utilizzati i parametri di seguito riassunti. In funzione delle scelte progettuali adottate è stata considerata un'opera di **Classe d'Uso II** con vita utile 50 anni.

Categoria di sottosuolo	B			
Categoria Topografica	T1			
Fattore di amplificazione morfologica St	1,0			
Classe d'uso dell'edificio	II			
Vita Nominale della costruzione (in anni) - V_N	50			
Coefficiente d'uso della costruzione - C_U	1,0			
Periodo di Riferimento per la costruzione (in anni) T_R	SLO 30	SLD 50	SLV 475	SLC 975

Parametri di input per la determinazione dell'azione di progetto.

Studio di Geologia - Dott. Geol. Luigi Renna - Dott. Geol. Niccolò Crestana

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)

Cell: 349 2936733 - 347 9428449

mail: renna@crestanasrls.com - crestana@crestanasrls.com

Vengono di seguito riportati i valori dei parametri sismici normativi (a_g , F_0 e T_c^*) relativi alla pericolosità sismica, calcolati secondo la strategia di progettazione ordinaria.

STATO LIMITE	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
SLO	30	0,040	2,607	0,217
SLD	50	0,054	2,490	0,245
SLV	475	0,154	2,469	0,272
SLC	975	0,200	2,481	0,278

Si allegano inoltre gli spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL e i diagrammi con la variabilità dei valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* in funzione del periodo di ritorno T_R associati a ciascun SL (**Fig. 16**).

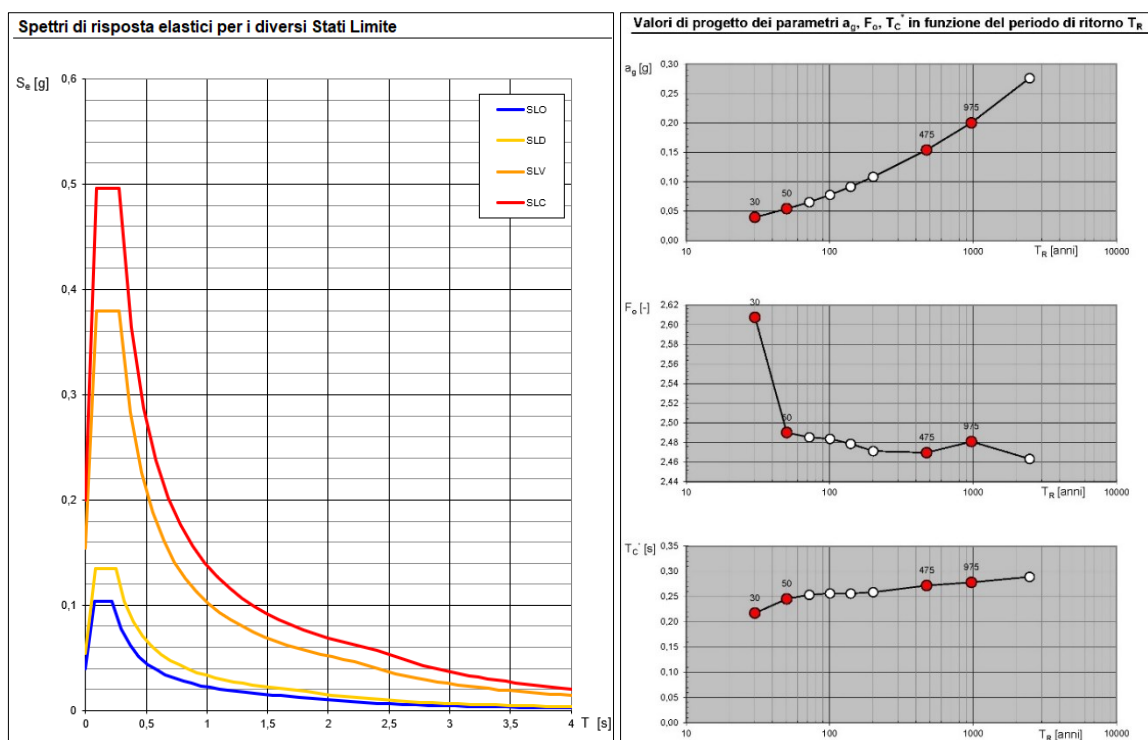


Fig. 16 - Spettri di risposta elastici e diagrammi di variabilità di a_g , F_0 e T_c^* .

■ Amplificazione Stratigrafica (S_s)

L'influenza del profilo sismostratigrafico sulla risposta sismica locale è stata valuta con riferimento alla categoria di sottosuolo. Per l'intervento di progetto e per le verifiche allo Stato Limite di Danno (SLD) ed allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), si riportano i seguenti valori di *coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_s)* e di *coefficiente in funzione della categoria di sottosuolo (C_c)*. Questi sono stati calcolati in funzione di F_0 e T_c^* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite dalla *Tabella 3.2.IV* del D.M. 17/01/18.

Categoria di sottosuolo B					
SLD	S_s	1,200	SLV	S_s	1,200
	C_c	1,457		C_c	1,427

■ **Stabilità del sito nei confronti della liquefazione**

Il fenomeno della liquefazione è governato dalla generazione e dall'accumulo di eccessi di pressione interstiziale, in occasione di un terremoto, in sabbie e sabbie limose, sature e poco addensate. I dati sperimentali di letteratura mettono in evidenza che l'incremento della pressione interstiziale avviene in risposta alle sollecitazioni cicliche tangenziali a cui un elemento di volume di terreno è sottoposto in condizioni non drenate durante lo scuotimento sismico. Per tale elemento di volume, il valore finale della pressione interstiziale è funzione delle caratteristiche del moto sismico, cioè ampiezza, contenuto in frequenza e numero di cicli, ovvero durata. Per la determinazione del potenziale di liquefazione dei terreni di fondazione, sono state considerate le "circostanze di esclusione" dalla verifica alla liquefazione elencate al punto 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/2018. Secondo il suddetto punto, (articolo 7.11.3.4.2 "Esclusione della verifica a liquefazione") è possibile omettere la verifica alla liquefazione quando si manifesta, in ordine, almeno una delle seguenti condizioni:

Analisi delle condizioni per l'esclusione alla verifica a liquefazione:

comma 1. l'accelerazione massima attesa al piano campagna viene *calcolata* considerando i parametri riferiti allo Stato Limite Ultimo SLV, relativi alla categoria "B", mediante la seguente relazione: $a_{g \max \text{ suolo}} = a_g \times S_s \times S_t$. Riepilogando i parametri utilizzati sono i seguenti:

a_g	0,154
S_s	1,427
S_t	1,0

Il valore complessivo di accelerazione sismica orizzontale è risultato essere pari a 0,219 g e risulta quindi superiore a quello di esclusione indicato dal **comma 2** (non verificato).

comma 2. per l'area oggetto di indagine, alla luce dell'assetto idrogeologico descritto, è stata ipotizzata una falda acquifera libera a partire da circa -36/-50 m dal p.c. e quindi ad una profondità maggiore rispetto a 15 m previsti dal **comma 2** (verificato).

Essendo verificato almeno uno dei quattro commi si ritiene pertanto, ai sensi del D.M. 17/01/18, il sito d'interesse soggetto ad esclusione alla verifica alla liquefazione.

5. FATTIBILITÀ GEOLOGICA E VINCOLI DELL'AREA DI PROGETTO

Dall'analisi della cartografia allegata alla "Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio - All. GEO06b-Var2" di Calcinato (Agg. Gennaio 2018), è stato verificato che il sito di progetto ricade nelle **Classi di Fattibilità 2 e 3 (Fig. 17) rispettivamente con modeste e consistenti limitazioni.**

