

Comune di
CASATENOVO
(Provincia di Lecco)

Committente:

Studio TAU - Studio di Architettura e Urbanistica, con sede in via G. Verdi n. 14 a Villasanta (MB)

Relazione Geologica

ai sensi della DGR 2616/2011 e del D.M. 17/01/18 - R1 e R3

PIANO ATTUATIVO AdT01 ubicato in via Lodosa in Comune di Casatenovo (LC).

Realizzazione di un nuovo complesso residenziale con le relative opere di urbanizzazione.

Lurago d'Erba (CO), ottobre 2023

Dott. Geol. Mario Villa



SOMMARIO

1	PREMESSA.....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
3	FATTIBILITA' GEOLOGICA E REGIME VINCOLISTICO (DGR 2616/2011).....	6
3.1	Fattibilità geologica.....	6
3.1.1	Fattibilità geologica – aggiornamento PGT luglio 2023.....	7
3.2	Pericolosità sismica locale (PSL).....	7
3.2.1	Pericolosità sismica locale (PSL – aggiornamento PGT luglio 2023.....	8
3.3	Vincoli.....	8
3.3.1	Vincoli – aggiornamento PGT luglio 2023.....	8
3.4	Direttiva alluvioni.....	9
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO.....	12
4.1	Caratteri geomorfologici.....	12
4.2	Caratteri geologici.....	13
4.3	Caratteri Idrogeologici.....	14
4.3.1	Assetto piezometrico locale.....	16
5	INDAGINI IN SITO.....	18
5.1	Prova penetrometrica dinamica.....	18
5.2	Prospezione sismica passiva a stazione singola HVSR - Tromografia.....	20
5.2.1	Principi metodologici.....	20
5.2.2	Risultati.....	22
5.2.3	Inversione vincolata HVSR.....	22
6	RISULTATI DELL'INDAGINE E MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO.....	24
6.1	Risultati dell'indagine.....	24
6.2	Modello geotecnico del sottosuolo.....	25
7	ASPETTI SISMICI.....	28
7.1	Sismicità storica e contesto geodinamico.....	28
7.2	Sismicità di base dell'area.....	29
7.3	Analisi di risposta sismica locale di II° livello.....	31
7.3.1	Determinazione della categoria sismica di sottosuolo.....	32
7.3.2	Individuazione della scheda di valutazione semplificata.....	35

7.3.3	Calcolo del periodo proprio di sito.....	36
7.3.4	Calcolo del Fattore di amplificazione locale (Fa).....	37
7.3.5	Confronto tra i valori calcolati e i valori di soglia comunale	38
7.4	Determinazione delle azioni sismiche di progetto.....	40
7.5	Analisi della suscettibilità alla liquefazione	42
7.6	Cedimenti post-sismici.....	43
7.6.1	Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni coesivi	44
7.7	Calcolo dei cedimenti post-sismici	45
8	CONCLUSIONI.....	46

TAVOLE

Tav. 1 – Inquadramento geografico

Tav. 2 – Carta della fattibilità geologica

Tav. 2a – Carta della fattibilità geologica – luglio 2023

Tav. 3 – Carta della pericolosità sismica locale

Tav. 3a – Carta della pericolosità sismica locale – luglio 2023

Tav. 4 – Carta dei Vincoli

Tav. 4a – Carta dei Vincoli – luglio 2023

Tav. 5 – Inquadramento geologico

Tav. 6 – Inquadramento idrogeologico

Tav. 7 – Ubicazione dei punti di indagine

Tav. 8 – Sezione geotecnica

ALLEGATI

1. Tabulati e grafici prove penetrometriche dinamiche
2. Report indagine sismica HVSR

1 PREMESSA

Su incarico di Studio TAU – Studio di Architettura e Urbanistica, con sede in via G. Verdi n. 14 a Villasanta (MB) e per conto dei Lottizzanti PA AdT01 di Via Lodosa – Casatenovo (LC), è stata condotta un'indagine geologico-geotecnica e sismica a supporto dell'intervento di realizzazione di un nuovo complesso residenziale costituente il “*Piano Attuativo - AdT1 di via Lodosa*”, di prossima realizzazione in via Lodosa a Casatenovo (LC).

La presente relazione contiene valutazioni in merito alla fattibilità ai sensi della DGR 2616/2011 (Componente geologica, idrogeologica e sismica dei PGT).

Il Comune di Casatenovo ha adottato a fine luglio 2023 una variante al PGT comunale con aggiornamento della Componente Geologica. Pertanto la presente relazione farà riferimento sia alla Componente geologica vigente che a quella adottata ed in attesa di diventare vigente.

La relazione viene redatta inoltre ai sensi del D.M. 17.01.2018 (Norme tecniche per le Costruzioni, aggiornamento NTC2018) e delle successive circolari ministeriali che fissano le norme tecniche per le indagini sui terreni con indicazioni geologiche e geotecniche riguardo alle scelte del progetto definitivo, considerando anche gli aspetti sismici per la progettazione.

In base ai risultati d'indagine la presente relazione contiene la descrizione delle condizioni geologico-idrogeologiche e sismiche al contorno e una valutazione delle possibili soluzioni fondazionali che si potranno adottare per l'intervento edilizio in progetto.

Le opere in progetto rientrano nella **tipologia 2 (Costruzioni Ordinarie)** così come definita al punto 2.4.1 del D.M. 17/01/18, per le quali la vita nominale è stabilita in **50 anni**, e nella **classe d'uso II** tra quelle previste al punto 2.4.2 del sopracitato D.M.; conseguentemente il periodo di riferimento dei fenomeni naturali da considerare nella valutazione delle azioni ambientali di progetto è pari a 50 anni che, considerando una probabilità di superamento pari al 10% (Stato Limite di salvaguardia della Vita), determina un tempo di ritorno dell'evento di 475 anni.

L'indagine in sito è consistita nell'esecuzione di:

- *n° 8 prove penetrometriche dinamiche continue necessarie alla valutazione dei parametri geotecnici del sottosuolo, suddivise in due campagne di indagini: la prima condotta nell'aprile 2017 (PPD 1÷4) e la seconda condotta in giugno 2022 (PPD 5÷6);*
- *a giugno 2022, inoltre, è stata condotta n° 1 indagine sismica passiva tipo HVSR, utile alla definizione della categoria sismica di sottosuolo del sito di progetto.*

L'ubicazione dei punti d'indagine è mostrata nella **Tav. 7 – Ubicazione dei punti di indagine** allegata alla presente relazione.

L'ubicazione dell'area di intervento è mostrata nella seguente immagine satellitare e nell'allegata **Tavola 1 – Inquadramento geografico** è riportato un inquadramento geografico dell'area in oggetto su Carta Tecnica Regionale (Sez. B5d3).

L'area in esame si trova nella porzione nord-occidentale del territorio comunale in prossimità del confine col territorio comunale di Correzzana (MB).

Il territorio comunale nella porzione in esame si presenta debolmente inclinato verso S con quote comprese tra circa 270 e 290 m s.l.m.. In particolare, l'area è ubicata a circa 281m (fonte CTR).

L'area d'intervento risulta inserita in un contesto urbano a prevalente vocazione residenziale.

Nella seguente figura è visibile un estratto da ortofoto con evidenziata l'area d'intervento.



Figura 1.1 – Ubicazione area di intervento (Google Earth)

Sulla base dei risultati acquisiti con l'indagine in sito e delle conoscenze geologiche, idrogeologiche e geotecniche locali, saranno affrontate nella presente relazione le seguenti tematiche:

- inquadramento geomorfologico, geologico ed idrogeologico del sito in esame;
- determinazione dei parametri geotecnici dei terreni di fondazione;
- definizione del modello geotecnico del sottosuolo;
- determinazione dei parametri sismici dei terreni di fondazione;
- valutazione della compatibilità dell'intervento ai sensi dello strumento di pianificazione comunale (PGT).

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [1] D.M. Infrastrutture e Trasporti 17.01.18 – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni
- [2] C.S.LL.PP – Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 contenente le Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
- [3] D.M. Infrastrutture e Trasporti 14.01.08 – Norme Tecniche per le Costruzioni
- [4] Circolare 02.02.09 n°617 Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.08
- [5] D.G.R. 30.11.2011 n° IX/2616 – Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio
- [6] D.G.R. 11.07.2014 n° X/2129 – Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia
- [7] L.R. 12.10.2015 n° 33 – Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche
- [8] D.G.R. 30.03.2016 n° X/5001 – Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica

3 FATTIBILITA' GEOLOGICA E REGIME VINCOLISTICO (DGR 2616/2011)

Nei paragrafi seguenti vengono esaminate le relazioni dell'area di intervento con gli aspetti relativi alla fattibilità geologica, alla pericolosità sismica locale e ai vincoli idrogeologici desunti dalla componente geologica di supporto al PGT del comune di Casatenovo vigente e dall'aggiornamento adottato a luglio 2023; viene inoltre considerato il rapporto dell'area di intervento con il Piano di Gestione Rischio Alluvioni.

3.1 Fattibilità geologica

Nello studio geologico di supporto al vigente Piano di Governo del Territorio del Comune di Casatenovo, l'ambito di intervento è compreso all'interno della *Classe di fattibilità geologica 3* – fattibilità con consistenti limitazioni.

In tale classe sono raggruppate le aree per le quali l'utilizzazione "sarà subordinata quindi all'esecuzione di indagini supplementari, quali campagne geognostiche, prove in situ e di laboratorio o studi tematici specifici (idrogeologici, ambientali, pedologici ecc.), utili ad una definizione più completa delle caratteristiche geologiche-tecniche del sito."

A tale classe appartiene la quasi totalità del territorio centro-meridionale di Casatenovo, nella quale ricade anche l'area in esame.

È segnalata la presenza di depositi superficiali pedogenizzati dalle caratteristiche geomeccaniche scadenti e la possibile presenza di cavità e condotte (vuote o riempite) legate a fenomeni di piping, note come "occhi pollini".

Le indagini condotte, tuttavia, non hanno permesso di rilevare tali strutture lungo le verticali indagate. Le indagini geologiche e geotecniche dovranno in ogni caso consentire la definizione della locale situazione idrogeologica e dei parametri geomeccanici caratteristici, da utilizzare per il corretto dimensionamento delle strutture di fondazione, con verifiche geotecniche finalizzate al calcolo della capacità portante e dei cedimenti in relazione ai carichi di progetto.

La bassa permeabilità dei depositi superficiali, inoltre, unita alla blanda morfologia presente, se da un lato garantisce una buona protezione degli acquiferi, dall'altro consente un diffuso ruscellamento superficiale che durante condizioni di pioggia intensa può comportare fenomeni di ristagno di acqua e di erosione superficiale.

L'area, in particolare nella porzione SE è sovente soggetta alla formazione di un'ampia zona di ristagno in occasione di intensi eventi meteorici.

Le indagini condotte hanno permesso di definire il contesto geologico-geotecnico, idrogeologico, e sismico sitespecifico, descritto in dettaglio nei capitoli seguenti.

Uno stralcio della carta di fattibilità geologica del PGT (adottato a fine luglio 2023) con l'ubicazione dell'area di intervento è mostrato nella **Tavola 2a – Carta della fattibilità geologica – luglio 2023**, allegata al presente documento.

3.1.1 Fattibilità geologica – aggiornamento PGT luglio 2023

Nell'aggiornamento dello studio geologico di supporto alla variante del Piano di Governo del Territorio del Comune di Casatenovo (adottata a fine luglio 2023), l'ambito di intervento è compreso all'interno della *Classe di fattibilità geologica 3 – fattibilità con consistenti limitazioni*. In particolare l'area è attribuita alla *sottoclasse 3b - Occhi Pollini: Area ad alto grado di suscettività*.

Per tale area sono individuati i seguenti fattori limitanti:

- alto rischio di presenza di occhi pollini (cavità) che possono compromettere le caratteristiche geotecniche dei terreni;
- possibili terreni eterogenei con orizzonti sciolti-molli, limitata capacità portante dei terreni superficiali, cavità sepolte.

Le indagini condotte hanno permesso di definire il contesto geologico-geotecnico, idrogeologico, e sismico sitespecifico, descritto in dettaglio nei capitoli seguenti. Le indagini in sito non hanno evidenziato la presenza di chiare cavità nel sottosuolo ma un livello superficiale con scadente grado di addensamento probabilmente più ricollegabile alla presenza di un elevato spessore alterato di suolo e sottosuolo.

La realizzazione di opere disperdenti delle acque piovane dovrà essere valutata puntualmente con apposite indagini in base alla presenza o meno di cavità (occhi pollini). L'individuazione di cavità comporta l'esclusione di opere disperdenti delle acque nel terreno.

3.2 Pericolosità sismica locale (PSL)

Per quanto attiene alla pericolosità sismica locale del sito di intervento, il citato studio geologico di supporto al PGT comunale ascrive l'ambito di progetto allo scenario *Z2 – zona con terreni di fondazione localmente scadenti (terreni granulari fini e/o coesivi) e presenza di particolari strutture vacuolari o cavità nel sottosuolo (“occhi pollini”)*; a tale scenario si attribuiscono, in condizioni di eccitazione sismica, possibili effetti di cedimento da verificare.

Uno stralcio della zonazione di pericolosità sismica locale (PSL) con l'ubicazione dell'area di intervento è mostrata nella **Tavola 3 – Carta della pericolosità sismica locale**, allegata al presente documento.

3.2.1 Pericolosità sismica locale (PSL – aggiornamento PGT luglio 2023)

Nell'aggiornamento dello studio geologico di supporto alla variante del Piano di Governo del Territorio del Comune di Casatenovo (adottata a fine luglio 2023), l'ambito di intervento, a differenza di quanto indicato nel precedente studio è attribuito allo scenario *Z4c – zona morenica con la presenza di depositi granulari e/o coesivi*; a tale scenario si attribuiscono, in condizioni di eccitazione sismica, possibili effetti di amplificazioni litologiche e geometriche da verificare.

Uno stralcio della zonazione di pericolosità sismica locale (PSL) (aggiornamento Componente geologica del PGT adottato a fine luglio 2023) con l'ubicazione dell'area di intervento è mostrata nella **Tavola 3a – Carta della pericolosità sismica locale – luglio 2023**, allegata al presente documento.

3.3 Vincoli

Per quanto attiene al regime vincolistico l'area di intervento non ricade in alcun ambito sottoposto a vincoli di natura geologica o idrogeologica o di natura paesaggistico ambientale. L'area risulta localizzata al di fuori delle fasce di rispetto delle opere di captazione di acqua destinata al consumo umano, secondo quanto indicato dai DLgs 152/2006 e DGR 7/12693-042003. Si sottolinea a tal proposito come la natura stessa dell'intervento edificatorio in progetto escluda la possibilità di alterazione della situazione chimico-batteriologicala della falda sotterranea.

Le opere di captazione pubblica più vicina al sito di indagine risultano situate molto più a nord, in prossimità del confine con il comune di Monticello.

Uno stralcio della Carta dei vincoli del vigente PGT allegato al presente documento: **Tavola 4 – Carta dei Vincoli**.

3.3.1 Vincoli – aggiornamento PGT luglio 2023

Anche nell'aggiornamento della Componente geologica del PGT adottato a fine luglio 2023 all'area non è attribuito alcun vincolo di natura geologica o idrogeologica o di natura paesaggistico ambientale.