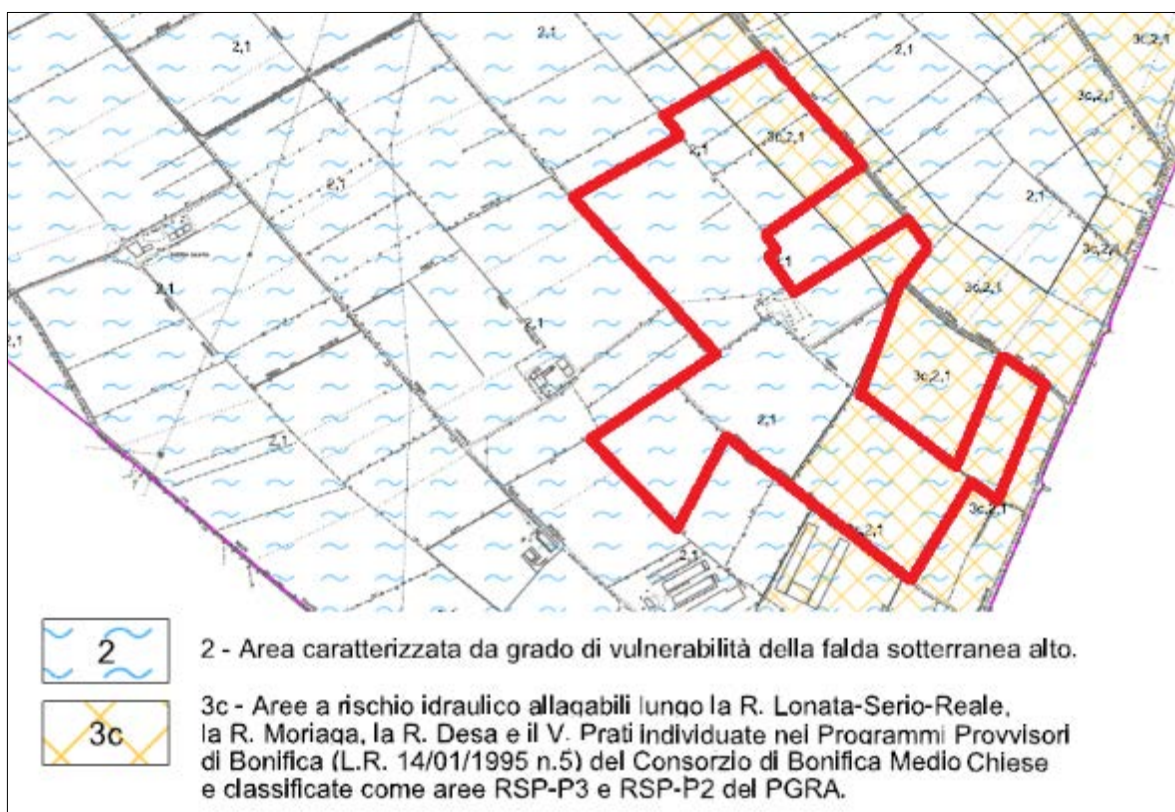


Fig. 17 - Stralcio della "Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano" (Tav. All_GEO06b-Var2), con ubicazione dell'area d'interesse.

Per tali classi di Fattibilità Geologica, lo Studio Geologico allegato al P.G.T. comunale prevede solo alcune limitazioni ed eventuali approfondimenti da effettuare in funzione delle specifiche progettuali e delle sottoclassi individuate, di seguito enunciate:

✓ **CLASSE 3c (Aree a rischio idraulico allagabili)**

Per questa sottoclasse sono consentite tutte le tipologie di opere di progetto proposte; la loro realizzazione tuttavia è in ogni caso subordinata ad uno studio geologico ed idrogeologico, rappresentato dal presente elaborato, che accerti la compatibilità dell'intervento con lo scenario di pericolosità e di rischio alluvione P3/H, ambito RSP definito dal Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) vigente.

Nell'area in esame, non si segnalano, per questa classe, situazioni e fenomeni in atto in grado di modificare le caratteristiche idrogeologiche e idrografiche dell'area e, le attività estrattive in progetto, non risultano in grado di indurre situazioni di rischio idrogeologico e geomorfologico del sito in oggetto.

In merito, le Norme Geologiche di Piano prevedono quanto segue:

- *“Eventuali interventi edilizi sono subordinati alla realizzazione di uno studio di compatibilità idraulica che l’Amministrazione comunale è tenuta ad acquisire in sede del rilascio del titolo edilizio. Tale studio è finalizzato a definire i limiti e gli accorgimenti da assumere per rendere l’intervento compatibile con le criticità rilevate, in base al tipo di pericolosità e al livello di esposizione locali. Detto studio può essere omesso per gli interventi edilizi che non modificano il regime idraulico dell’area allagabile, accompagnando il progetto da opportuna asseverazione del progettista (es. recupero di sottotetti, interventi edilizi a quote di sicurezza)”.*
- *“va garantita l’applicazione di misure volte al rispetto del principio dell’invarianza idraulica, finalizzate a salvaguardare e non peggiorare la capacità ricettiva del sistema idrico e a contribuire alla salvaguardia del territorio”.*

✓ **CLASSE 2a** (Area caratterizzata da grado di vulnerabilità della falda alto)

Per questa sottoclasse sono consentite tutte le tipologie di intervento; la loro realizzazione è in ogni caso subordinata ad uno studio idrogeologico, rappresentato dal presente elaborato, che accerti la compatibilità dell’intervento con lo stato di vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee, valutando il possibile impatto sulle acque sotterranee del progetto di realizzazione di un nuovo A.T.E., e che preveda, se necessario, l’adozione di accorgimenti in grado di tutelare la falda acquifera e di sistemi di controllo. A tal proposito, per il sito di progetto, dati provenienti dai pozzi ubicati nella medesima piana fluvio-glaciale, pongono la falda freatica, non sfruttata, con Livello Statico a circa -36/-50 m di profondità dal p.c. e, come evidenziato dalle stratigrafie dei pozzi in allegato al presente studio (*Sito 1 e Sito 3*) le falde medie, quelle in questo caso sfruttate, si attestano a partire da circa -87 m di profondità dal p.c.

Si ritiene quindi che le operazioni di coltivazione, prevedendo un valore di massimo innalzamento della superficie piezometrica compreso tra circa -30,0 m e -32,0 m di profondità dal piano campagna esistente alla data dei rilievi (94/92 m s.l.m.), saranno consentite se rispetteranno un franco di 2,0 m dalla quota sopra riportata.

Se saranno rispettate tali indicazioni, si ritiene che gli interventi di progetto proposti, saranno compatibili con lo stato di vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee, non introducendo alcun impatto sulle acque di falda

In ogni caso, la salvaguardia delle risorse idriche sotterranee, dovrà essere garantita operando mediante procedure non potenzialmente idroinquinanti e adoperando eventualmente idonei materiali e tecniche costruttive.

In ogni caso, nell’ambito della stesura di un progetto esecutivo si rende necessaria l’esecuzione di indagini geognostiche integrative, con eventualmente l’acquisizione di campioni di terreno e la posa in opera di piezometri, in modo tale da definire con maggiore precisione la profondità del livello piezometrico dell’acquifero e le caratteristiche litologiche più profonde. Inoltre l’esecuzione di prove geotecniche, da eseguire negli ingombri di interesse, consentirebbe l’acquisizione dei parametri di resistenza necessari per valutare la stabilità delle future scarpate e fronti di scavo.

Nello stesso Studio Geologico comunale, si segnala la presenza, presso i settori settentrionali e orientali dell'area d'intervento (**Fig. 18**), di **Normative di vincolo** (*Carta dei Vincoli – All_GEO04b-Var2-rev02*) correlate alle “Aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (aree P3/H)”, come individuate dal Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) vigente.

Per i suddetti settori bisognerà tener conto nello specifico di quanto previsto dalla suddetta sottoclasse di fattibilità 3f enunciata e trattata nel presente capitolo.

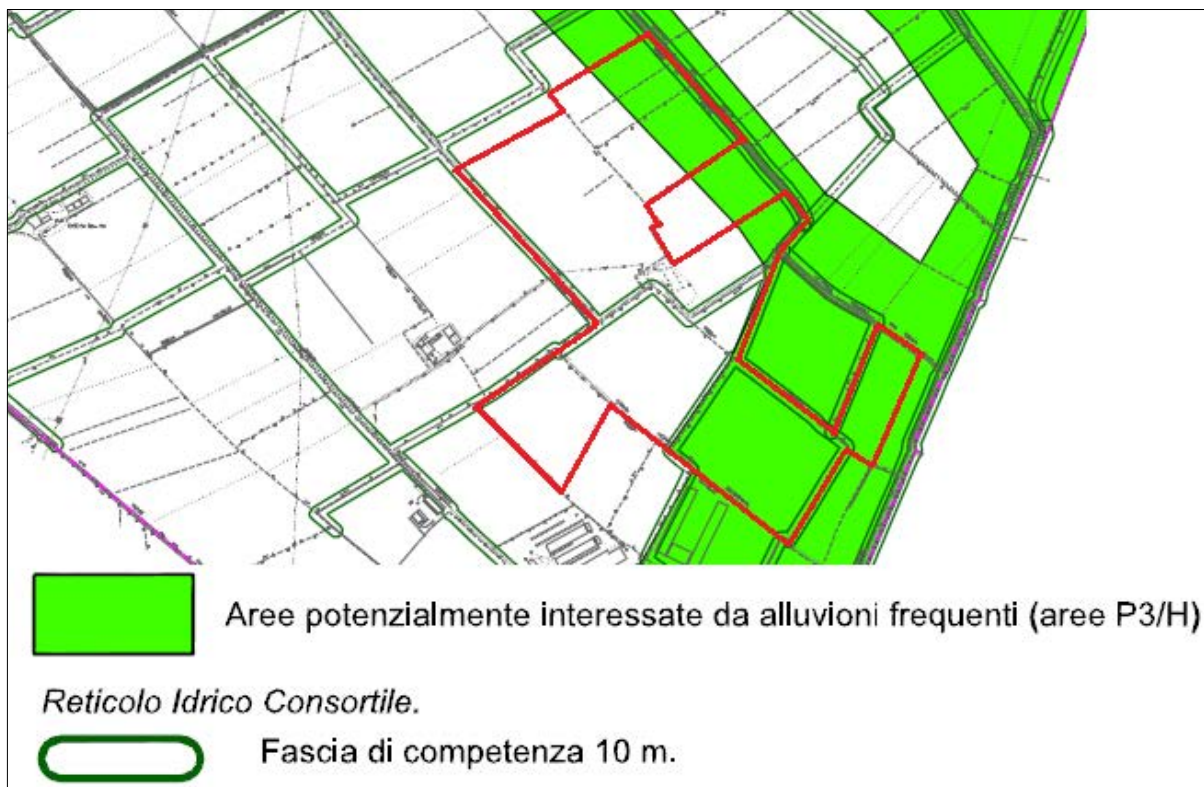


Fig. 18 - Stralcio della “Carta dei Vincoli” (Tav. All_GEO04b-Var2-rev02), con ubicazione dell’area d’interesse.

6. MODELLO GEOTECNICO – VALORI CARATTERISTICI

Sulla scorta dei dati geognostici ricavati dalle indagini in sito (Pozzi, Prove Penetrometriche Dinamiche SCPT e Prospezione Sismica MASW+HVSr) e dall'elaborazione degli stessi, mediante formule di letteratura, sono stati individuati, da una stima ragionata e cautelativa, i valori caratteristici dei parametri geotecnici. Viene di seguito schematizzata la successione stratigrafica delle unità geotecniche riconosciute, riportando i valori del modello geotecnico medio adottato, partendo dall'alto verso il basso e prendendo come quota di riferimento il ripiano alto su cui sorge l'edificio esistente di progetto.

- ✓ **Terreno Superficiale S (Strato 1):** Terreno superficiale rimaneggiato limoso-sabbioso con ciottoli, asciutto, non idoneo alla posa di strutture di fondazione.
- ✓ **Unità Geotecnica A (Strato 2):** Depositi alluvionali/fluvioglaciali costituiti da ghiaia e sabbia con ciottoli, asciutti, idonei all'appoggio di ogni tipologia di struttura di fondazione. Dai dati sismostratigrafici, tale unità sembra possedere continuità fino ad almeno 22 m dal p.c.; oltre tale profondità si ipotizza la presenza di depositi particolarmente addensati della medesima sequenza fluvioglaciale e/o uno o più strati di natura conglomeratica.

PARAMETRI GEOTECNICI

	γ_{nat} (t/m ³)	Cu (kg/cm ²)	ϕ	Dr %	E (kg/cm ²)	Denominazione AGI
STRATO 1	1,80	--	27°	40	60	Scarsamente addensato
da 0,0 a -0,5/-1,0 m						
STRATO 2	2,00	--	33°-34°	75	285	Da moderatamente addensato ad addensato
Oltre -0,5/-1,0 m						

γ_{nat} = Peso unitario del terreno, **Cu** = Resistenza non drenata,

ϕ = Angolo di resistenza al taglio, **Dr** = Densità relativa Skempton, **E** = modulo di deformazione.

Alla luce di tale ipotesi evidenziate dai risultati delle prove penetrometriche nel sito di indagine, si ritiene di poter eseguire eventuali calcoli geotecnici in condizioni drenate, trascurando cautelativamente la componente coesiva dei terreni di fondazione.

7. PROGETTO DI COLTIVAZIONE

Sulla base dei dati raccolti, l'eventuale coltivazione di inerti (ghiaia e sabbia) potrà essere condotta nel rispetto delle normative di legge vigenti fino ad un franco di 2,0 m dal massimo livello di oscillazione che può essere assegnato per il sito in esame alla profondità di circa -30/-32 m dal p.c. esistente alla data dei rilievi.

In ogni caso, nell'ambito della stesura di un progetto esecutivo, si rende necessaria l'esecuzione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo con posa in opera di piezometri per il monitoraggio del livello di falda.

I piezometri consentiranno di definire con precisione appunto la profondità del livello dell'acquifero e quindi costruire un sistema di monitoraggio per il controllo della profondità della falda freatica. Una adeguata campagna di sondaggi geognostici con prelievo di campioni successivamente sottoposti ad analisi granulometriche di laboratorio, per la definizione precisa della granulometria, è consigliata per avere un controllo della litologia in profondità.

Inoltre, l'esecuzione di prove penetrometriche in foro di sondaggio S.P.T., fornirà i parametri di resistenza necessari alla valutazione della stabilità delle scarpate, secondo inclinazioni assegnate che potranno essere definite nello studio progettuale di coltivazione dell'area.

8. CONCLUSIONI

Il presente elaborato è redatto su incarico della *Committenza*, a supporto del progetto di realizzazione di un nuovo A.T.E., in Località Colomberino, nel Comune di Calcinato (BS).

Nel presente elaborato sono stati presi in considerazione i seguenti aspetti di carattere geologico e normativo:

- ✓ Sulla base del **modello geologico e idrogeologico** definito, sono state individuate le unità geologiche che caratterizzano l'area di studio e sono state fornite le prescrizioni sulle procedure progettuali da adottare in merito agli interventi proposti, in funzione anche delle caratteristiche idrogeologiche e geomorfologiche del sito di progetto.
- ✓ Dall'analisi della cartografia allegata alle Norme di piano comunale, nell'area in esame, non si segnalano, per la classe di **Fattibilità Geologica 3** e per le corrispondenti limitazioni previste (assegnata in funzione delle prescrizioni imposte dalla normativa regionale vigente che ha adottato il **Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)**), fenomeni geomorfici in atto o potenziali, in grado di indurre situazioni di pericolo a carattere geologico ed idrogeologico. Nell'area in esame si segnalano **Normative di vincolo** correlate ad alcuni elementi idrografici appartenenti al *Consorzio di Bonifica Medio Chiese*; pertanto, si rimanda al parere del *Consorzio*, sulla necessità di istituire per tali corpi idrici, specifiche normative, autorizzazioni e/o interventi specifici da operare in merito alla realizzazione di un nuovo A.T.E. entro i limiti territoriali descritti.
- ✓ Dal punto di vista della Pericolosità Sismica Locale l'area in esame è stata classificata, nella "Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del P.G.T." di Calcinato entro gli scenari di **pericolosità sismica Z4a** "*Zona di fondovalle o di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi*".
- ✓ Per lo scenario di pericolosità Z4a è stata eseguita un'analisi sito-specifica di II Livello (I Grado di approfondimento – APP 5 secondo quanto indicato nella DGR 5001/2016) per la Stima del Fattore di Amplificazione di sito. I risultati ottenuti hanno verificato che sia per edifici con periodo T compreso tra 0,5 e 1,5 s, che per edifici con periodo compreso tra 0,1 s e 0,5 si ottengono valori di Fa di sito compatibili con i valori di Fa di soglia previsti per la **categoria di sottosuolo "B"** ($FAC < FAS$).
- ✓ È stato determinato il potenziale di liquefazione dei terreni di fondazione considerando le "circostanze di esclusione" dalla verifica alla liquefazione elencate al punto 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/2018, ritenendo in conclusione il **sito d'interesse soggetto ad esclusione alla verifica alla liquefazione**.

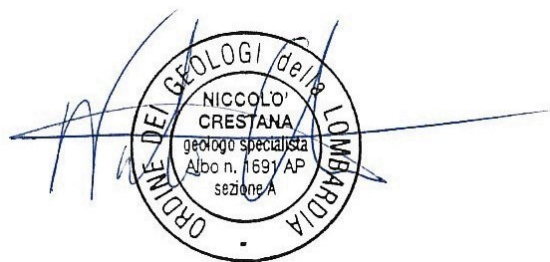
Considerando infine un certo grado di imprevedibilità intrinseco delle formazioni geologiche, si rimanda al progettista l'onere di verificare, in fase esecutiva, la rispondenza tra quanto previsto (mediante indagine per punti) e quanto effettivamente verrà riscontrato in fase esecutiva, adottando in caso idonee soluzioni progettuali.

Le indagini reperite, hanno permesso di ricostruire la stratigrafia e le caratteristiche litologiche dei depositi presenti nel sottosuolo dell'area di studio. Tuttavia, nell'ambito della stesura di un progetto esecutivo, si rende necessaria l'esecuzione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo con posa in opera di piezometri per il monitoraggio del livello di falda.

Si resta pertanto a completa disposizione per eventuali indagini integrative e come supporto tecnico per le successive fasi di studio.