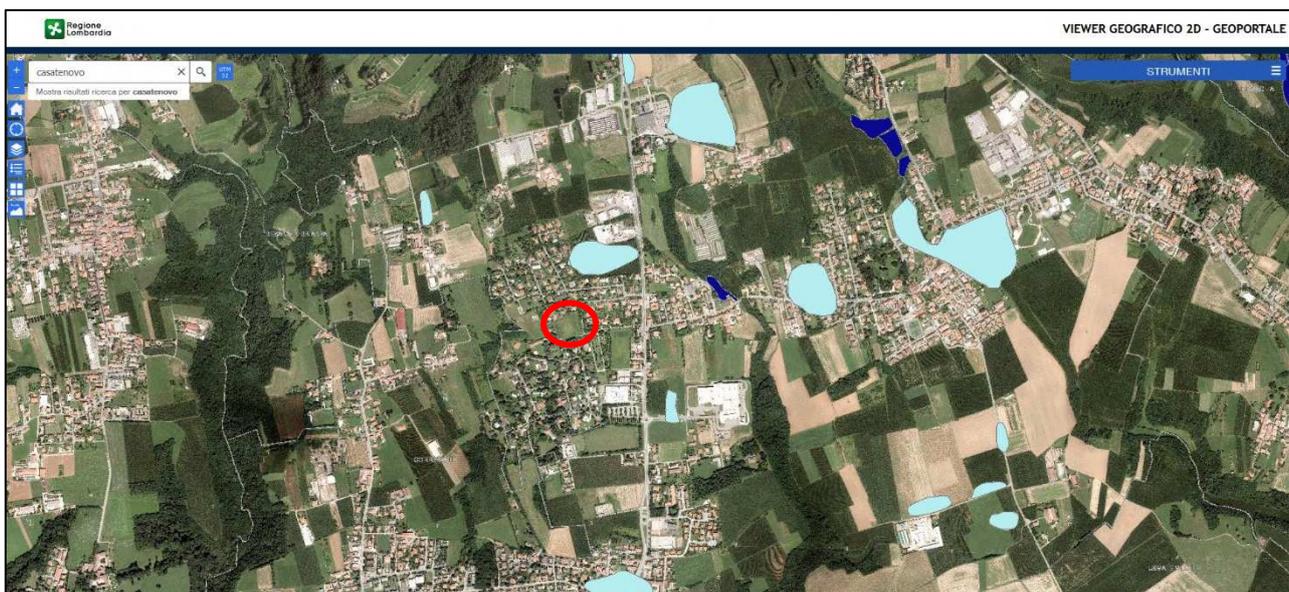
Uno stralcio della Carta dei vincoli tratto dall'aggiornamento della Componente geologica del PGT adottato a fine luglio 2023 è mostrato nella **Tavola 4a – Carta dei Vincoli – luglio 2023**, allegata al presente documento.

3.4 Direttiva alluvioni

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) è stato adottato con deliberazione n.4 nella seduta del 17 dicembre 2015 e approvato con deliberazione n. 2 del 3 marzo 2016 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.

Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni è lo strumento operativo previsto dal d.Lgs. 49/2010, in 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.

Nella seguente *Figura 3.1*, che restituisce uno stralcio riferito all'area di progetto della mappatura "Direttiva Alluvioni 2007/60/CE - revisione 2022" (estratta dal viewer geografico del Geoportale della Regione Lombardia), si evidenzia l'assenza di criticità idraulica.



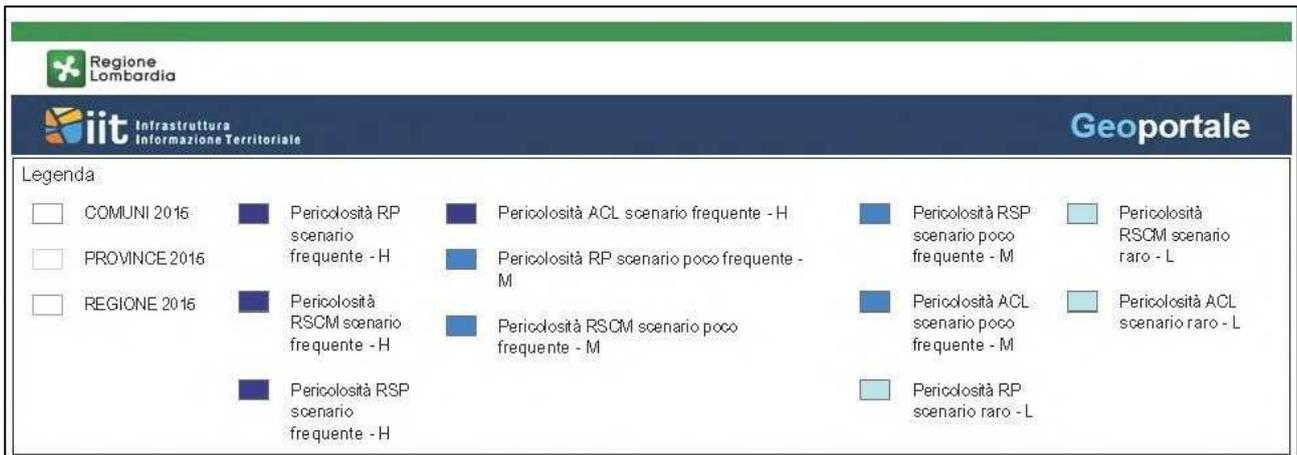
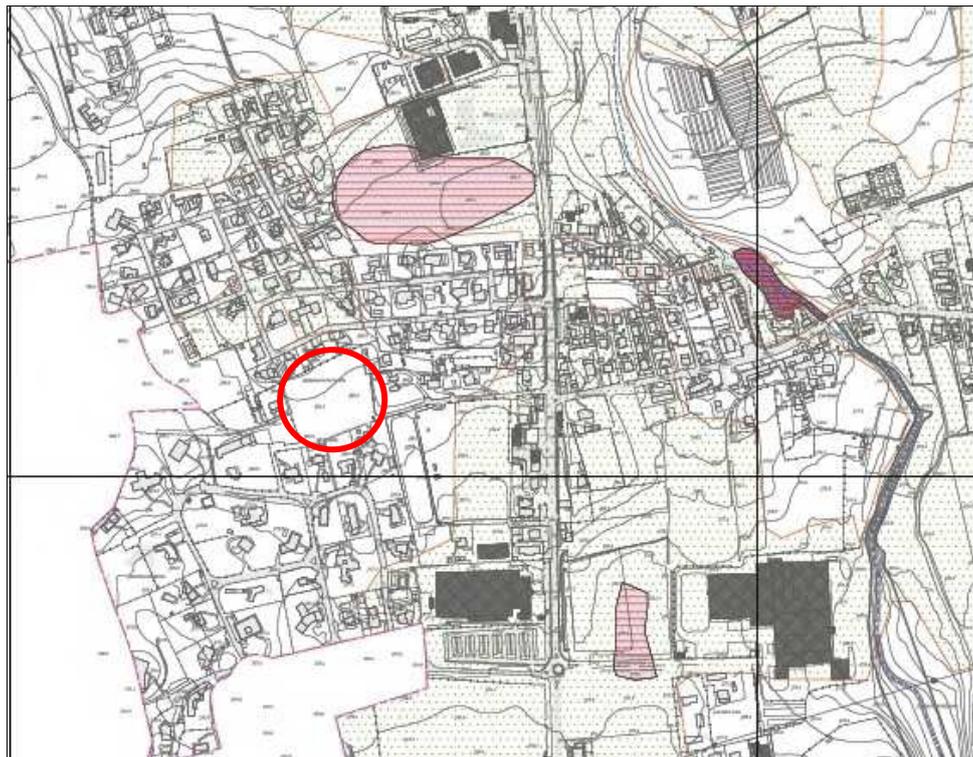


Figura 3.1 – Direttiva Alluvioni-Geoportale Regione Lombardia

Nella seguente *Figura 3.2* è riportato uno stralcio dalla TAV 2/b - CARTA PAI_PGPA, tratta dalla Componente geologica del PGT adottato a luglio 2023.

In tale tavola si evidenzia l'assenza di criticità idraulica, in accordo con quanto riportato in *Figura 3.1*.



Studio di Gestione del Rischio idraulico (NT capitolo 8)

 Area di ristagno e/o insufficienza rete fognaria (fonte: Studio di gestione del rischio idraulico)

Aree in dissesto PAI (NT capitolo 5)

Aree franose

-  FRANE: Area di frana attiva (Fa)
-  FRANE: Area di frana quiescente (Fq)
-  FRANE: Area di frana stabilizzata (Fs)

Esondazioni e dissesti di carattere torrentizio

-  ESONDAZIONI: Area a pericolosità molto elevata (Ee)
-  ESONDAZIONI: Area a pericolosità media o moderata (Em)

Piano di gestione dei rischi di alluvione PGRA (NT capitolo 6)

Reticolo secondario collinare e montano - RSCM

-  H - Aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti
-  L - Aree potenzialmente interessate da alluvioni rare

Rischio PGRA

 Numero abitanti coinvolti

 R4 - rischio molto elevato

Figura 3.2 – Estratto dalla TAV 2/b CARTA PAI_PGRA; Componente geologica PGT adottato a luglio 2023.

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

L'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico del sito di progetto è stato desunto dallo studio geologico di supporto al PGT del comune di Casatenovo e dalla documentazione relativa al foglio geologico n° 96 – Seregno, della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Progetto CARG.

4.1 Caratteri geomorfologici

Il territorio del Comune di Casatenovo è caratterizzato dalle morfologie e dai depositi glaciali del cosiddetto “Lobo della Brianza” appartenente al complesso glaciale dell'Adda, predominato, infatti, dall'apparato morenico edificato durante le glaciazioni plioquaternarie.

Le fasi erosive e di accumulo, legate al susseguirsi dell'esarazione e dell'ablazione delle propaggini meridionali del ghiacciaio, hanno plasmato il paesaggio del settore settentrionale della Brianza, formando i dossi e le zone tabulari più elevate. Queste condizioni hanno contribuito alla formazione di paleoalvei successivamente colmati, formati dai corsi d'acqua sfocianti dalle vallate alpine e/o dagli scaricatori, temporanei, degli apparati morenici. Tali colline moreniche si compenetrano a valle con i lembi residui appartenenti alle antiche superfici deposizionali di origine fluvioglaciale, formatesi in seguito all'azione di trasporto e deposizione ad opera degli scaricatori glaciali.

La morfologia glaciale attualmente rilevabile è il risultato di agenti morfogenetici quali l'erosione, il trasporto e la deposizione ad opera della massa glaciale (Glaciale Riss e Wurm) e l'azione di lisciviazione e di deposito ad opera delle acque di fusione dei ghiacci e delle fiumane glaciali (Fluvioglaciale Mindel, Riss e Wurm).

Nello specifico, nel territorio circostante al Comune di Casatenovo si ricollegano tre dorsali principali di colline che rappresentano la testimonianza degli anfiteatri morenici di età wurmiana e rissiana:

- dorsale Marone-Monticello Torrevilla di età wurmiana, che rappresenta una porzione dell'anfiteatro morenico che unisce Inverigo, Briosco, Besana e Viganò;
- dorsale Cortenuova-Mattione, sempre di età wurmiana, rappresenta una porzione di anfiteatro minore interno al precedente;
- dorsale Sorino-C.na Orfanella, di età rissiana, che rappresenta parte dell'anfiteatro morenico che caratterizza i territori di Giussano, Verano, Carate, Casatenovo e Missaglia.

L'area in oggetto si trova in corrispondenza di una zona subpianeggiante, debolmente inclinata verso S; non sono presenti particolari elementi morfologici visto anche il significativo grado di antropizzazione.

Nei dintorni dell'area gli unici elementi geomorfologici segnalati sono rappresentati dalla presenza di un paleoalveo circa 100m a W dell'area in esame e di una zona caratterizzata da ristagno idrico (pericolosità media o moderata) superficiale circa 150/200m a NNE dell'area.

In corrispondenza della porzione SE dell'area è segnalata la presenza di una zona morfologicamente depressa.

Non esistono ulteriori evidenze morfologiche degne di nota; in particolare si segnala l'assenza nell'area e nell'immediato circondario di forme e/o depositi riconducibili all'esistenza di dissesti, sia attivi che quiescenti, quali accumuli di frana, orli di frana, orli di scarpata in erosione, tracce di ruscellamento etc., etc..

4.2 Caratteri geologici

Per quanto concerne la struttura geologica dell'area essa appare generalmente caratterizzata dalla presenza di depositi quaternari di origine continentale. Al gruppo delle formazioni costituenti la coltre continentale, appartengono depositi glaciali s.s., fluvioglaciali, fluviali e localmente lacustri.

Il ciclo continentale quaternario, generalmente, è suddivisibile in due grandi fasi:

- fase pleistocenica pluviale-fluviale, legata a fenomeni glaciali e fluvioglaciali,
- fase olocenica postglaciale (alluvioni).

Tali cicli deposizionali sono caratterizzati dall'alternarsi di fasi glaciali e fluvioglaciali che hanno rielaborato gli accumuli detritici presenti nell'area.

Per quanto riguarda la geologia di superficie l'area oggetto di studio è caratterizzata, secondo la classificazione territoriale adottata in accordo con le unità formazionali di superficie dal progetto CARG – Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 e ripresa anche dallo studio geologico del PGT comunale, dai depositi appartenenti *Sintema della Specola (PEO)*, cronologicamente riferibile al *Pleistocene medio*. Tali depositi sono qui costituiti da depositi in facies glaciale morenica (till indifferenziato), caratterizzati da diamicton massivi a supporto di matrice e clastico. Il colore della matrice sabbioso-limosa o limoso-argillosa è 5YR, 7.5YR e 10YR con screziature e venature di colore 2.5YR; sono abbondanti le patine di Fe/Mn. L'alterazione è spinta sino a 6-8 m di profondità con interessamento di circa 80% dei clasti. I clasti presentano dimensioni variabili da centimetriche a circa 40cm. È possibile la presenza di una copertura loessica.

La morfologia è caratterizzata da blandi dossi allungati a morfologia relitta e piane fluvioglaciali abbastanza conservate.

Un estratto dalla cartografia allegata al PGT comunale con l'inquadramento geologico dell'area in esame è riportato nell'allegata **Tav 5 – Inquadramento geologico**, mentre un estratto dalla

cartografia CARG – Foglio 96 Seregno (fonte ISPRA) con l'inquadramento geologico dell'area in esame è riportato nella seguente figura.

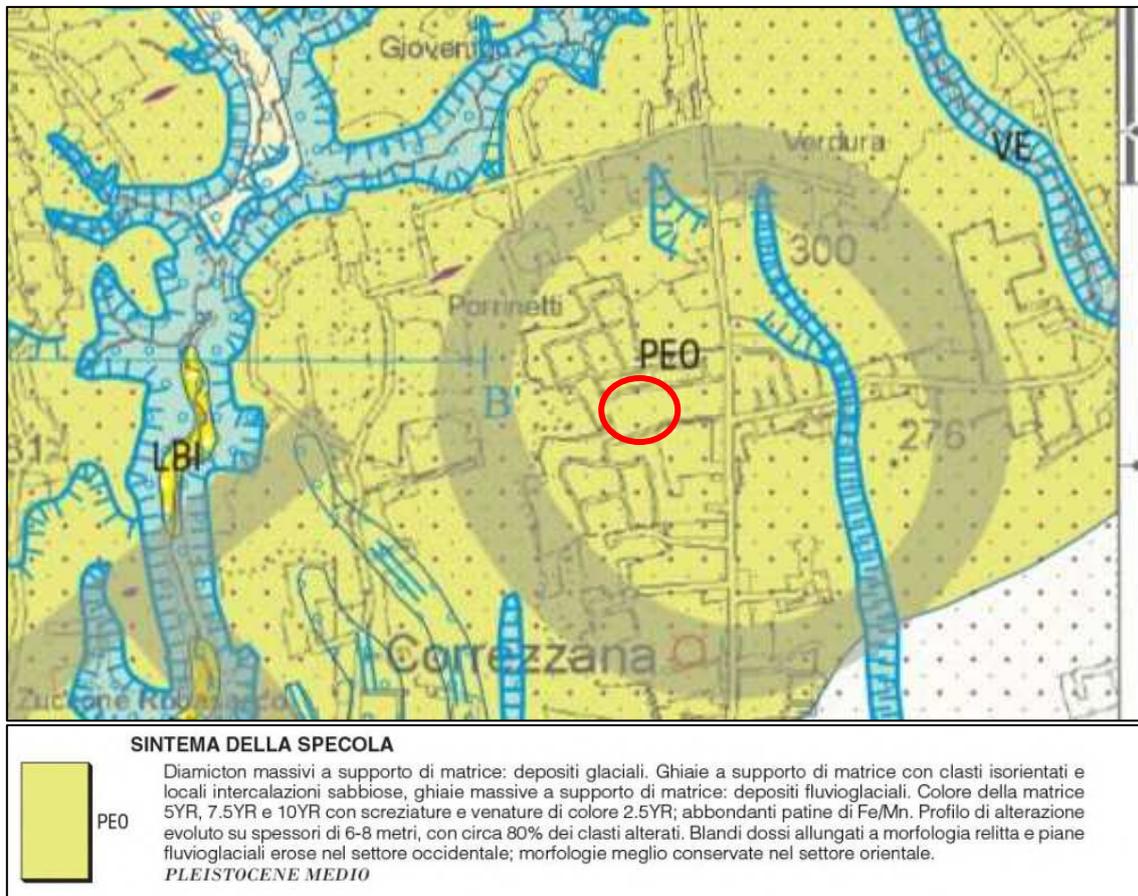


Figura 4.1 – Stralcio Foglio geologico n.96 – Seregno – Progetto CARG

4.3 Caratteri Idrogeologici

L'attuale conformazione strutturale del territorio è da imputare all'azione glaciale che, attraverso fenomeni di deposizione ed escavazione profonda delle strutture prequaternarie, ha determinato la deposizione di estese cerchie moreniche; alla serie di rilievi morenici e piane intermoreniche, si intervallano locali elevazioni del substrato roccioso prequaternario.