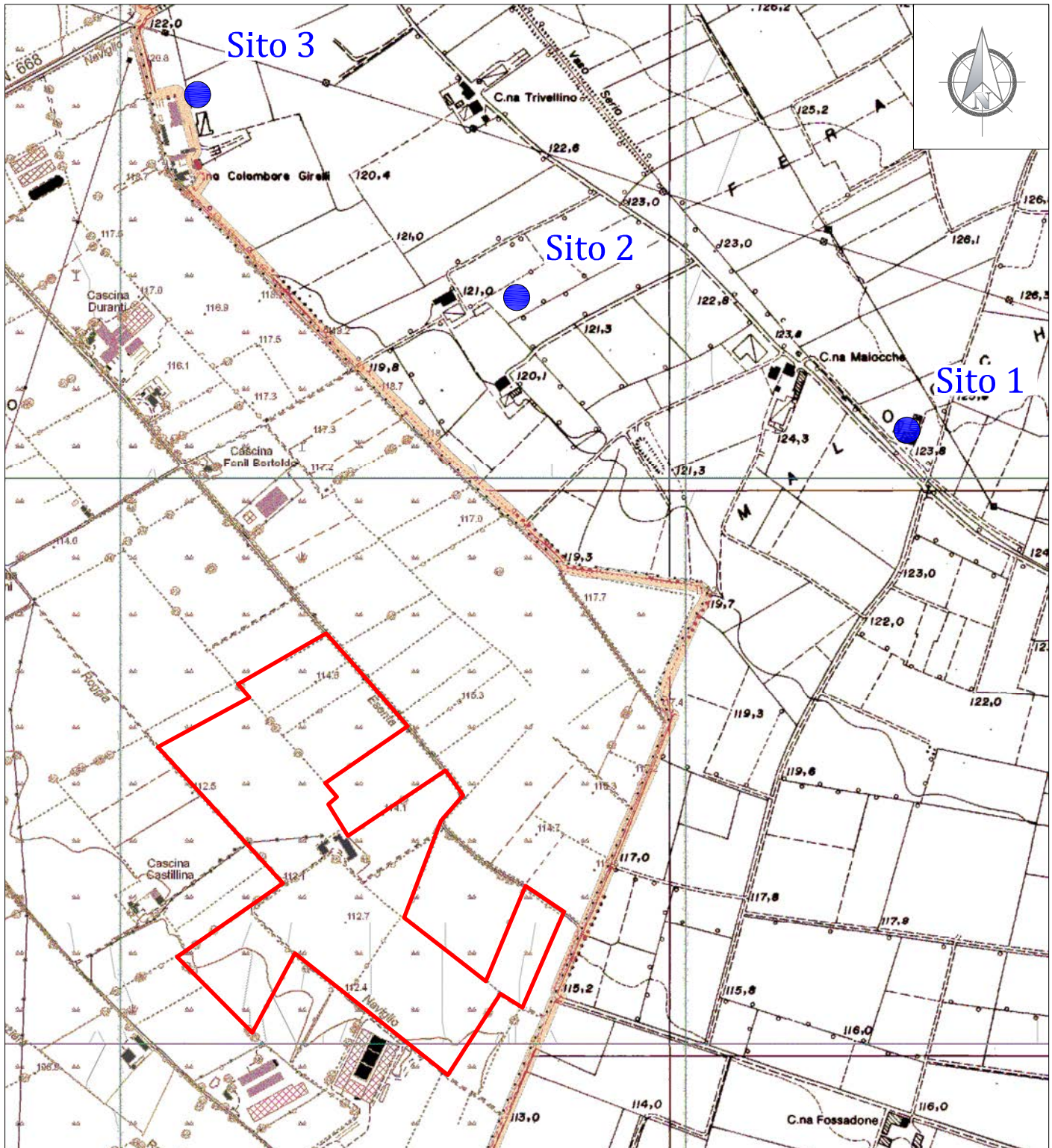
Desenzano del Garda, 13 Febbraio 2020

Dott. Geol. Niccolò Crestana



COROGRAFIA CON UBICAZIONE DELL'AREA DI STUDIO
E DEI SITI CON INDAGINI GEOGNOSTICHE
SCALA 1:10.000

Tav. 1



Area in esame

LEGENDA

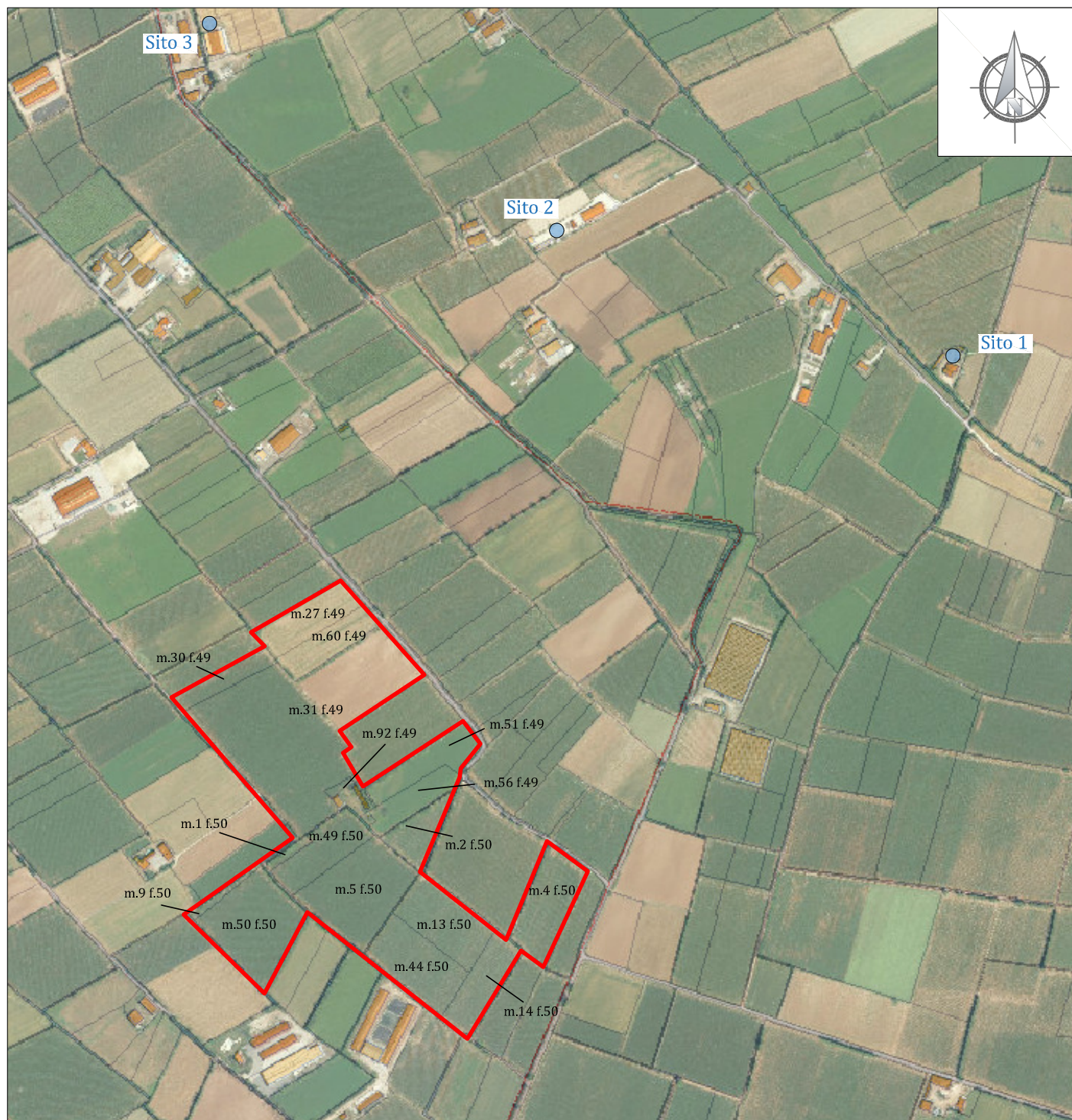
Sito 1



Sito nel quale sono
state eseguite indagini
geognostiche

ESTRATTO MAPPA CATASTALE CON UBICAZIONE DEI SITI CON INDAGINI GEOGNOSTICHE
SCALA 1:10.000

Tav. 2



LEGENDA



Area di interesse con
identificazione catastale

Sito 1



Ubicazione siti con indagini geotecniche

SITO 1

Via Malocche angolo Via Fossa
Lonato del Garda (BS)

N°3 Prove penetrometriche SCPT-DPSH

N°2 Pozzi



CRESTANA S.r.l.s.
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI
Viale Michelangelo, 40
25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347.9428449 - 349.2936733
mail: info@crestanasrls.com
www.crestanasrls.com