La morfologia di quest'ultimo, sia esso affiorante o sepolto, è caratterizzata dalla presenza di strutture di "alto" disposte secondo una direzione OvestNordOvest-EstSudEst, in accordo con la struttura a pieghe del pedemonte comasco.

Per i caratteri litologico-strutturali le unità appartenenti al substrato roccioso possono ritenersi scarsamente permeabili e improduttive ai fini dello sfruttamento delle risorse idriche sotterranee.

L'andamento in profondità del substrato roccioso prequaternario condiziona la circolazione idrica sotterranea che si realizza solo laddove la profondità dello stesso è più cospicua e la coltre dei depositi quaternari presenta uno spessore di una certa entità.

Nell'area pedemontana la serie sovrastante il substrato roccioso è contraddistinta dall'unità delle argille villafranchiane, alla quale sono intercalate lenti ghiaioso-sabbiose, che possono essere sede di falde confinate, in genere con circolazione idrica limitata e talora facies idrochimica negativa per gli approvvigionamenti idrici.

Al di sopra di questa litozona argillosa, che per le scarse caratteristiche di permeabilità costituisce normalmente il sostegno della falda più superficiale, compaiono terreni a maggiore granulometria rappresentati da litotipi conglomeratici, ghiaioso-sabbiosi e ghiaioso-limosi, separati da lenti argilloso-limose perlopiù discontinue.

Tra di essi è d'uso operare una suddivisione tra i litotipi prevalentemente conglomeratici ("Ceppo" Auct.) che compaiono verso la base e la soprastante serie glaciale quaternaria, identificata in ordine temporale dalle unità Mindel, Riss e Würm Auct.

I conglomerati tipo "Ceppo" formano generalmente il primo acquifero a falda libera, in quanto la soprastante serie Mindel-Riss-Würm Auct. risulta generalmente improduttiva per le scarse caratteristiche di permeabilità, o insatura per l'elevata profondità del livello piezometrico.

La serie glaciale quaternaria sovrastante il "Ceppo" (o talora direttamente al substrato impermeabile sia esso rappresentato dal substrato roccioso o da argille villafranchiane) presenta sotto l'aspetto litologico marcate variazioni laterali e verticali nei caratteri granulometrici e di stato di fessurazione, che condizionano il flusso e l'immagazzinamento delle risorse idriche sotterranee.

Gli orizzonti più produttivi sono invece rinvenibili in settori localizzati in cui sono presenti forti accumuli ghiaioso-sabbiosi ("paleoalvei"), come a Sud di Rimoldo e Valaperta in territorio di Usmate Velate (pozzi n.1 e 2), costituiti prevalentemente dai sedimenti fluviali del Würm Auct.

Mentre i termini würmiani risultano impostati nelle valli della Roggia Nava e del T. Lavandaia, i fluviali più antichi (Riss e Mindel Auct.) occupano "paleovalli sepolte" la cui morfologia superficiale non sempre permette una chiara e precisa identificazione.

Queste strutture idrogeologiche sono particolarmente importanti poiché costituiscono zone preferenziali per la ricarica degli acquiferi ad opera delle acque di infiltrazione (fluviali e meteoriche) e consentono il trasferimento delle acque sotterranee dalle zone pedemontane a quelle di alta e media pianura.

Le strutture di paleoalveo formate dai terreni più recenti contengono una falda libera che è in comunicazione con quella contenuta nel "Ceppo" e pertanto tali unità possono essere accomunate nella definizione di "primo acquifero".

La presenza di alti strutturali del substrato roccioso o argilloso villafranchiano, come precedentemente accennato, implica una situazione idrogeologica particolarmente sfavorevole; lo spessore significativo raggiunto in alcuni casi dalla coltre quaternaria non consente in ogni caso uno sfruttamento delle risorse idriche a causa della litologia dei sedimenti morenici caratterizzati da una permeabilità limitata.

L'approvvigionamento idrico dei comuni posti in quest'area risulta di conseguenza difficoltoso e viene in genere effettuato accentrando i pozzi nelle strutture locali più favorevoli (strutture di paleoalveo), nelle quali generalmente gli acquiferi sono contenuti nel "Ceppo" o all'interno dei depositi fluviali più recenti.

Migliore appare la situazione delle aree poste a Sud del territorio di Casatenovo, dove si assiste ad un ispessimento della coltre dei depositi quaternari ed alla conseguente presenza di acquiferi di maggiore potenzialità, contenuti all'interno dell'unità idrogeologica del Ceppo e negli orizzonti sabbioso-ghiaiosi della sottostante serie argillosa.

In termini di potenzialità nel settore in esame si hanno valori di trasmissività dell'acquifero superficiale contenuto nel "Ceppo" piuttosto ridotti, in quanto lo spessore saturo risulta generalmente inferiore a 10-20 m, oppure risulta del tutto esaurito come a Correzzana e nel settore occidentale del Comune di Casatenovo.

Queste caratteristiche idrogeologiche sono inoltre sfavorite dall'affioramento di terreni scarsamente permeabili (Riss e Mindel Auct.) che limitano l'infiltrazione delle acque superficiali o meteoriche.

4.3.1 Assetto piezometrico locale

Considerando gli ultimi dati disponibili desunti dal PGT comunale, il sito in esame è caratterizzato da una quota isofreatica media pari a circa 235 m s.l.m., che equivalgono ad una soggiacenza minima della superficie di saturazione principale mediamente pari a oltre 45 m da p.c., con direzione di scorrimento sotterranea locale circa NNE – SSW.

L'indagine geognostica in situ non ha rilevato alcuna falda idrica superficiale sino alle massime profondità investigate (11,1m), in accordo con le caratteristiche idrogeologiche note del sito.

In base a quanto riportato si ritiene di poter escludere la possibilità di interferenze dirette tra gli interventi edilizi e le acque della falda principale.

Si evidenzia come in terreni analoghi, nei dintorni dell'area in esame e/o in terreni assimilabili, è emersa nei primi metri del sottosuolo la locale formazione di livelli in cui si concentrano le acque in occasione di eventi meteorici intensi e prolungati. Essi scorrono in livelli a maggior permeabilità sostenuti da livelli fini; tali livelli idrici, spesso discontinui sia arealmente che sulla verticale e di limitata entità, seguono di norma l'andamento della superficie topografica e sono soggetti ad

oscillazioni in conseguenza delle precipitazioni del periodo. Tali falde sospese sono dipendenti dalla diversa permeabilità tra i vari strati di terreno sciolto e/o dalla presenza di livelli cementati o poco permeabili a basse profondità.

Considerando le caratteristiche strutturali in progetto (assenza di piani interrati) e le condizioni idrogeologiche descritte è da escludersi una diretta interazione con la falda freatica principale ma è da tenere in considerazione, in fase di progettazione, la possibilità, seppur remota, di interferenze tra gli scavi per le fondazioni acque sospese subsuperficiali.

Si dovrà pertanto prevedere, in fase di progettazione, un adeguato sistema di drenaggio e raccolta delle acque superficiali e subsuperficiali, con conseguente smaltimento in recettore diverso dal suolo o primo sottosuolo visto l'assetto geologico e idrogeologico non favorevole all'installazione di sistemi disperdenti.

Il sistema andrà progettato a valle di approfondimenti specifici ed andrà dimensionato correttamente per smaltire le piogge calcolate sulla base dei dati pluviometrici disponibili (es. dati pluviometrici Arpa Lombardia).

Uno stralcio della Tavola idrogeologica del PGT comunale con l'inquadramento idrogeologico dell'area in esame è riportato nella **Tavola 6 – Inquadramento idrogeologico**, allegata alla presente relazione.

5 INDAGINI IN SITO

Al fine di ottenere i parametri necessari per la definizione del modello geologico-geotecnico e stratigrafico locale e per la caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione delle opere in progetto, sono stati considerati i risultati ottenuti da n°8 prove penetrometriche condotte in sito (PPD 1-4 condotte in aprile 2017 e PPD 5÷6 condotte in giugno 2022); in aggiunta sono stati considerati i risultati dell'indagine sismica passiva a stazione singola tipo HVSR finalizzata all'identificazione della frequenza propria di sito e alla stima della stratigrafia delle velocità di propagazione delle onde di taglio per la determinazione della categoria sismica di sottosuolo ai sensi del DM 17/01/18.

L'ubicazione planimetrica dell'indagine penetrometrica eseguita è mostrata nella **Tavola 7 – Ubicazione dei punti di indagine** allegata al presente documento.

5.1 Prova penetrometrica dinamica

La prova penetrometrica dinamica viene realizzata allo scopo di caratterizzare il sottosuolo e di ricavare i dati necessari per le verifiche geotecniche. La prova penetrometrica dinamica viene eseguita infiggendo verticalmente nel terreno per mezzo di un maglio che cade da un'altezza nota, una punta conica posta all'estremità di una batteria di aste. Il dato risultante è quello della resistenza offerta dai terreni alla penetrazione, necessario per la parametrizzazione geotecnica del sottosuolo. Le prove sono state effettuate con un penetrometro dinamico modello "Pagani TG 63-100", super - pesante (DPSH) del tipo Meardi, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

peso massa battente	73 Kg
altezza di caduta	0,75 m
lunghezza aste	0,90 m
diametro aste	32 mm
diametro punta conica	51 mm
angolo del cono	60°

Nella seguente tabella è proposta una sintesi delle prove condotte con le rispettive profondità investigate:

Prova	Profondità prova (m da p.c.)	Rifiuto meccanico
PPD1	- 10,2	NO
PPD2	- 8,4	NO
PPD3	- 8,4	NO
PPD4	- 11,1	NO
PPD5	- 7,5	NO

PPD6	- 10,2	NO
PPD7	- 7,2	NO
PPD8	- 6,3	NO

Le prove sono state arrestate a profondità comprese tra 6,3 e 11,1m dal p.c. avendo raggiunto profondità sufficienti per l'indagine in oggetto.

Tutte le prove non hanno raggiunto il rifiuto meccanico di avanzamento della punta (indice della presenza, a tali profondità, di locali blocchi e/o irregolari livelli molto addensati o cementati). Le profondità raggiunte, sommate alle conoscenze dell'area e ai dati disponibili, risultano comunque adeguate alla caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione e del settore di sottosuolo interessato dai cunei di rottura e dai bulbi di pressione generabili inferiormente alle fondazioni stesse. I diagrammi e le tabelle delle prove penetrometriche dinamiche condotte in sito sono riportati in allegato alla presente relazione.



Foto 5.1 – PPD1



Foto 5.2 – PPD2



Foto 5.3 – PPD3



Foto 5.4 – PPD4



Foto 5.5 – PPD5



Foto 5.6 – PPD6



Foto 5.7 – PPD7



Foto 5.8 – PPD8

5.2 Prospezione sismica passiva a stazione singola HVSR - Tromografia

5.2.1 Principi metodologici

La prospezione sismica passiva a stazione singola consiste nella registrazione per una adeguata estensione temporale del microtremore sismico, generato principalmente dall'azione del moto ondoso e dall'attività antropica e presente ovunque sulla superficie terrestre.

I microtremori sono costituiti prevalentemente da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh, ed in misura molto minore da onde di volume P o S; tuttavia, ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

Il fenomeno della risonanza si verifica in presenza di marcati contrasti di impedenza sismica, data dal prodotto tra densità e velocità delle onde di taglio, tra diversi strati sovrapposti e genera significative amplificazioni del segnale sismico in superficie; si definisce frequenza fondamentale di

sito la frequenza a cui una successione sedimentaria, eccitata da un impulso sismico applicato alla sua base (bedrock sismico), vibra con maggior ampiezza.

In un sistema semplice costituito da uno strato tenero (copertura sedimentaria) sovrapposto ad un semispazio rigido (bedrock), un'onda di volume SH incidente verticalmente dal basso tenderà a rimanere intrappolata nello strato tenero per riflessioni multiple (dalla superficie libera, nuovamente al bedrock e così via) e darà luogo a fenomeni di risonanza per lunghezze d'onda incidenti $\lambda = n4H$. Le frequenze a cui si manifesta la risonanza di detta onda sono descritte dalla legge:

$$f = n \frac{V_s}{4H}$$

in cui:

n = ordine del modo di vibrare (1, 3, 5, ... - fondamentale, primo superiore, etc.)

V_s = velocità media delle onde di taglio nello strato in risonanza

H = spessore dello strato in risonanza

La prova HVSR è stata eseguita in prossimità della prova penetrometrica PPD5.



Foto 5.9 – HVSR1

I segnali acquisiti, analizzati con la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), consentono di pervenire a stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo; la tecnica sfrutta la proprietà per cui la componente spettrale verticale (onde di Rayleigh) si annulla in corrispondenza delle autofrequenze dell'onda SH generando un massimo nella curva H/V in corrispondenza di tali frequenze.

Il microtremore sismico ambientale è costituito prevalentemente da onde di superficie (onde di Rayleigh e onde di Love) che si attenuano meno rapidamente delle onde di volume con la distanza.

Poiché le onde di superficie hanno velocità molto prossime a quelle delle onde di taglio S, è riconosciuta da tempo la coincidenza di frequenze tra i picchi H/V individuati da misure di microtremore e quelli individuati sfruttando come segnale registrazioni di terremoti (Mucciarelli et al., 2001).

In termini di ampiezza invece le curve H/V ottenute da microtremore possono differire da quelle ottenute da terremoto in funzione della distanza dall'epicentro. Nel campo lontano, dove dominano le onde di superficie anche negli H/V da terremoto, esiste anche coincidenza di ampiezze tra H/V da terremoto e H/V da microtremore che non si osserva necessariamente nel campo vicino dove le ampiezze H/V da terremoto possono essere anche significativamente maggiori.

5.2.2 Risultati

L'indagine sismica passiva HVSR1, condotta sul sito di progetto prossimità della prova PPD5, ha permesso di identificare un picco principale del rapporto H/V attorno alla frequenza di 3,5 Hz, con valore di circa 3, stimato a una profondità di circa 26 m da p.c. e prodotto verosimilmente dal contrasto di impedenza sismica tra le unità di copertura a diverso grado di addensamento con i termini più superficiali, probabilmente detensionati e/o alterati, del substrato lapideo prequaternario. Un picco secondario più superficiale è stato riconosciuto attorno alla frequenza di 20 Hz, con valore di circa 2, stimato a una profondità di circa 2 m da p.c. e prodotto verosimilmente dal contrasto di impedenza sismica tra le unità di copertura a diverso grado di addensamento. L'esame completo dell'indagine è riportato in allegato alla presente relazione.

5.2.3 Inversione vincolata HVSR

Attraverso l'inversione vincolata dello spettro H/V è possibile ottenere una stratigrafia delle velocità medie di propagazione delle onde di taglio all'interno dei sismostrati che generano i principali contrasti di impedenza rilevati utilizzando la relazione che lega la frequenza di risonanza f alla velocità delle onde di taglio V_S e allo spessore dello strato in risonanza.

Il codice per la creazione di curve H/V sintetiche utilizzato si basa sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli, secondo la teoria descritta in Aki e Richards (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981).

Nota la profondità dei principali contrasti di impedenza sismica derivati dalle indagini penetrometriche, è possibile procedere all'inversione dello spettro H/V, modellando la curva sintetica in modo da ottenere la sovrapposizione con quella misurata sperimentalmente. La procedura d'inversione comporta la definizione di un modello stratigrafico iniziale e del successivo calcolo dello

spettro H/V che ne deriva; la curva H/V sintetica viene confrontata con quella sperimentale e, attraverso un procedimento iterativo per approssimazioni successive, il modello iniziale viene affinato fino ad ottenere una soddisfacente sovrapposizione delle due curve.