PROVA PENETROMETRICA SCPT: **P1**

LOCALITÀ: Via Malocche - Lonato del Garda (BS)

Data di esecuzione: 16/08/2018

Committente: Sig. Angelo Fontanella

Scala diagramma: 1:100

Avanzamento punta:

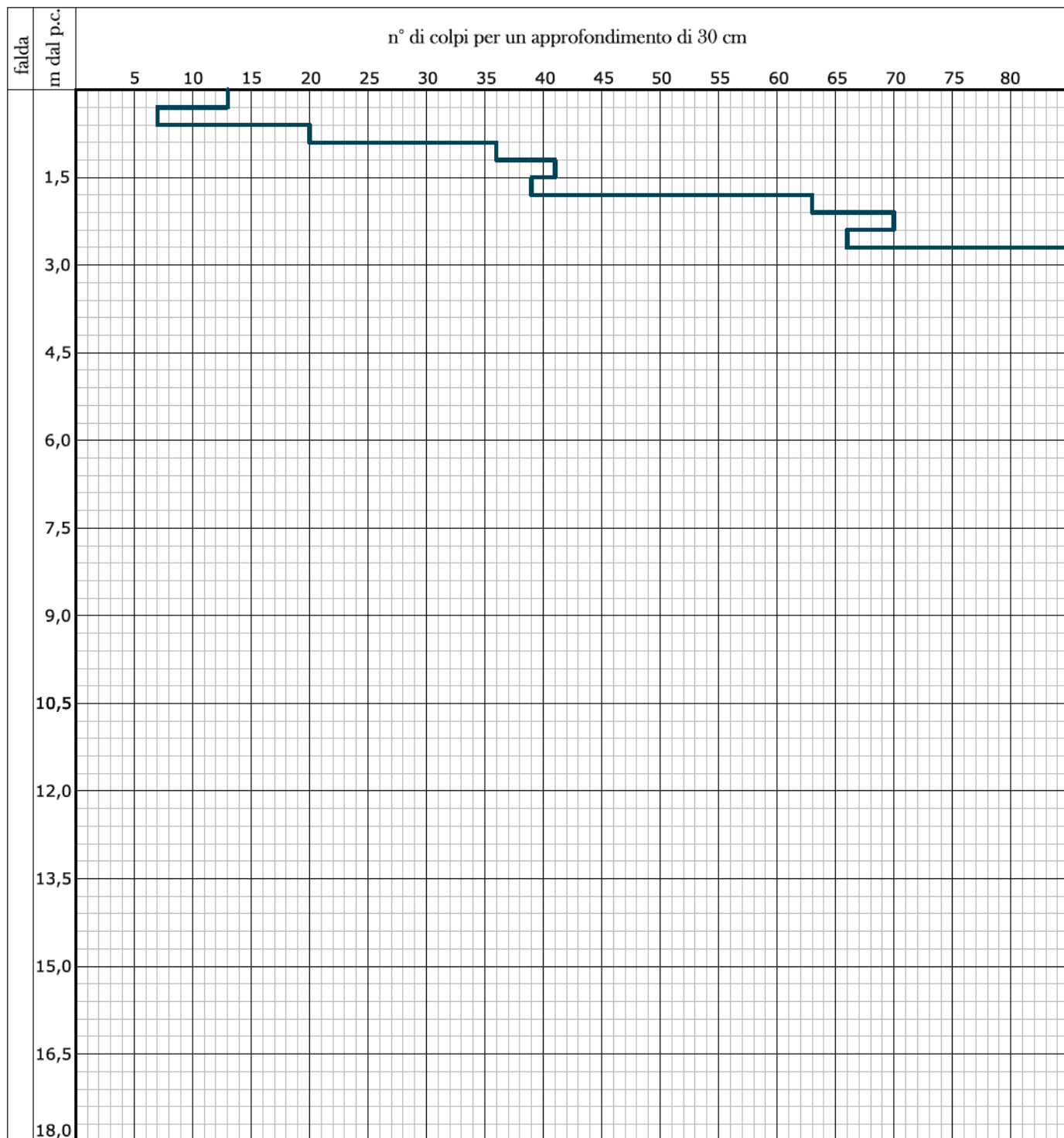
Avanzamento rivestimento:

Piezometro Φ 1/2"

tratto cieco

tratto fessurato

Note: aste asciutte.



Strumento utilizzato: Penetrometro PAGANI Mod.: TG63-200



CRESTANA S.r.l.s.
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI
Viale Michelangelo, 40
25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347.9428449 - 349.2936733
mail: info@crestanasrls.com
www.crestanasrls.com

PROVA PENETROMETRICA SCPT: **P2**

LOCALITÀ: Via Malocche - Lonato del Garda (BS)

Data di esecuzione: 16/08/2018

Committente: Sig. Angelo Fontanella

Scala diagramma: 1:100

Piezometro Φ 1/2"

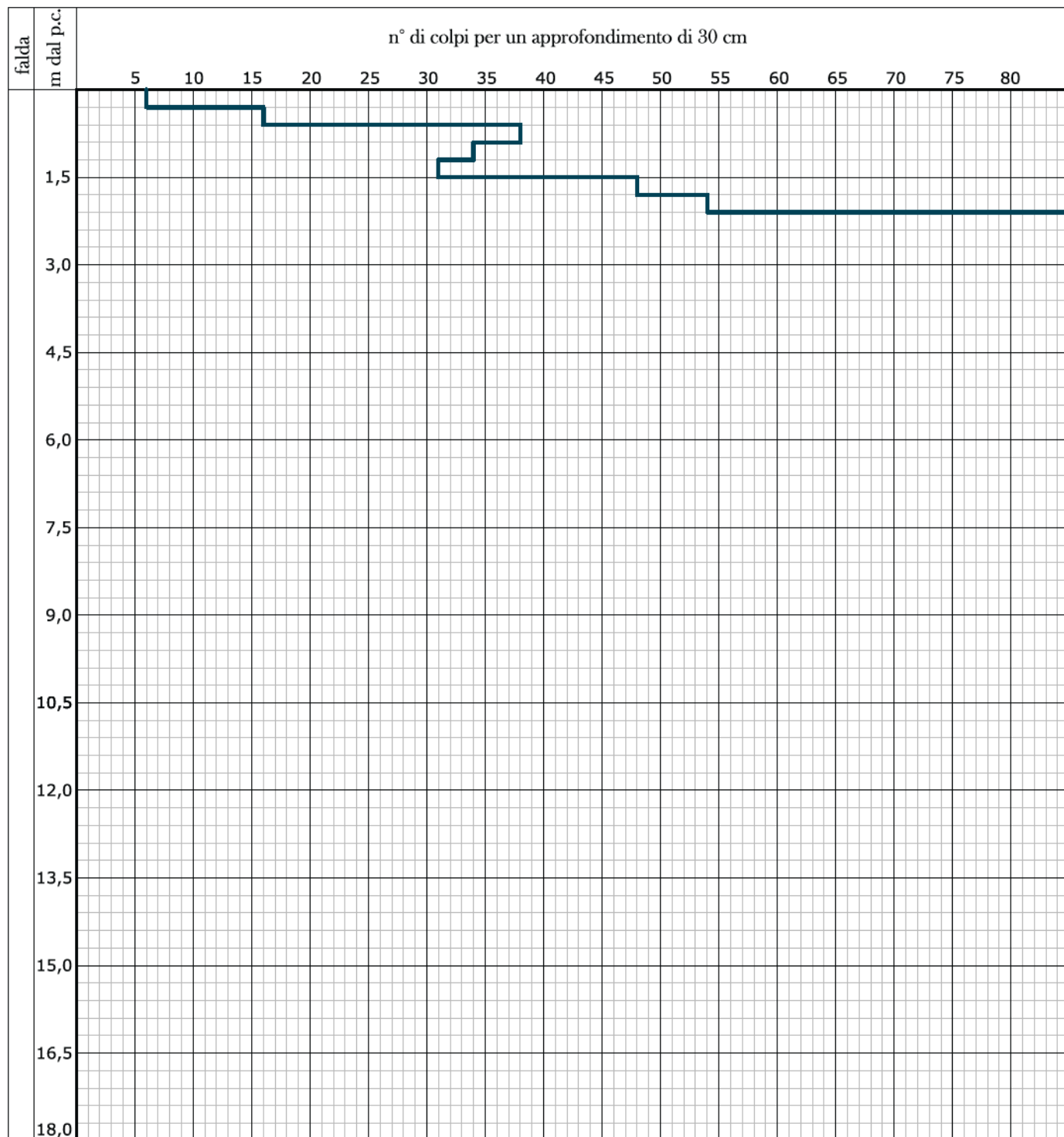
Avanzamento punta: —

Avanzamento rivestimento: —

tratto cieco

tratto fessurato

Note: aste asciutte.