I picchi alle alte frequenze (>10 Hz) sono connessi a passaggi stratigrafici superficiali, mentre quelli alle basse frequenze (<1 Hz) sono relativi a variazioni stratigrafiche molto profonde.

L'inversione vincolata dello spettro HV, ancorata al modello di propagazione delle velocità delle onde di taglio V_s con la profondità ottenuto a mezzo dell'indagine penetrometrica, ha permesso di ricavare il modello sismostratigrafico di seguito mostrato.

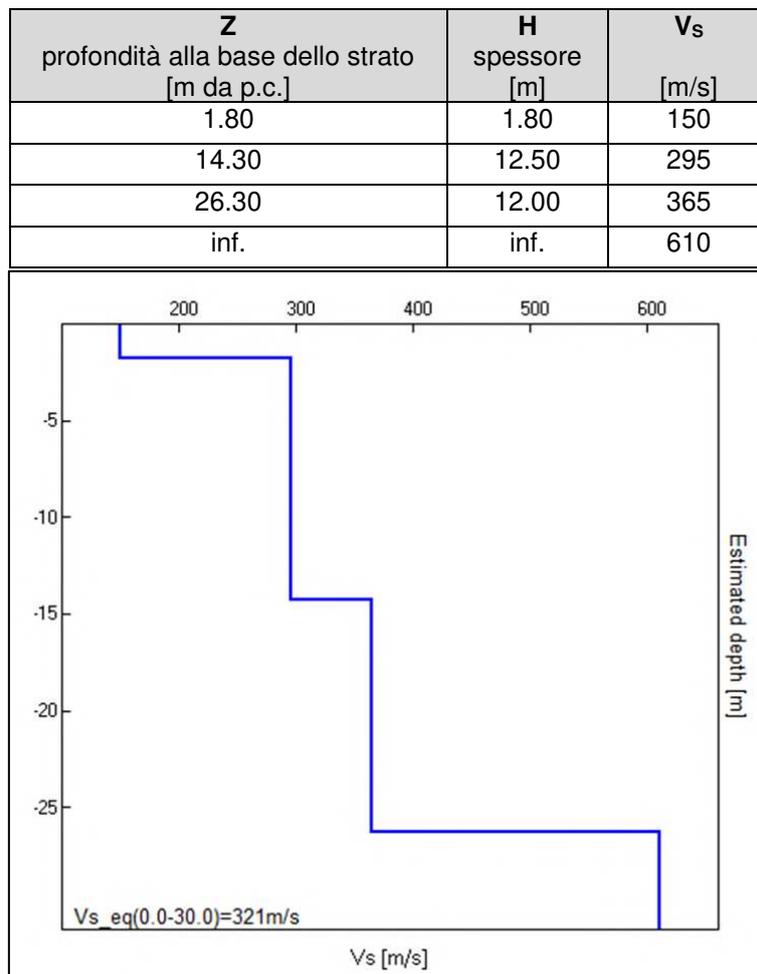


Figura 5.1 – Modello sismostratigrafico

6 RISULTATI DELL'INDAGINE E MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

6.1 Risultati dell'indagine

Le caratteristiche del sottosuolo del sito in esame sono state definite in base ai risultati delle prove penetrometriche dinamiche condotte in sito (esame del trend della resistenza di punta) e dal confronto incrociato degli stessi con le caratteristiche geologiche note per il sito dall'analisi della bibliografia esistente.

Sulla base dei dati in possesso sono state individuate 4 unità litotecniche principali suddivise sulla base dei valori di resistenza penetrometrica, delle conoscenze geologiche e delle caratteristiche litologiche presunte; ciascuna unità è contraddistinta da omogenee proprietà geotecniche.

Nello specifico, l'indagine ha messo in evidenza un omogeneo livello superficiale (Unità litotecnica 1; Nscpt 1÷4 colpi/30cm) privo o a bassa consistenza che si approfondisce fino a quote variabili tra -0,5 e -3,5 m circa da piano campagna. La litologia di questo primo livello, sulla base dei dati disponibili, è da considerarsi prevalentemente limoso-argillosa.

Questa unità è seguita da un livello di spessore estremamente variabile (rilevato fino a profondità comprese tra 1,5 e 11 m circa da p.c., rispettivamente nella prova PPD8 e nella prova PPD4) di depositi dal grado di addensamento maggiore ma comunque modesto (Unità litotecnica 2; Nscpt 3÷9 colpi/30cm). La litologia attribuibile a questo livello è sabbioso-limoso-argillosa.

Al di sotto dell'Unità 2 il grado di addensamento diventa moderato (Unità litotecnica 3, Nscpt 10÷18) in tutte le prove tranne la PPD4, che arriva fino a fondo foro con valori ascrivibili all'Unità 2.

Nelle prove PPD2, PPD3, PPD5, PPD7 e PPD8 si ha poi, a partire da profondità comprese tra -3,6 e -6 m circa da p.c., un deciso aumento del grado di addensamento (Unità litotecnica 4, Nscpt 20÷34) indice della presenza di materiale dalle buone/ottime proprietà geotecniche.

La litologia attribuibile alle unità 3 e 4 è sabbioso-ghiaiosa con abbondante matrice limoso-argillosa.

In fase di indagine non è stata individuata la presenza di acqua nello spessore investigato.

In corrispondenza del piano d'imposta delle fondazioni (in mancanza di un piano interrato, in prima approssimazione, si ipotizzano fondazioni subsuperficiali poste alla profondità di circa -1,0 m da p.c.), il comportamento del terreno nei confronti delle sollecitazioni indotte dai carichi viene considerato di tipo misto il coesivo e l'incoerente.

Viste le non eccelse qualità geotecniche del sottosuolo in corrispondenza della quota di imposta delle fondazioni e poco sotto, a tale quota sarà possibile utilizzare fondazioni di tipo diretto purché adeguatamente dimensionate per distribuire al meglio i sovraccarichi della struttura.

Saranno altresì da valutare interventi di miglioramento delle proprietà geomeccaniche dei livelli superficiali o la loro parziale bonifica geotecnica (sostituzione del materiale al di sotto delle fondazioni con una adeguata massicciata granulare rullata e compattata) o in ultima ratio la realizzazione di fondazioni profonde.

Gli eventuali interventi dovranno essere valutati in fase di progettazione, una volta noti i carichi agenti e a seguito di un approfondimento di indagine in situ.

6.2 Modello geotecnico del sottosuolo

Di seguito si riassume una prima suddivisione in unità litotecniche omogenee del sottosuolo con i principali parametri geotecnici ricavata dall'indagine in situ.

Ai livelli determinati si attribuiscono i seguenti parametri geotecnici (Tabella 6.1).

I parametri geotecnici vengono ricavati dalla bibliografia esistente e da correlazioni proposte in letteratura in funzione dei valori di N_{spt} , a loro volta ricavati dai valori della prova penetrometrica dinamica (N_{scpt}) tramite la seguente relazione: $N_{spt} = N_{scpt} \times 1,2$ per il livello superficiale e $N_{spt} = N_{scpt} \times 1,5$ per i livelli più profondi.

Tabella 6.1 – Riepilogo dei parametri geotecnici del sottosuolo				
Parametri geotecnici	Unità litotecniche identificate in sito			
	1	2	3	4
Litologia	Limo e argilla; scadente consistenza	Sabbia, Limo e argilla; modesta consistenza	Sabbia e ghiaia in abbondante matrice limoso-argillosa; moderatamente addensato	Sabbia e ghiaia in abbondante matrice limoso-argillosa; addensato
N_{SCPT}	1 ÷ 4	3 ÷ 9	10 ÷ 18	20 ÷ 34
N_{SPT}	1,2 ÷ 4,8	4,5 ÷ 13,5	15 ÷ 27	30 ÷ 51
Dr (%)	5 ÷ 15	15 ÷ 40	40 ÷ 60	65 ÷ 85
γ (KN/m³)	15 ÷ 16	16 ÷ 17	17,5 ÷ 18,5	18,5 ÷ 19,5
γ_w (KN/m³)	16 ÷ 17	17 ÷ 18	18,5 ÷ 19,5	19,5 ÷ 20,5
φ (°)	18 ÷ 24	26,1 ÷ 30,3	30,9 ÷ 34,7	35 ÷ 37
φ_k (°)	24	27	31,7	
c e ck (kg/cm²)	0,01 ÷ 0,05	0,01 ÷ 0,05	0 ÷ 0,02	0 ÷ 0,01
E (kg/cm²)	22 ÷ 36	50 ÷ 86	122 ÷ 191	284 ÷ 445
Ek (kg/cm²)	28	70	155	335

Tabella 6.1 – N_{SCPT} è la resistenza penetrometrica dinamica riferita alle prove SCPT, N_{SPT} è la resistenza penetrometrica dinamica riferita alle prove SPT, Dr è la densità relativa, γ è il peso di volume naturale del terreno, γ_w è il peso di volume del terreno saturo, φ è l'angolo di attrito, c è la coesione, E è il modulo di elasticità. φ_k , ck , Ek valori caratteristici dei parametri.

φ_k , ck , Ek rappresentano i valori caratteristici dei parametri da utilizzare nelle verifiche, ricavati mediante analisi statistiche.

Il valore della densità relativa ($Dr\%$) è stato ricavato dalla bibliografia e dalle relazioni di Gibbs e Holtz.

Il grado di addensamento è stato valutato in riferimento alla Classificazione AGI.

I valori del peso di volume del terreno (γ) sono stati scelti nell'ambito degli usuali intervalli di variazione, compatibili con la natura granulometrica ed il grado di addensamento del terreno stesso. L'angolo di attrito interno (φ) è stato ricavato dalla bibliografia e in particolare dalle correlazioni proposte da Meyerhof $\varphi = 23.7 + 0.57 N_{spt} - 0.006 (N_{spt})^2$.

ϕ_k = valore caratteristico dell'angolo d'attrito ricavato dalla formula $\phi_k = \phi_{\text{medio}}(1 - 1,645 \cdot \text{COV}_{\phi})$ con COV = covarianza.

Il valore della coesione (c), in mancanza di valori di laboratorio, è da considerarsi di prima approssimazione. Il valore è stato scelto nell'ambito dei normali intervalli di variazione proposti in bibliografia, in funzione della litologia presunta e del grado di consistenza del terreno stesso.

c_k = valore caratteristico della coesione ricavato dalla formula $c_k = c_{\text{medio}}(1 - 1,645 \cdot \text{COV}_c)$ con COV = covarianza. Viste le litologie individuate e le incertezze del calcolo del parametro, nel modello geotecnico a c e c_k sono stati considerati nulli.

Il valore del modulo elastico (E) è stato scelto nell'ambito dei normali intervalli di variazione proposti in bibliografia; si sottolinea come tale parametro nella realtà dipende dalla storia di carico, dal contenuto d'acqua, dalla densità, etc..

E_k = valore caratteristico del modulo elastico = mediana dei valori di E .

Il modulo E è stato calcolato, a seconda della litologia presunta, attraverso le seguenti correlazioni che lo legano ai valori di resistenza penetrometrica e alla litologia predominante (da Bowles – Fondazioni):

$E = 320 (N+15)$ [valido per sabbie argillose]

$E = 300 (N+6)$ [valido per sabbie limose]

$E = 600 (N + 6)$ [valido per sabbie ghiaiose e ghiaie, con $N < 15$]

$E = 600 (N + 6) + 2000$ [valido per sabbie ghiaiose e ghiaie, con $N \geq 15$]

Dove $N = N_{\text{spt}} \cdot 70/55$ (fattore correttivo).

7 ASPETTI SISMICI

7.1 Sismicità storica e contesto geodinamico

L'analisi della sismicità storica del comune di Casatenovo, tratta dal database macrosismico italiano DBMI15, evidenzia eventi con intensità macrosimica massima pari a 3, registrata in occasione del terremoto che interessò la zona della Franciacorta nel novembre del 2002, caratterizzata da magnitudo momento nella zona epicentrale pari a 4,21. Tutti gli eventi storici registrati che hanno causato risentimenti sul territorio comunale sono mostrati nella figura seguente.



Figura 7.1 – Storia sismica di Casatenovo

La sismicità risentita nell'area, non compresa in alcuna zona sismogenetica, è riferibile dal punto di vista geodinamico prevalentemente alla zona sismogenetica 907 della zonazione ZS9, come mostrato nella seguente figura.

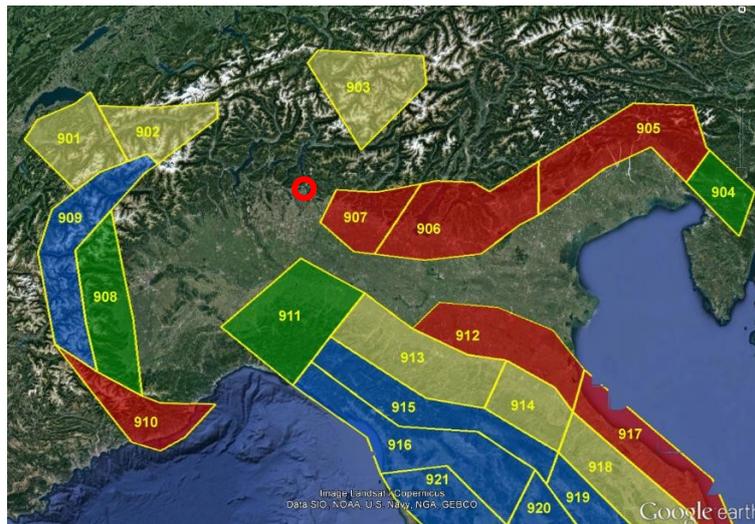


Figura 7.2 – Zone sismogenetiche ZS9; in rosso è evidenziata l'area di progetto

La sismicità risentita nell'area, comunque non compresa in alcuna zona sismogenetica, è riferibile dal punto di vista geodinamico prevalentemente alla zona sismogenetica 907 della zonazione ZS9, ed in misura minore alla zona 911.

La sismicità della zona sismogenetica 907 è legata alla convergenza attiva tra la placca Adria e la placca Europea e si esplica attraverso meccanismi di fagliazione a prevalente componente inversa, che danno luogo a terremoti con ipocentri mediante compresi nella classe di profondità 8÷12 km. La zona include la parte più bassa delle province di Bergamo e Brescia. È caratterizzata da una sismicità di energia normalmente medio-bassa con la sola eccezione del terremoto di Soncino evento del 1802, a cui viene assegnata una magnitudo Mw intorno a 5.9.

La zona sismogenetica 911, che comprende il cosiddetto "arco di Pavia" e le strutture ad esso relative, costituisce una zona di svincolo cinematico tra il sistema alpino ed il sistema appenninico ed è caratterizzata da meccanismi di fagliazione prevalentemente trascorrenti sinistrorsi in strutture crostali superficiali e dip-slip in strutture più profonde che danno luogo a terremoti con ipocentri mediante compresi nella classe di profondità 8÷12 km.

7.2 Sismicità di base dell'area

L'area oggetto dell'intervento in esame ricade nell'ambito di una ampia zona della Regione Lombardia che non risulta essere stata oggetto in passato di eventi sismici di entità particolarmente rilevante.