Strumento utilizzato: Penetrometro PAGANI Mod.: TG63-200



CRESTANA S.r.l.s.
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI
Viale Michelangelo, 40
25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347.9428449 - 349.2936733
mail: info@crestanasrls.com
www.crestanasrls.com

PROVA PENETROMETRICA SCPT: **P3**

LOCALITÀ: Via Malocche - Lonato del Garda (BS)


Data di esecuzione: 16/08/2018


Committente: Sig. Angelo Fontanella

Scala diagramma: 1:100

Piezometro Φ 1/2"

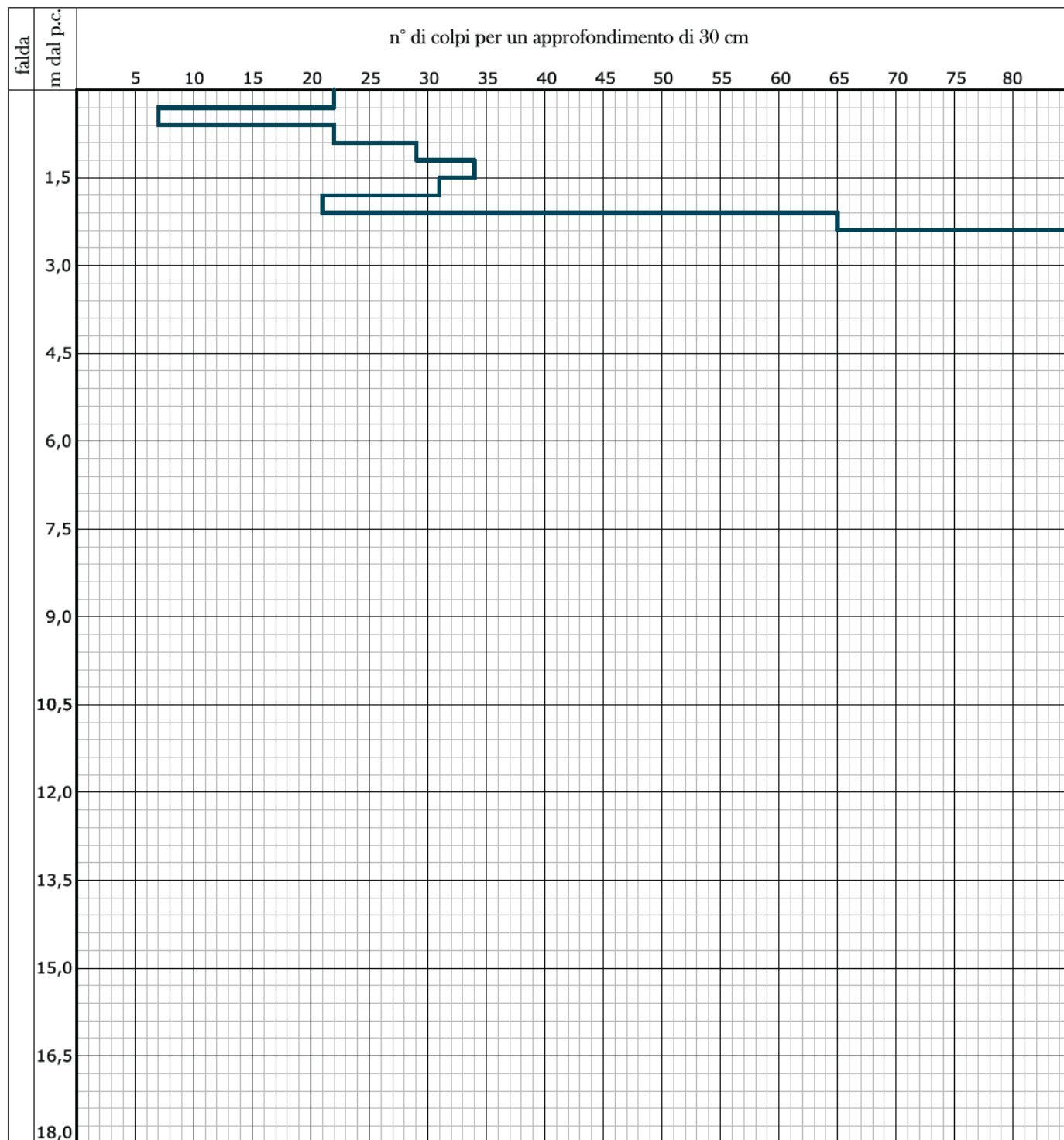
Avanzamento punta: 

 tratto cieco

 tratto fessurato

Avanzamento rivestimento: 

Note: aste asciutte.



Strumento utilizzato: Penetrometro PAGANI Mod.: TG63-200

Studio di Geologia
Dott. Geol. Luigi Renna - Dott. Geol. Niccolò Crestana
Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 349 2936733 - 347 9428449
mail: renna@crestanasrls.com - crestana@crestanasrls.com

Comune: Lonato del Garda (BS)

Località: Via Malocche

Committente: Sig. Angelo Fontanella

Quota da p.c.: 124 m s.l.m.

POZZO n°

1

COORDINATE
(GAUSS - BOAGA)

Lon. 1614431,07

Lat. 5032079,42

Ditta Esecutrice: Maltini

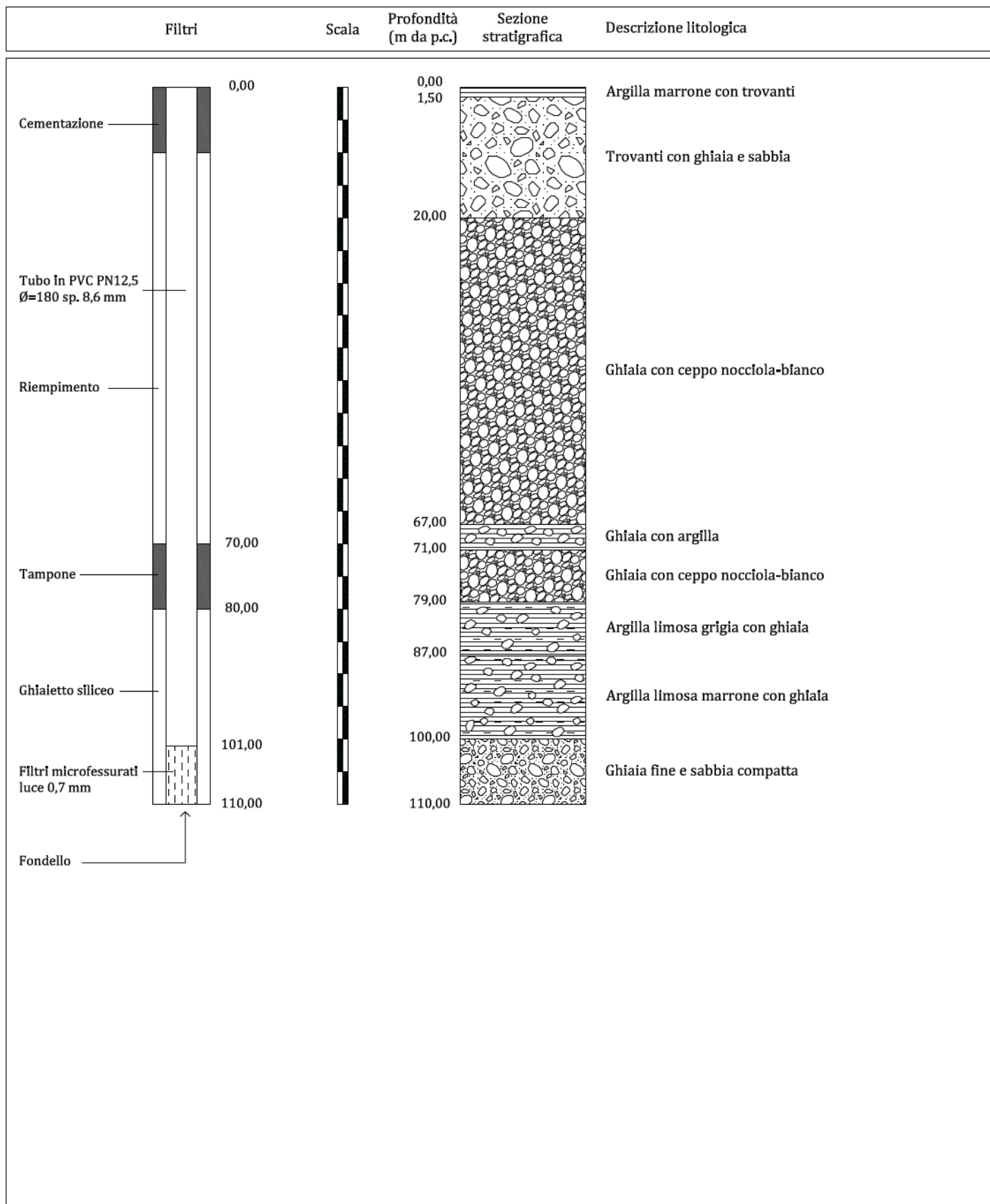
Livello statico: 42,40 m

Scala 1:800

Data di esecuzione: 2019

Livello dinamico: 50,20 m

Portata: 12 l/s



Maltini geom. Dionigio e Renato s.n.c.