La sismicità di base del sito, necessaria per la determinazione dei parametri di scuotimento sismico dell'area di progetto come indicato al D.M. 17/01/18 "Norme tecniche per le costruzioni", è definibile in funzione del valore assunto dall'accelerazione massima attesa su suolo rigido (per eventi con

tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni così come indicato nella tabella 1 allegata al citato D.M.) in corrispondenza dei nodi di un reticolo di riferimento nazionale mostrato nella figura sottostante; il centro degli assi della griglia identifica il sito di progetto, individuato dalle seguenti coppie di coordinate geografiche:

	LATITUDINE [°]	LONGITUDINE [°]
UTM WGS 84	45,676136	9,313645
ED 50	45,677064	9,314705

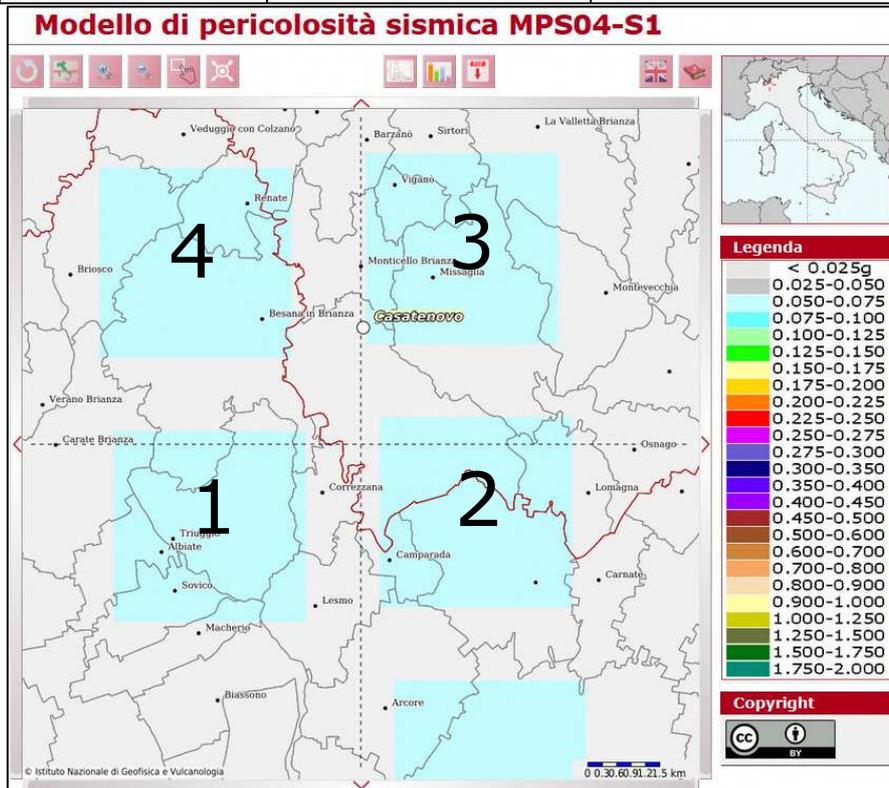


Figura 7.3 – Coordinate del sito e relativi nodi di riferimento del reticolo nazionale

I valori di scuotimento relativi ai quattro nodi utilizzati per la definizione del valore medio caratteristico del sito in esame, sono mostrati nella seguente tabella unitamente ai parametri di base che definiscono lo spettro di risposta elastico:

Punto	ID Punto	Lon.	Lat.	Distanza	a_g (475)	F_o	T_c^*
[-]	[-]	[°]	[°]	[m]	[g]	[-]	[s]
1	11374	9,2743	45,6615	3586	0,0546	2,62	0,28
2	11375	9,3455	45,6640	2800	0,0607	2,62	0,28
3	11153	9,3421	45,7139	4620	0,0585	2,63	0,28
4	11152	9,2707	45,7115	5131	0,0529	2,62	0,28

Tabella 7.1 – Valori di a_g ai nodi del reticolo di riferimento nazionale e parametri dello spettro sismico di risposta

7.3 Analisi di risposta sismica locale di II° livello

Ai fini della valutazione delle azioni sismiche di progetto è necessario valutare le modifiche in frequenza e ampiezza del segnale sismico di base agente al bedrock indotte da fenomeni di amplificazione stratigrafica e topografica sitespecifici.

A seguito della revisione/aggiornamento della zonazione sismica lombarda (D.G.R. 11 luglio 2014 n.2129 e DGR n. 5001 del 30 marzo2016), il territorio comunale di Casatenovo è stato classificato **in zona sismica 3** con valore di accelerazione massima ($A_g \max$) pari a 0,060292.

Per la valutazione numerica degli effetti di amplificazione sismica sitespecifica la procedura di cui al punto 1.4.4 dell'Allegato B alla d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616 "Sintesi delle procedure", prevede l'applicazione di tre livelli di approfondimento sismico con grado di dettaglio crescente in funzione della zona sismica di appartenenza, come illustrato nella tabella seguente.

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1° livello fase pianificatoria	2° livello fase pianificatoria	3° livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando F_a calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2.
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o.n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando F_a calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

PSL = Pericolosità Sismica Locale

In fase pianificatoria il 1° livello è obbligatorio ed esteso a tutto il territorio comunale, mentre gli approfondimenti di 2° livello sono obbligatori per tutti gli edifici ricadenti in aree a pericolosità sismica locale PSL Z3 e Z4.

Per quanto attiene agli scenari di pericolosità sismica, il vigente studio geologico di PGT ascrive il sito di progetto allo scenario di **pericolosità sismica locale Z2**; pertanto, si rende necessaria

un'analisi dei cedimenti indotti in occasione dell'evento sismico atteso di progetto (cfr. successivo par.XX).

Preso atto che nell'aggiornamento della Componente geologica comunale (adottato a fine luglio 2023) all'area è stato invece attribuito uno scenario di **pericolosità sismica locale Z4c**, in aggiunta alla verifica dei cedimenti, è stato condotto anche un approfondimento di 2° livello per la valutazione degli effetti di amplificazione litologica e delle conseguenti azioni sismiche di progetto, condotti secondo i criteri definiti dall'Allegato 5 della D.G.R. 30 novembre 2011 n° IX/2616.

L'analisi di 2° livello prevede una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari PSL Z4, consentendo di verificare se l'analisi di risposta sismica locale semplificata, basata sull'individuazione della categoria di sottosuolo ai sensi del punto 3.2.2 del D.M. 17/01/18, risulta sufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (Fattore di amplificazione F_a calcolato inferiore a F_a di soglia comunale fornito da Regione Lombardia). Qualora a mezzo della procedura di 2° livello si verificasse l'inadeguatezza della procedura semplificata, in fase di progettazione, si dovrà procedere a indagini e approfondimenti di 3° livello o, in alternativa, si potrà utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.

Il valore di F_a si riferisce agli intervalli di periodo tra 0,1-0,5 s (strutture basse, regolari e piuttosto rigide) e 0,5-1,5 s (strutture più alte e flessibili) in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale.

La procedura per la verifica degli effetti litologici (punto 2.2.2 dell'Allegato 5 alla d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616 "Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei P.G.T.") tramite l'impiego delle schede predisposte dalla Regione Lombardia, necessita della conoscenza della litologia prevalente dei materiali presenti in sito, della stratigrafia del sito e dell'andamento delle V_s con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s (ottenuta utilizzando metodi di indagine diretti ed indiretti, in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile) e dello spessore e velocità di ciascuno strato.

7.3.1 Determinazione della categoria sismica di sottosuolo

Per la valutazione degli effetti di amplificazione stratigrafica è stata determinata la categoria di sottosuolo in funzione del valore di V_{Seq} ricavato dall'indagine sismica HVSR condotta sul sito di intervento; la stratigrafia delle velocità di propagazione delle onde di taglio ottenuta nei primi 30 m di sottosuolo è mostrata nel seguente grafico, su cui sono riportati anche i valori di V_s calcolati a partire dai valori di resistenza alla penetrazione standard, misurata nelle prove penetrometriche dinamiche, sulla base delle correlazioni di *Ohta e Goto 1978*.

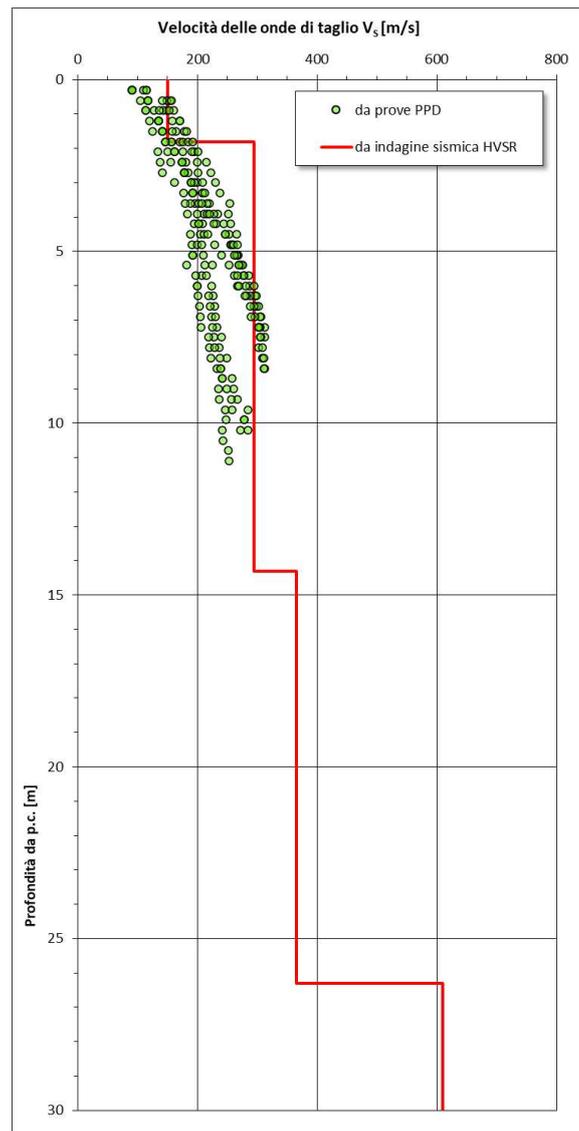


Figura 7.4 – Velocità di propagazione delle onde di taglio

Sulla base della stratigrafia delle velocità di propagazione delle onde di taglio è possibile definire un valore di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ definita secondo la seguente espressione, in accordo al D.M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”:

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

dove h_i e V_{Si} rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio di ciascuno strato e H rappresenta la profondità del substrato sismico, caratterizzato da valori di velocità di propagazione delle onde di taglio non inferiori ad 800 m/s. In caso di profondità del substrato sismico superiore a 30 m dal piano di posa delle fondazioni la velocità equivalente delle onde di taglio è definita dal parametro $V_{S,30}$ ottenuto ponendo H pari a 30 nella precedente espressione e considerando la stratigrafia fino a tale profondità.

Per il sito in esame, le indagini condotte, unitamente alla documentazione di piano consultata, hanno permesso di escludere la presenza di un substrato sismico, caratterizzato da valori di V_S pari o superiori di 800 m/s, a una profondità inferiore a 30 m dal p.c.; pertanto, considerando il piano campagna e la quota di posa prevista per le fondazioni (circa -1 m da p.c.), si ottengono i valori di $V_{S,eq}$ e di categoria sismica di sottosuolo di seguito indicati:

Profondità di calcolo [m da p.c.]	$V_{S,eq}$ [m/s]	Categoria sismica [-]
0,0	321	C
-1	340	C

Tabella 7.2 – Valori di $V_{S,eq}$ e della categoria sismica di sottosuolo

Sulla base dei risultati ottenuti è possibile quindi attribuire i terreni di fondazione delle opere in progetto alla **categoria sismica C** tra quelle previste al punto 3.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018, come esposto nella seguente tabella:

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

7.3.2 Individuazione della scheda di valutazione semplificata

Si è quindi proceduto a confrontare la stratigrafia di propagazione delle onde di taglio ottenuta con le curve di riferimento attualmente disponibili, come mostrato nella seguente figura.

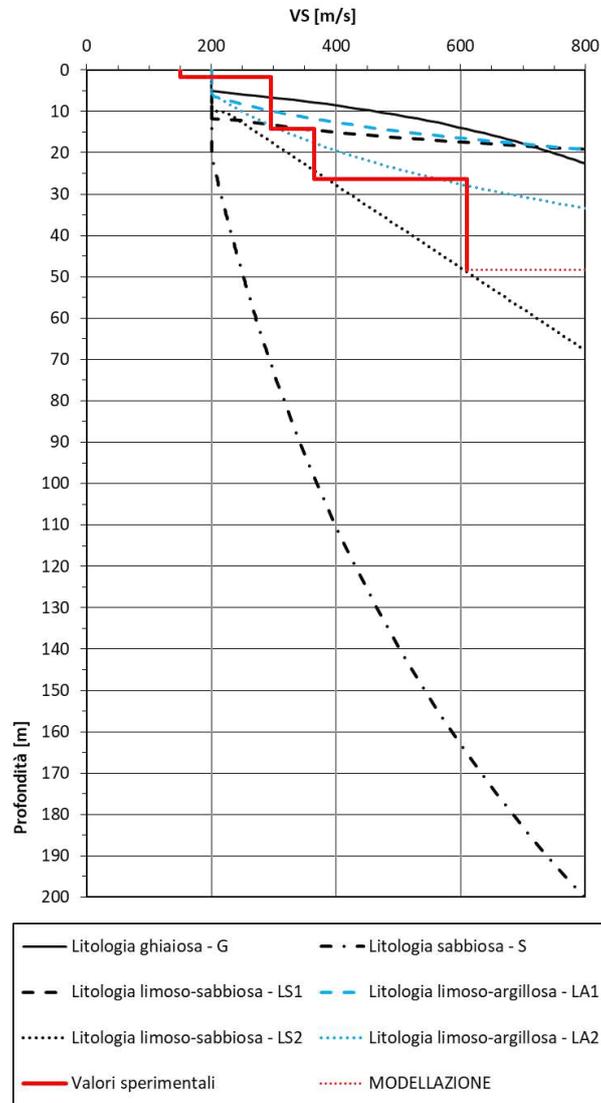


Figura 7.5 – Stratigrafia di V_s sitospecifica e curve di riferimento regionali

Sulla base del confronto tra la curva sperimentale sitospecifica, ottenuta a mezzo della prospezione sismica condotta, e le curve di riferimento regionali è stata scelta la scheda di valutazione definita per la **litologia limoso-sabbiosa (LS2)**, di seguito riportata:

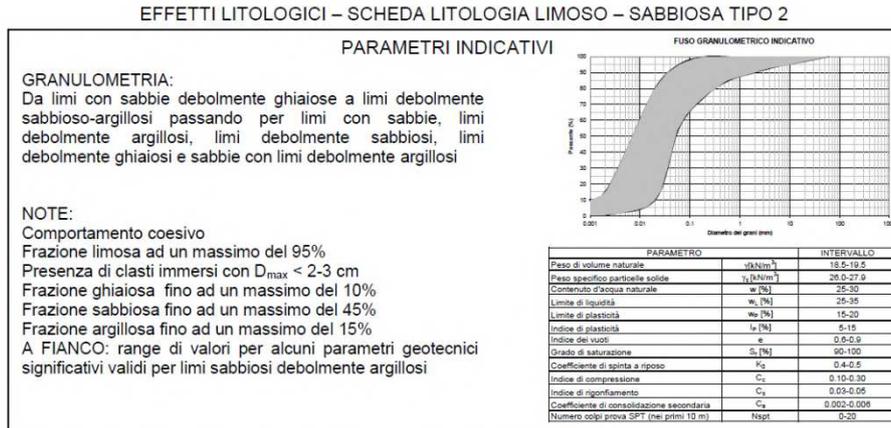


Figura 7.6 – Stralcio della scheda di valutazione adottata: parametri indicativi (DGR n.IX/2616 del 30/11/2011, modificata)

7.3.3 Calcolo del periodo proprio di sito

Per il calcolo del periodo proprio di sito T , necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, occorre considerare la stratigrafia di velocità di propagazione delle onde di taglio V_s fino alla profondità a cui si raggiunge un valore pari a o superiore a 800 m/s.

Nel caso in esame la prospezione sismica appositamente condotta, tenuto anche conto delle informazioni acquisite dai documenti di piano esaminati e dei risultati ottenuti dalle indagini penetrometriche eseguite, ha individuato il bedrock sismico, caratterizzato da una velocità di propagazione delle onde di taglio pari, o superiori, a 800 m/s alla profondità di circa 55 m da p.c..

Per il calcolo del periodo proprio di sito la direttiva regionale prevede l'utilizzo della seguente relazione:

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

Per l'area di progetto si ottengono i valori di periodo proprio di sito di seguito indicati:

Profondità di calcolo [m da p.c.]	T [s]
-1,0	0,41

Tabella 7.3 – Periodo proprio di sito da Direttiva Regionale

7.3.4 Calcolo del Fattore di amplificazione locale (Fa)

Per il calcolo Fattore di amplificazione litologico locale è necessario individuare dapprima lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato superficiale, definito come il primo strato a partire dal piano di posa delle fondazioni avente spessore minimo pari a 4 m. Qualora non si dovesse riconoscere un primo strato di spessore adeguato è necessario procedere alla individuazione di uno strato superficiale equivalente, avente spessore adeguato, ottenuto sommando gli strati individuati con le indagini sismiche; a tale strato si assegna una velocità di propagazione delle onde di taglio pari alla media pesata delle velocità dei singoli strati che lo costituiscono.

Per il sito di progetto si ottengono i seguenti valori di spessore e velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato superficiale equivalente:

Profondità di calcolo [m da p.c.]	H₁ [m]	V_{S1} [m/s]	Curva
-1,0	13,3	286	2

Tabella 7.4 – Parametri sismostrato superiore

Sulla base dei valori di spessore e velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato superficiale si individuano le equazioni da impiegare per il calcolo del valore di Fa per strutture aventi periodo proprio compreso tra 0,1 e 0,5 s e per strutture aventi periodo proprio compreso tra 0,5 e 1,5 s sulla base della seguente scheda di valutazione:

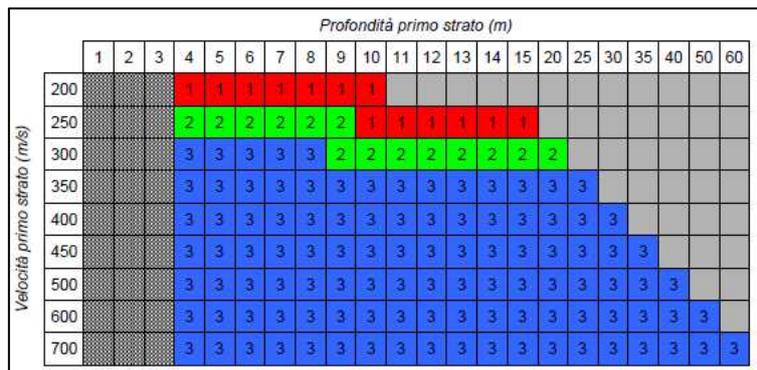


Figura 7.7 – Stralcio della scheda di valutazione adottata: scheda per la scelta delle curve da utilizzare per il calcolo di Fa (DGR n.IX/2616 del 30/11/2011, modificata)

L'analisi condotta per il sito in esame individua diversi strati superficiali equivalenti, in funzione della profondità di calcolo considerata, aventi le caratteristiche riportate in Tabella 7.4. I grafici delle curve considerate per il calcolo di F_a sono mostrati nella figura seguente:

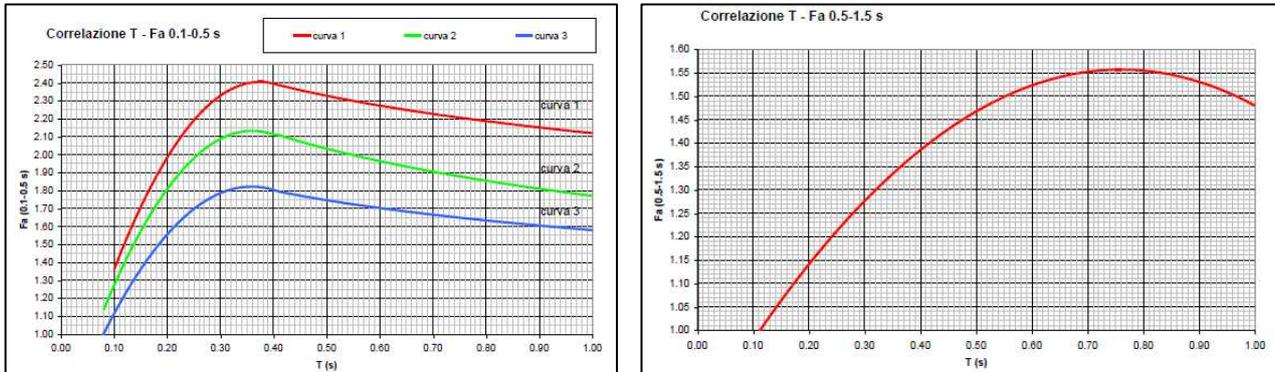


Figura 7.8 – Curve per il calcolo del Fattore di amplificazione F_a

Utilizzando le equazioni delle curve di riferimento sopra riportate, a partire dai valori di periodo proprio di sito precedentemente calcolati, sono stati determinati i valori del Fattore di amplificazione litologica F_a di seguito mostrati:

Profondità di calcolo [m da p.c.]	Periodo proprio struttura	
	0,1 – 0,5 [s]	0,5 – 1,5 [s]
	F_a	F_a
-1,0	2,1	1,40

Tabella 7.5 – Fattori di amplificazione litologica calcolati

7.3.5 Confronto tra i valori calcolati e i valori di soglia comunale

Per il comune di Casatenovo, i valori di soglia del Fattore di amplificazione F_{a_s} forniti da Regione Lombardia, differenziati per categoria di suolo di fondazione e per periodo, sono riportati nella seguente tabella:

VALORI DI SOGLIA COMUNALI DI Fa				
Categoria sottosuolo	B	C	D	E
0,1<T<0,5	1,4	1,9	2,2	2,0
0,5<T<1,5	1,7	2,4	4,2	3,1

Tabella 7.6 – Fattori di amplificazione di soglia comunale Fas

Per procedere al confronto con i valori di soglia dei valori dei Fattori di amplificazione litologica precedentemente determinati, arrotondati alla prima cifra decimale, occorre associare la variabilità statistica pari a $\pm 0,1$ come precisato nella procedura regionale. I valori così ottenuti sono mostrati nella seguente tabella, in cui sono messi a confronto con i valori di soglia definiti per il comune considerato per la categoria di sottosuolo di appartenenza:

Periodo proprio struttura	
0,1 – 0,5 [s]	0,5 – 1,5 [s]
Soglie comunali del Fattore di amplificazione (Fa) di riferimento per la categoria di sottosuolo tipo C	
1,9	2,4
Fattore di amplificazione (Fa) calcolato da -1,0 m da p.c.	
2,0÷2,2	1,3÷1,5

Tabella 7.7 – Confronto Fattori di amplificazione litologica di soglia con quelli calcolati

I valori del fattore di amplificazione litologica Fa ottenuti a mezzo dell'analisi di approfondimento di secondo livello sono risultati superiori ai valori di soglia comunali nel caso di strutture con periodo proprio compreso tra 0,1 e 0,5 s (come quelle in progetto); tali valori di soglia comunali sono quindi da considerarsi non sufficienti a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica di sito.

Pertanto, per la determinazione delle azioni sismiche di progetto alla quota di posa delle fondazioni, nel caso di strutture con periodo proprio compreso tra 0,1 e 0,5 s, si dovrà utilizzare lo spettro di

risposta relativo alla **categoria sismica di sottosuolo superiore D**, come mostrato nella seguente tabella

Periodo proprio struttura	
0,1 – 0,5 [s]	0,5 – 1,5 [s]
Soglie comunali del Fattore di amplificazione (Fa) di riferimento per la categoria di sottosuolo tipo D	
2,2	4,2
Fattore di amplificazione (Fa) calcolato da -1,0 m da p.c.	
2,0÷2,2	1,3÷1,5

Tabella 7.8 – Confronto Fattori di amplificazione litologica di soglia con quelli calcolati

Qualora, dalle evidenze emerse in sede di progettazione definitiva, dovessero risultare strutture con periodo proprio compreso tra 0,5 e 1,0 s, si potrà utilizzare la categoria di sottosuolo C definita con la procedura semplificata.

7.4 Determinazione delle azioni sismiche di progetto

Sulla base dei dati sismici di base del sito di progetto, indicati nel precedente par 7.2, è possibile definire un valore di progetto delle azioni sismiche come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame adottando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in esame ed i vertici considerati.

L'opera in esame non rientra nella tipologia di edifici ritenuti strategici e/o rilevanti così come indicato nel D.d.u.o. 22.05.19 - n. 7237 - Aggiornamento del d.d.u.o. 21 novembre 2013 n. 19904; è pertanto possibile assumere:

- Vita nominale - $V_N = 50$ anni
- Classe d'uso = II
- Coefficiente d'uso - $C_u = 1,0$
- Periodo di riferimento dell'opera - $V_R (V_N \cdot C_u) = 50$ anni
- Categoria topografica = T1 (Superficie, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$)

Considerando una probabilità di superamento pari al 10% (Stato Limite di Salvaguardia della Vita), si determina un tempo di ritorno dell'evento di 475 anni.

Per l'opera in progetto, pertanto, i parametri sismici di base al bedrock sismico assumono i seguenti valori (elaborazione effettuata tramite software dedicato Geostru PS):

Parametri sismici

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81 %
Tr:	30 [anni]
ag:	0,020 g
Fo:	2,561
Tc*:	0,166 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10 %
Tr:	475 [anni]
ag:	0,056 g
Fo:	2,622
Tc*:	0,279 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63 %
Tr:	50 [anni]
ag:	0,026 g
Fo:	2,536
Tc*:	0,191 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5 %
Tr:	975 [anni]
ag:	0,070 g
Fo:	2,636
Tc*:	0,295 [s]

]

Tabella 7.9 – Parametri sismici di base al bedrock sismico per i diversi stati limite

Di seguito vengono riportati i valori dei coefficienti di accelerazione sismica sitospecifici orizzontale e verticale da impiegare per le verifiche geotecniche delle fondazioni nei diversi stati limite (elaborazione effettuata mediante apposito software – Geostru PS):

Coefficienti sismici - Categoria di sottosuolo D:

SLO:

Ss:	1,800
Cc:	3,070
St:	1,000
Kh:	0,007
Kv:	0,004
Amax:	0,347
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,800
Cc:	2,360
St:	1,000
Kh:	0,020
Kv:	0,010
Amax:	0,989
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,800
Cc:	2,860
St:	1,000
Kh:	0,009
Kv:	0,005
Amax:	0,451
Beta:	0,200

SLC:

Ss:	1,800
Cc:	2,300
St:	1,000
Kh:	0,025
Kv:	0,013
Amax:	1,231
Beta:	0,200

Tabella 7.10 – Parametri sismici pseudostatici per i diversi stati limite

7.5 Analisi della suscettibilità alla liquefazione

Il fenomeno della liquefazione interessa depositi sabbiosi e sabbioso-limosi saturi che durante e immediatamente dopo una sollecitazione di tipo ciclico subiscono una drastica riduzione della resistenza al taglio, a seguito della quale le condizioni di stabilità non sono più garantite e la massa di terreno interessata dal fenomeno comincia ad assestarsi fino a che la nuova configurazione del terreno non è compatibile con la diminuita resistenza al taglio.

I parametri che governano il fenomeno sono rappresentati in generale da:

- condizioni di drenaggio e grado di saturazione del deposito;
- granulometria del deposito;
- stato di addensamento;
- intensità, forma spettrale e durata delle sollecitazioni cicliche;
- stato tensionale iniziale;
- storia tensionale e deformativa del deposito;
- fenomeni di aging.

In caso di accertata liquefacibilità del terreno di fondazione occorrerà valutare le deformazioni indotte e le conseguenze delle stesse sulla funzionalità delle opere previste in progetto.

Ai sensi del D.M. 17/01/18 i terreni di fondazione sono da non ritenersi suscettibili a fenomeni di liquefazione in occasione dell'evento sismico e la verifica a liquefazione può essere omessa quando si verifichi almeno una delle seguenti condizioni:

- l'accelerazione massima attesa a piano campagna in condizioni di free-field è inferiore a 0,1 g;
- la profondità media stagionale della falda è superiore a 15 m da p.c.;
- sono presenti depositi sabbiosi puliti con resistenza penetrometrica dinamica normalizzata $(N1)_{60}$ superiore a 30;
- sono presenti terreni con distribuzione granulometrica esterna ai limiti indicati nel grafico seguente

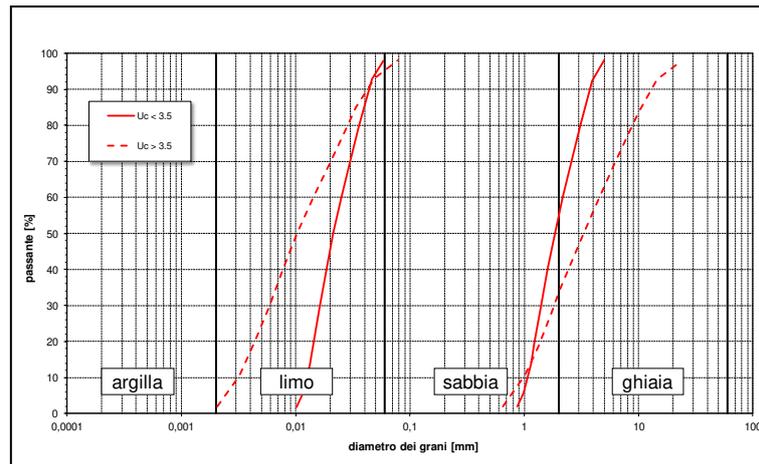


Figura 7.9 – Campi di liquefacibilità potenziale

Nel caso in esame, per opere di tipologia 2 (Costruzioni Ordinarie), per le quali la vita nominale è stabilita in 50 anni, e di classe d'uso II si osserva che:

1. l'accelerazione massima attesa a piano campagna in condizioni di free-field, **per terreni di tipo D** allo stato limite SLV è pari a: $a_g \cdot S_S \cdot S_T = 0,056 \text{ g} \cdot 1,8 \cdot 1,0 \approx 0,1 \text{ g}$;
2. la profondità media stagionale della falda principale è superiore a 15 m da p.c..

pertanto, sulla base di quanto esposto al precedente punto 2, la verifica alla liquefazione può essere omessa e si ritiene che il terreno possa essere considerato non soggetto a liquefazione, ai sensi delle NTC2018.

7.6 Cedimenti post-sismici

Ricadendo l'area di intervento in ambito PSL Z2 (secondo il PGT vigente), legato a aree caratterizzate da terreni compressibili e terreni saturi, è stata condotta un'analisi dei cedimenti attesi in occasione dell'evento sismico di progetto.

Per cedimento indotto dall'azione sismica (o cedimento post-sismico) si intende l'abbassamento del piano campagna, ovvero l'integrale della deformazione del terreno in direzione verticale, o anche la sommatoria dei prodotti della deformazione verticale media per lo spessore di ciascuno degli strati deformati. In condizioni edometriche, ovvero in presenza di strati di terreno orizzontali ed omogenei, e con tensione costante in direzione orizzontale, le deformazioni laterali sono nulle e pertanto la deformazione verticale coincide con la deformazione volumetrica. Per semplicità e con approssimazione accettabile, salvo casi di morfologia con forti pendenze e stratigrafie molto variabili in direzione orizzontale, per la stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica si può fare riferimento

alle condizioni edometriche. Il cedimento permanente indotto dall'azione sismica in corrispondenza di una verticale di esplorazione si ottiene dalla somma dei contributi al cedimento stimati per i diversi strati del sottosuolo, fino alla profondità alla quale tali contributi non sono più significativi.

Il cedimento permanente post-sismico può dunque essere stimato con l'equazione:

$$S = \sum \varepsilon_{vi} \cdot \Delta_{zi}$$

dove:

S = cedimento permanente totale

ε_{vi} = deformazione volumetrica (e verticale) dello strato i-esimo

Δ_{zi} spessore dello strato i-esimo.

La causa dei cedimenti di riconsolidazione che si registrano dopo un evento sismico in un terreno è dovuta alla dissipazione delle pressioni interstiziali man mano che l'acqua viene espulsa dalla zona interessata.

Per stimare l'entità di tale cedimento è necessario caratterizzare dal punto di vista geotecnico i vari strati del terreno attraverso prove in situ e, quando possibile, in laboratorio.

7.6.1 Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni coesivi

Il cedimento di riconsolidazione, per i terreni coesivi, può essere valutato dalla seguente espressione:

$$\Delta H = \varepsilon_{vr} \cdot H$$

dove H è l'altezza del generico strato ed ε_{vr} (%) rappresenta la deformazione volumetrica post-ciclica definita da:

$$\varepsilon_{vr} = \frac{\alpha \cdot C_r}{1 + e_0} \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

in cui

α costante sperimentale compresa tra 1 e 1.5;
 e_0 l'indice dei vuoti iniziale;
 $C_r = 0.225 C_c$ l'indice di riconsolidazione post-ciclica;
 C_c l'indice di compressione.