Sede: 46040 SOLFERINO (MN)

via Pellegrine, n.c.m.

tel. e fax (0376) 854043

P. IVA e C. F. 01221500208

C.C.I.A.A. MN 144190

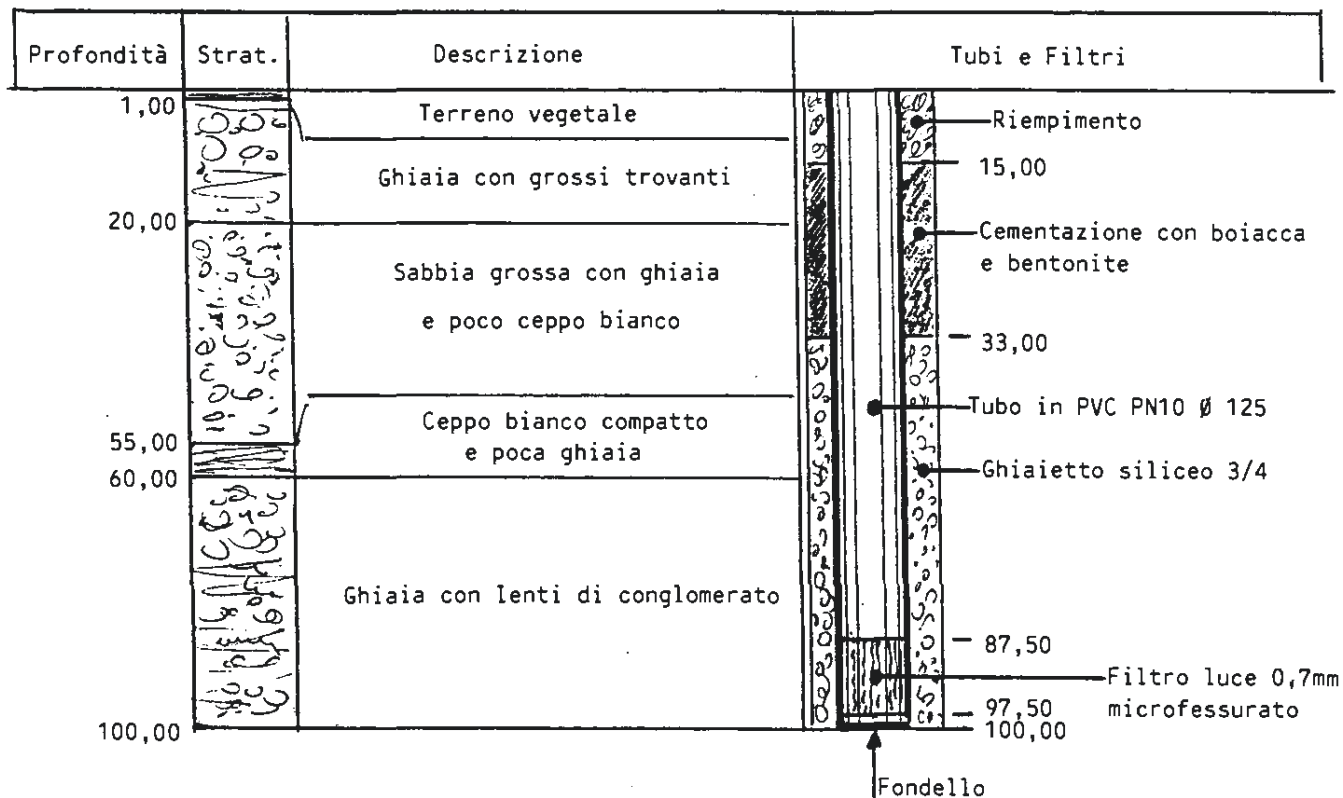
Iscr. Trib. MN 10750

A.N.C. 8262409



Associata ANIPA - Associazione
Nazionale Imprese Pozzi Acqua

Spett.Le
BOLDRINI MIRCO
Via Fossa, 10
25017 LONATO (BS)



Livello Statico ml. 50,40

Livello Dinamico ml. 54,00

Portata lt./secondo 3,00

-MALTINI-
TRIVELLAZIONI POZZI ACQUA • ELETTROPOMPE SOLAR MOTORS

SITO 2

Via Malocche

Lonato del Garda (BS)

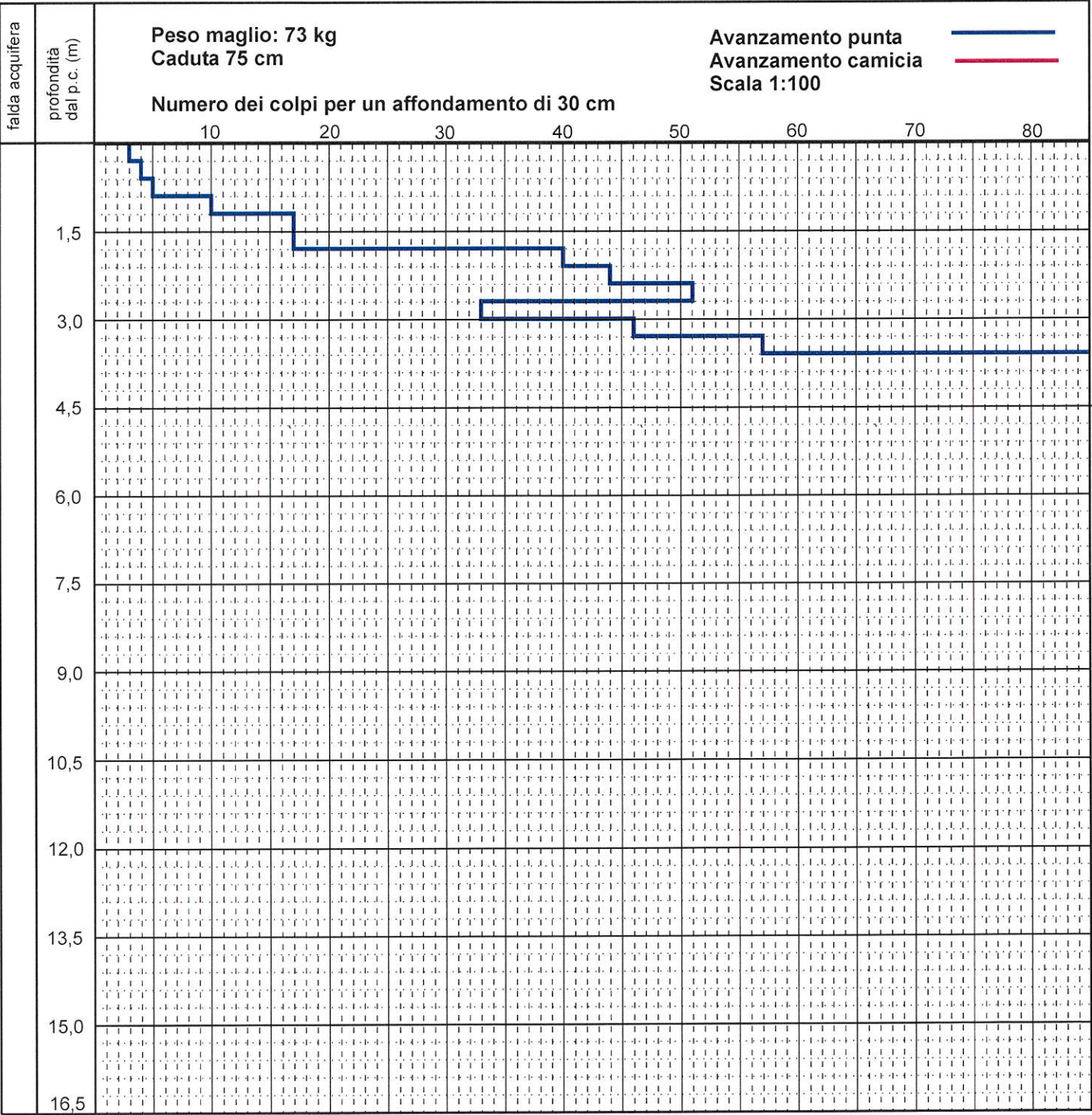
N°2 Prove penetrometriche SCPT-DPSH

PROVA PENETROMETRICA N° 1

Data: 26/09/2008

Località: Via Malocche - Loc. Malocche - Lonato del Garda (BS)