Nota: Esistono delle relazioni empiriche che consentono di valutare, in modo approssimato, l'indice di compressione. Nel caso di terreni coesivi dell'indice di plasticità.

Nel caso di terreni coesivi, Loadcap calcola il rapporto di pressione interstiziale come:

$$\frac{\Delta u}{\sigma'_0} = \beta \cdot \left[\log \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_v} \right]$$

Ma può anche essere valutata, in prima approssimazione, con la relazione che segue:

$$\gamma_v = A \cdot (\text{OCR} - 1) + B$$

OCR è il grado di sovraconsolidazione, A e B sono coefficienti sperimentali che possono essere calcolati per interpolazione lineare dalla seguente Tabella:

I_p [%]	A	B
20	$0.4 \cdot 10^{-3}$	$0.6 \cdot 10^{-3}$
40	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$
55	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$

Valori suggeriti per i coefficienti A e B

7.7 Calcolo dei cedimenti post-sismici

per il calcolo dei cedimenti post-sismici, è stato considerato il seguente modello stratigrafico desunto dall'indagine PPD4 condotta in sito e ritenuta la più cautelativa:

- 1 - 0÷1,5 m da p.c. = limi argillosi, non saturi;
- 2 - 1,5÷11,5 m da p.c. = sabbie limose-argillose, non sature.

Ai fini del calcolo dei cedimenti post-sismici sono state assunte condizioni cautelative sia riguardo alle potenze degli strati sia riguardo ai valori dei parametri sismici e geotecnici adottati, riportati nella seguente tabella, unitamente ai risultati dell'elaborazione effettuata tramite software *Loadcap®* di Geostru:

Unità	Spessore unità [m]	Metodo	Cedimento post-sismico [mm]
1	1,5	<i>Yasuhara/Andersen</i>	0,4
2	10	<i>Yasuhara/Andersen</i>	3,4

Tabella 7.11 – Analisi cedimenti post-sismici

Come si evince dai dati riportati nella tabella precedente, i cedimenti post-sismici cumulati, calcolati su uno spessore di terreno pari a circa 10 m, risultano pari a circa **3,8 mm**.

8 CONCLUSIONI

Sulla base dei dati raccolti e dei risultati dell'indagine in situ non esistono controindicazioni di natura geologica, geotecnica e idrogeologica in merito alla fattibilità dell'intervento edificatorio in esame.

In particolare, si rileva quanto segue:

- l'area di intervento alle condizioni attuali non è a rischio idrogeologico, né esistono indizi in base ai quali si possa ipotizzare che in futuro l'area possa evolvere verso una condizione di dissesto idrogeologico;
- gli interventi edilizi non comporteranno sensibili variazioni nel contesto geologico-idrogeologico generale in cui l'area stessa è inserita;
- l'area risulta inserita in **classe di fattibilità 3** con consistenti limitazioni; le limitazioni sono dovute alla presenza in superficie di depositi dalle caratteristiche geotecniche scadenti e della possibile presenza di strutture polliniche nel sottosuolo; le indagini condotte hanno permesso di definire il contesto geologico tecnico e idrogeologico dell'area in esame senza evidenziare criticità e senza evidenziare la presenza di strutture polliniche in corrispondenza delle verticali di indagine eseguite.
- l'intervento non interferisce direttamente o indirettamente con il normale deflusso delle acque dei corsi d'acqua presenti nell'intorno dell'area;
- il territorio comunale risulta inserito in **zona sismica 3**; lo scenario di pericolosità sismica è **Z2** secondo la componente geologica del PGT vigente e **Z4c** secondo l'aggiornamento adottato a fine luglio 2023;
- Le indagini condotte hanno consentito di attribuire i terreni di fondazione del sito di progetto alla categoria sismica C. L'approfondimento sismico di II° livello ha permesso di verificare che la procedura semplificata di cui al D.M. 17/01/18 risulta non sufficiente per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, che, pertanto, sono stata definite assumendo come riferimento la **categoria sismica di sottosuolo D**.
- le verifiche condotte hanno altresì escluso la necessità di ricorrere a verifiche alla liquefazione dei terreni di fondazione in condizione di eccitazione sismica;
- non sono presenti dissesti in corrispondenza dell'area o nell'immediato circondario;
- l'esecuzione di scavi e riporti non dovrebbe essere di entità tale da comportare una sensibile modificazione della morfologia del sito;

- valutati gli scavi e riporti previsti e la situazione attuale dell'area, l'intervento non provoca una sostanziale modifica nell'equilibrio delle forze geostatiche agenti sull'area e pertanto non dovrebbe determinare una diminuzione della stabilità dell'area stessa.

Si considerano sufficienti le conoscenze dell'area per valutare positivamente la compatibilità del progetto con le strutture già esistenti e con l'assetto geologico e idrogeologico dell'area ai sensi della DGR 2616/2011.

- ✓ La litologia dei terreni investigati è stata desunta, sulla base dei dati di letteratura disponibili e delle risultanze delle prove eseguite, come costituita prevalentemente da limi argillosi passanti a sabbie limoso-argillose e, più in profondità, a sabbie ghiaiose o ghiaie sabbiose con abbondante matrice limosa.
- ✓ Le indagini (prove penetrometriche dinamiche) hanno evidenziato la presenza di un livello superficiale di terreno privo di consistenza. Questo livello condiziona le scelte fondazionali poiché sarà un fattore limitante della capacità portante di fondazioni di tipo diretto. Esse dovranno essere pertanto adeguate ai carichi di progetto oppure dovranno essere effettuati interventi migliorativi oppure dovranno essere utilizzate fondazioni di tipo indiretto (profonde). Il dimensionamento delle fondazioni dovrà avvenire sulla base di una specifica ed adeguata indagine geognostica da realizzarsi ai sensi delle NTC2008 e s.m.i..
- ✓ La litologia in corrispondenza del piano d'imposta delle fondazioni dovrà comunque essere verificata in corso d'opera; in particolare dovrà essere fatta attenzione al grado di omogeneità del piano d'imposta sia per quanto concerne la litologia, sia per quanto riguarda il grado di addensamento.
- ✓ Il comportamento del terreno nei confronti delle sollecitazioni indotte dai carichi viene considerato di tipo misto coesivo/incoerente.
- ✓ L'indagine non ha rilevato la presenza della falda freatica sino alle massime profondità investigate. La falda freatica principale, secondo i dati disponibili, si trova a circa 45 m da p.c..
- ✓ Ai sensi delle NTC 2018 sono stati individuati i parametri geotecnici e sismici del sottosuolo ed è stato ricostruito il modello geotecnico che dovrà essere utilizzato come base per le verifiche geotecniche che dovranno essere oggetto di una specifica Relazione Geotecnica ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018 (NTC 2018).

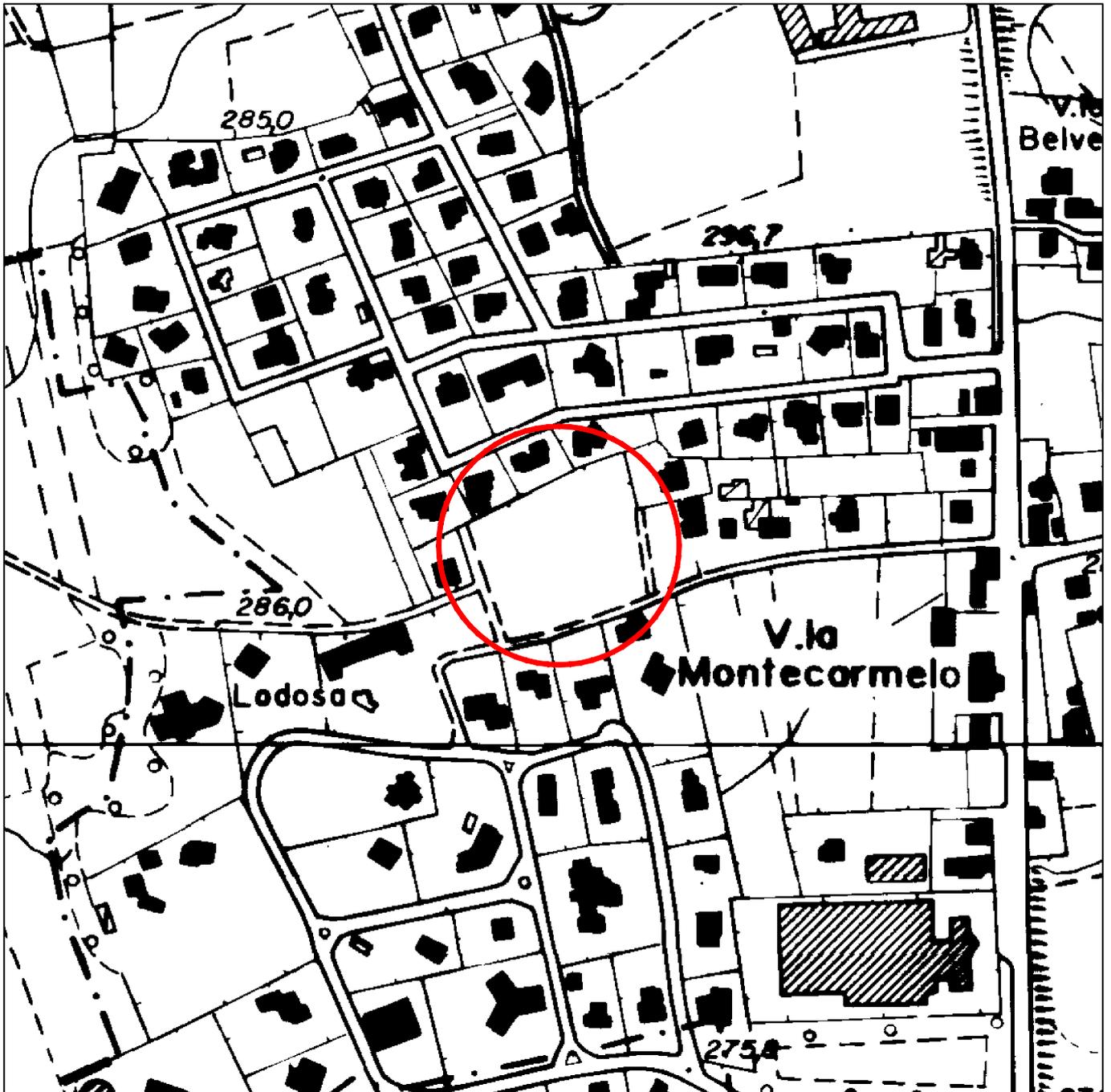
Sarà cura della D.L. avvisare lo scrivente qualora si dovessero rinvenire strutture polliniche e/o anomalie in merito alla granulometria, alla resistenza dei terreni e/o alle condizioni della falda freatica, riscontrabili durante le operazioni di scavo.

Lurago d'Erba (CO), ottobre 2023

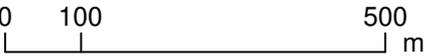
Dott. Geol. Mario Villa



ALLEGATI

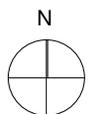


Stralcio CTR Sez B5d3

Scala 1:10000  m

Legenda

 Ubicazione intervento



Committente: Studio TAU
via G. Verdi, 14 - Villasanta (MB)

Località: Casatenovo (LC)
via Lodosa

Tav. 1 - Inquadramento geografico

Estratto dalla componente geologica di supporto al PGT comunale
Fattibilità geologica delle azioni di piano



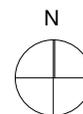
Legenda



FENOMENI DI ALLAGAMENTO PER
SOTTODIMENSIONAMENTO DELLA RETE FOGNARIA



CLASSE 3 - FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI



Ubicazione intervento

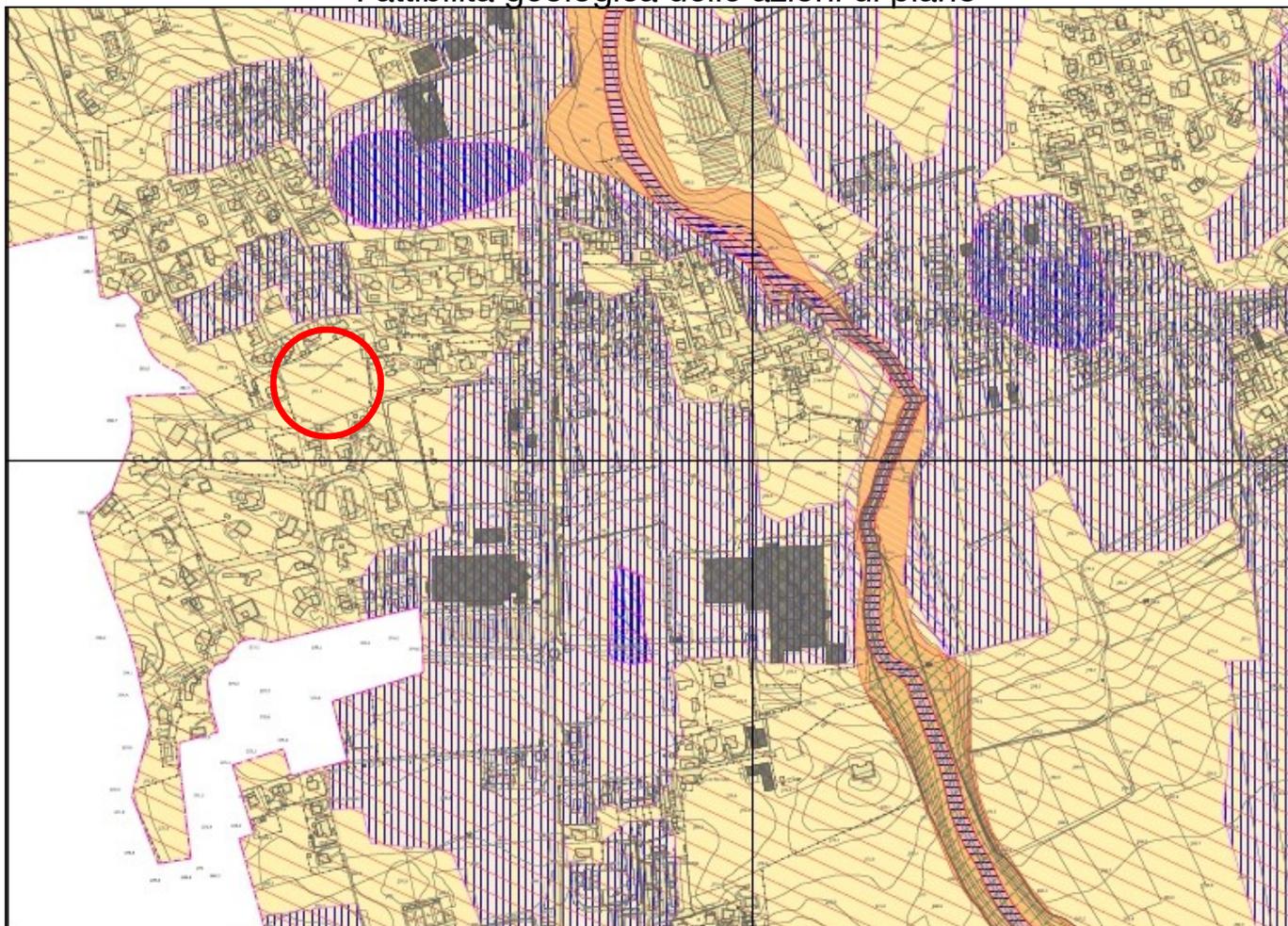
Elaborato non in scala

Committente: Studio TAU
via G. Verdi, 14 - Villasanta (MB)

Località: Casatenovo (LC)
via Lodosa

Tav. 2 - Carta della Fattibilità geologica

Fattibilità geologica delle azioni di piano



Legenda

Classe 3



Sottoclasse 3



a - Aree con riporti di materiale



b - Occhi Pollini: Area ad alto grado di suscettività



c - Aree prossime a corso d'acqua
e/o Aree potenzialmente interessate da alluvioni rare (fonte:PAI/Em PGRA-RSCM/L)



d - Ruscellamento superficiale (fonte: RIM fascia NC)