Committente: Sig.ra Tomasi Laura

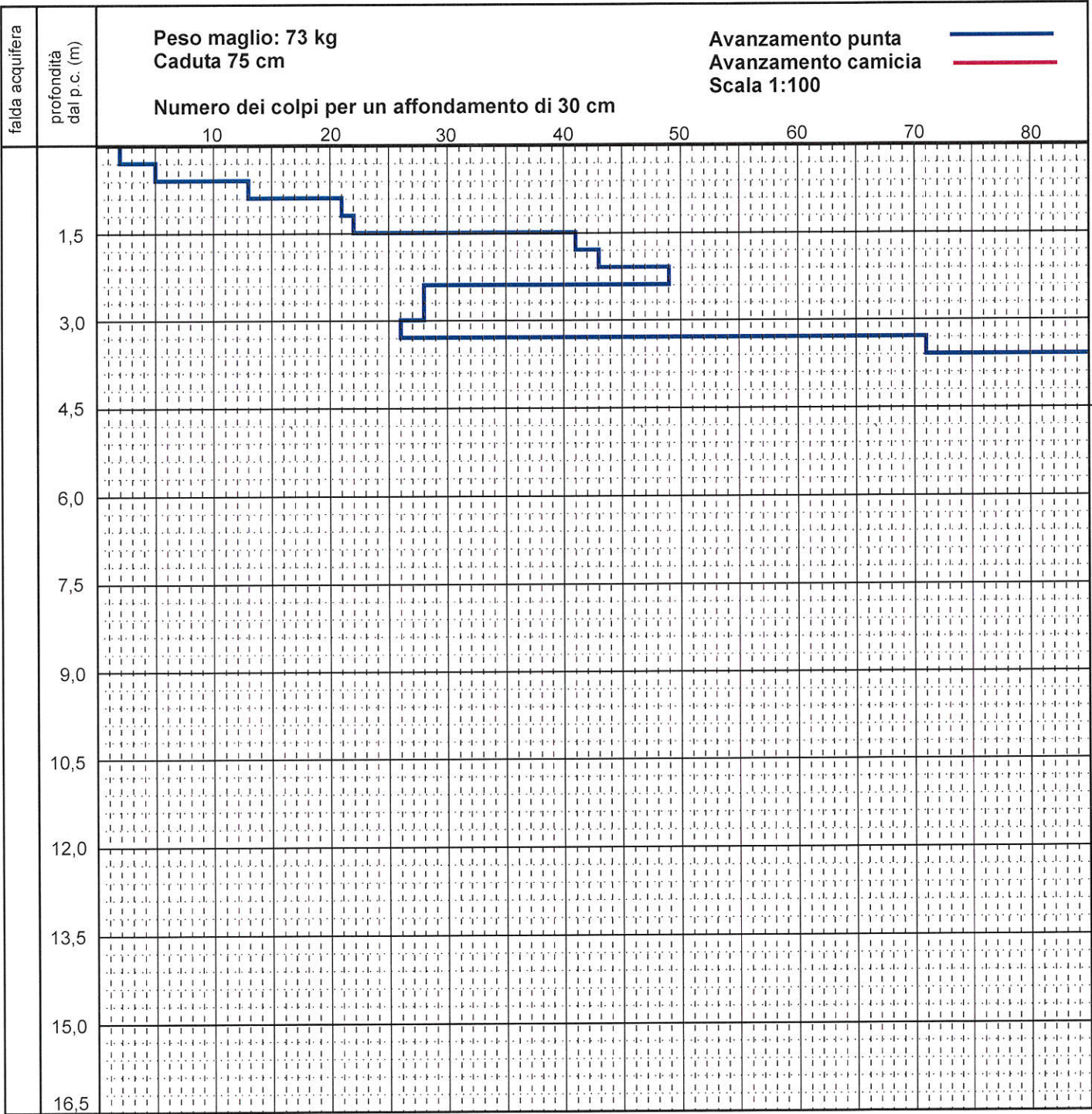


PROVA PENETROMETRICA N° 2

Data: 26/09/2008

Località: Via Malocche - Loc. Malocche - Lonato del Garda (BS)

Committente: Sig.ra Tomasi Laura



SITO 3

Via Colombara loc. Trivellino

Lonato del Garda (BS)

N°1 Pozzo

Maltini geom. Dionigio e Renato s.n.c.

Sede: 46040 SOLFERINO (MN)
via Pellegrine n. 4/m.
tel. e fax 0376 854043

P.IVA n. 03012180206
COD. A. MN 141193
Is. Trib. MN 10750
A.N.C. 3262409

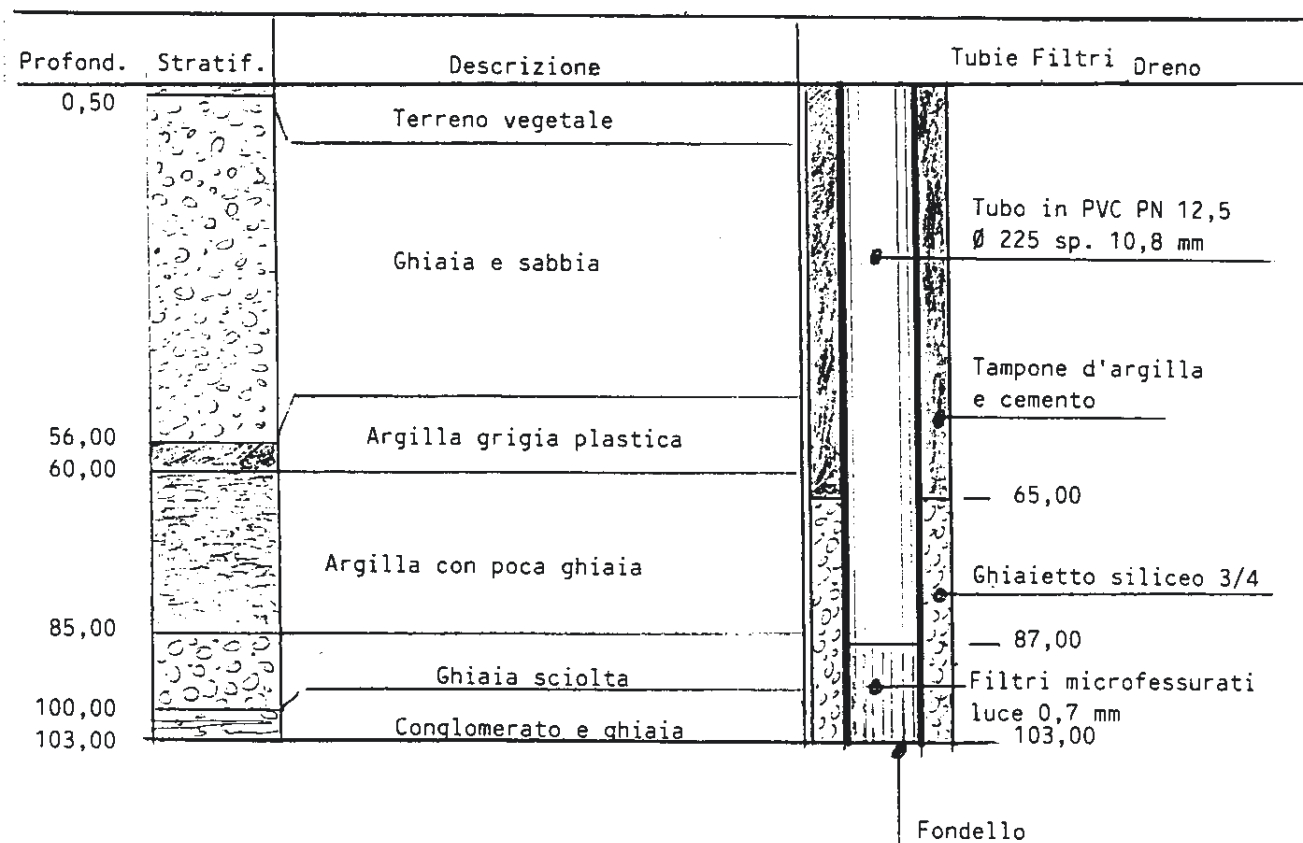


QUALIFICAZIONE SOA
CATEGORIA: OG 06 N.5285/10/00

Associata ANIPA - Associazione
Nazionale Imprese Pozzi Acqua

Spett.Le
AZ. AGR. BATTAGLIA GIANFRANCO,
GIORDANO e CLAUDIO S.S.
Via Colombara
25017 LONATO (BS)

POZZO IN LONATO 2006



Livello Statico ml. 36,00
Livello Dinamico ml. 37,20 Portata lt/sec. 3,00
Livello Dinamico ml. 38,05 Portata lt/sec. 6,00

-MALTINI-