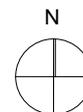
e - Area di ristagno e/o insufficienza rete fognaria (fonte: Studio gestione rischio idraulico e PGRA-RSCM/L)



f - Area di frana stabilizzata (fonte: dissesti PAI/Fs)



g - Falde sospese a bassa soggiacenza



Ubicazione intervento

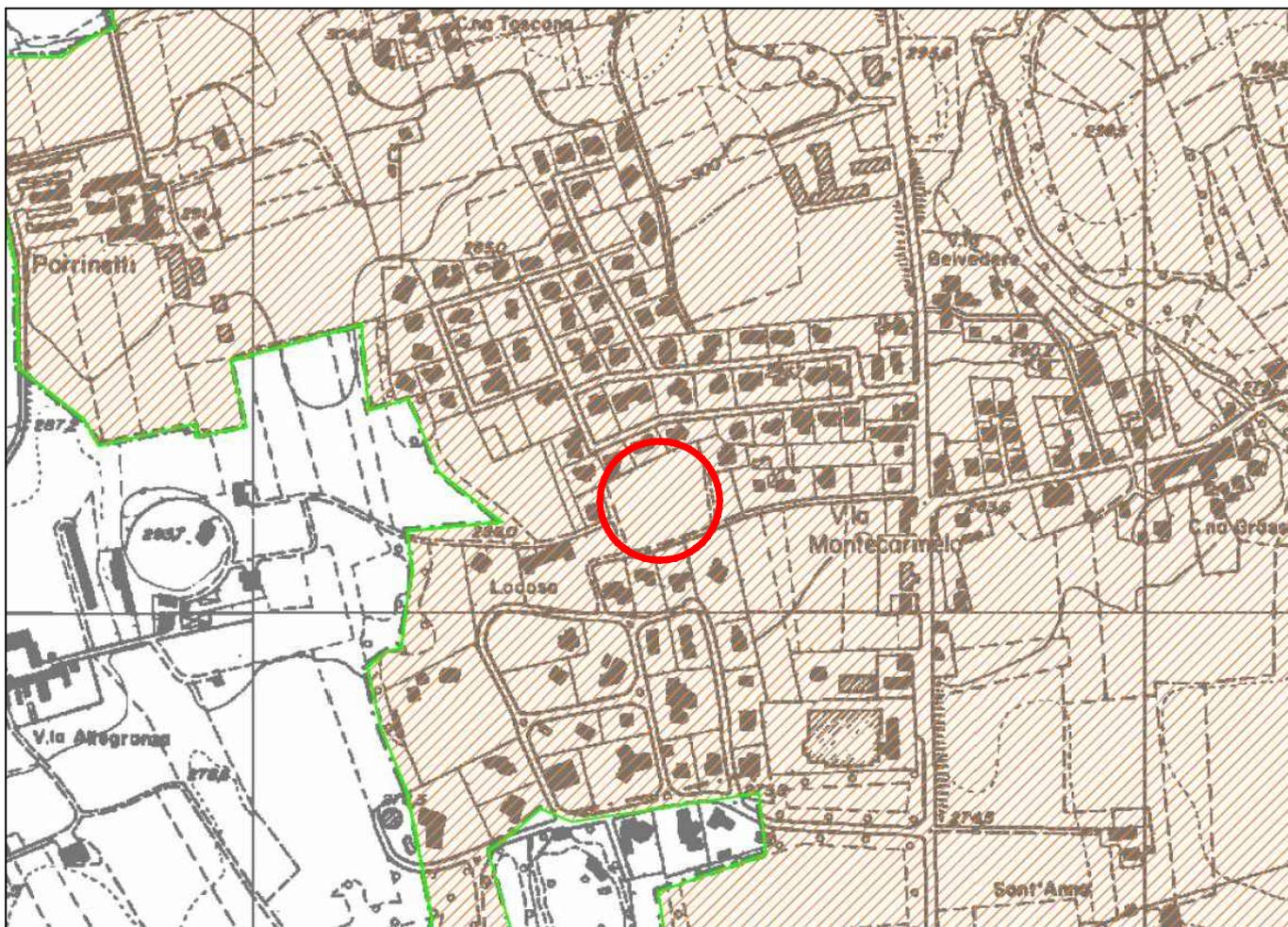
Elaborato non in scala

Committente: Studio TAU
via G. Verdi, 14 - Villasanta (MB)

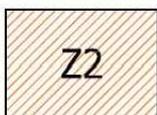
Località: Casatenovo (LC)
via Lodosa

**Tav. 2a - Carta della Fattibilità geologica
- luglio 2023**

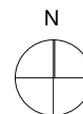
Estratto dalla componente geologica di supporto al PGT comunale
Pericolosità sismica locale (PSL)



Legenda



ZONA CON TERRENI DI FONDAZIONE LOCALMENTE SCADENTI (TERRENI GRANULARI FINI E/O COESIVI) E PRESENZA DI PARTICOLARI STRUTTURE VACUOLARI O CAVITÀ NEL SOTTOSUOLO ("OCCHI POLLINI")
EFFETTI: CEDIMENTI



Ubicazione intervento

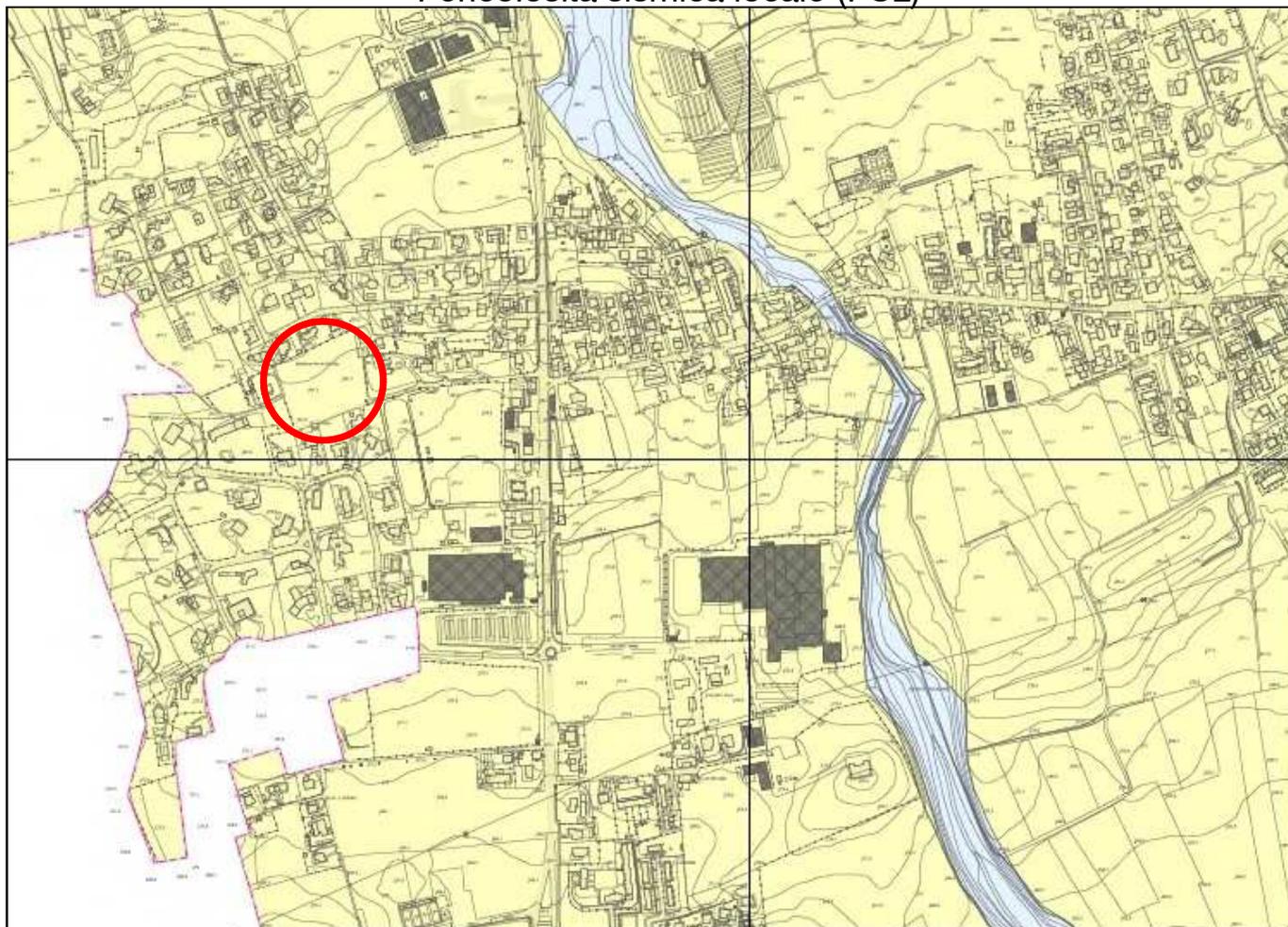
Elaborato non in scala

Committente: Studio TAU
via G. Verdi, 14 - Villasanta (MB)

Località: Casatenovo (LC)
via Lodosa

Tav 3 - Carta della pericolosità sismica locale

Pericolosità sismica locale (PSL)



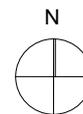
Legenda

Scenario di pericolosità per INSTABILITA' (fonte: PAI)

-  Z1a - Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi
-  Z1b - Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti

Scenario di pericolosità per Amplificazione Litologica (fonte: CARG)

-  Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi
-  Z4c - Zona morenica con presenza di despositi granulari e/o coesivi



Ubicazione intervento

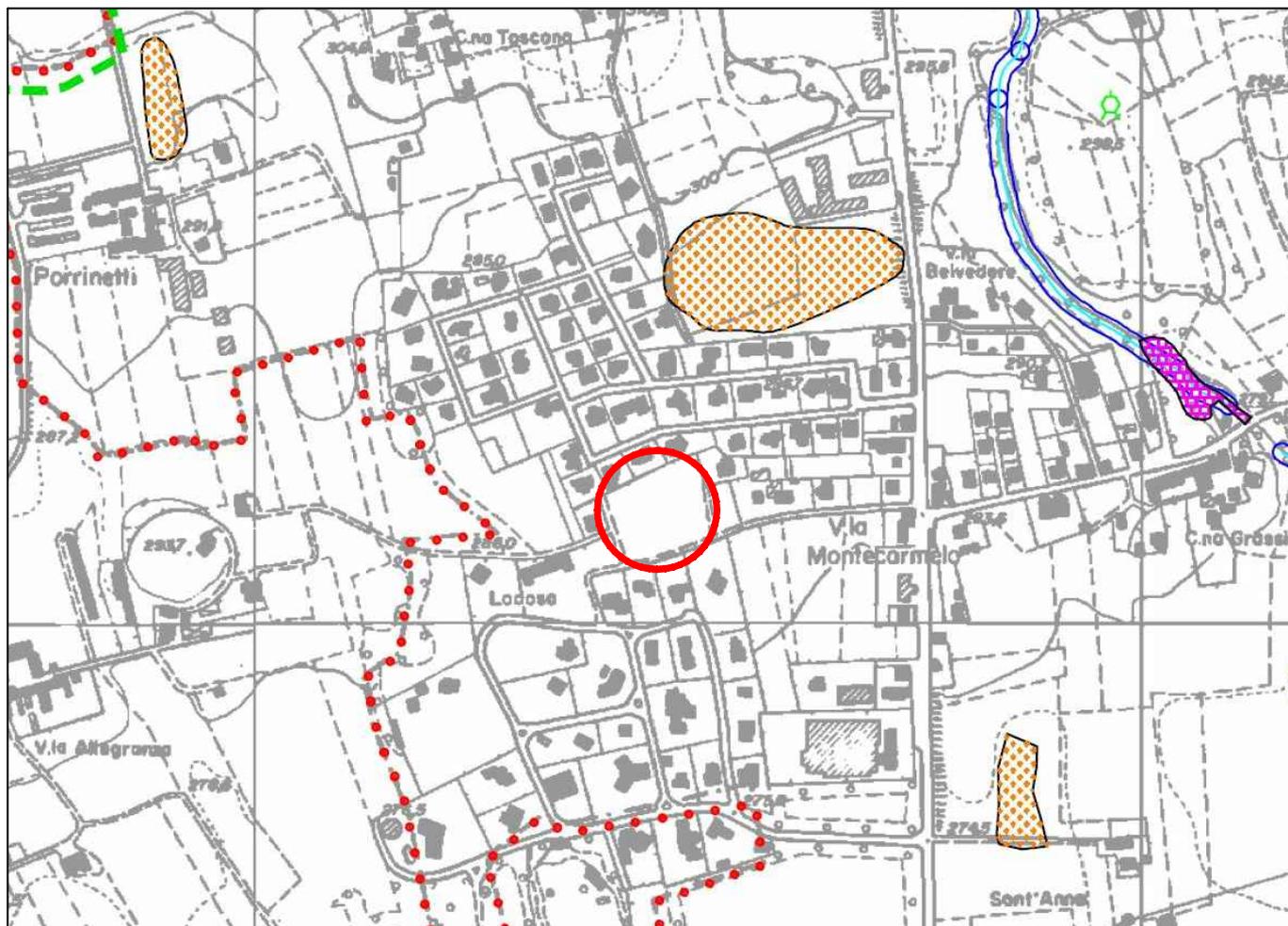
Elaborato non in scala

Committente: Studio TAU
via G. Verdi, 14 - Villasanta (MB)

Località: Casatenovo (LC)
via Lodosa

**Tav 3a - Carta della pericolosità sismica locale
- luglio 2023**

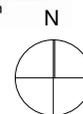
Estratto dalla componente geologica di supporto al PGT comunale Carta dei vincoli



Legenda

	RETICOLO IDROGRAFICO
	FASCE DI RISPETTO DEI CORSI D'ACQUA (DGR n. 7/7868 del 25/01/2002)
OPERE DI CAPTAZIONE D'ACQUA PER USO IDROPOTABILE	
	ZONE DI RISPETTO VIGENTI DELIMITATE CON CRITERIO GEOMETRICO (D. Lgs. 152/06)
	ZONE DI RISPETTO PROPOSTE DELIMITATE CON CRITERIO CRITERIO TEMPORALE (t = 60 gg)
	ZONE DI RISPETTO PROPOSTE DELIMITATE CON CRITERIO CRITERIO TEMPORALE (t = 60 gg) - POZZI FERRARINI VISMARIA
	OPERE DI CAPTAZIONE D'ACQUA PER USO IDROPOTABILE DISMESSE (FASCIA DI RISPETTO ASSOLUTA R = 10 m)
	OPERE DI CAPTAZIONE D'ACQUA PER USO IDROPOTABILE (FASCIA DI RISPETTO ASSOLUTA R = 10 m)
	POZZI INDUSTRIALI IN PREVISIONE DI VULTURAZIONE A PUBBLICI (FASCIA DI RISPETTO ASSOLUTA R = 10 m)
	OPERE DI CAPTAZIONE D'ACQUA PRIVATE

FRANE	PERICOLOSITA' RISCHIO	CLASSI DI FATTIBILITA'	VOCI LEGENDA P.A.I.
	H1 per crolli, crolli in massa e scivolamenti	CLASSE 2-3 (modeste o consistenti limitazioni)	FRANA STABILIZZATA - Fs
	H2 per crolli e crolli in massa H2-H3 per scivolamenti	CLASSE 3-4 (consistenti o gravi limitazioni)	FRANA QUIESCENTE - Fq
	H2-H5 per crolli e crolli in massa H4-H5 per scivolamenti	CLASSE 4 (gravi limitazioni)	FRANA ATTIVA - FA
ESONDAZIONE	PERICOLOSITA' RISCHIO	CLASSI DI FATTIBILITA'	VOCI LEGENDA P.A.I.
	R1 per esondazione (ristagno nel caso in esame)	CLASSE 2 (modeste limitazioni)	Em - Pericolosità media o moderata di esondazione
	R4 per esondazione	CLASSE 4 (gravi limitazioni)	Ee - pericolosità molto elevata



Ubicazione intervento

Elaborato non in scala

Committente: Studio TAU
via G. Verdi, 14 - Villasanta (MB)

Località: Casatenovo (LC)
via Lodosa

Tav 4 - Carta dei vincoli

Estratto dalla componente geologica di supporto al PGT comunale
 adottato luglio 2023
 Carta dei vincoli



Legenda

Aree di rispetto pozzi idropotabili pubblici (NT capitolo 3)

- zona di tutela assoluta
- zona di rispetto

Vincolo Polizia Idraulica Rev. 2018 (NT capitolo 4)

- Traccia Reticolo idrico

Fasce di rispetto

- RIM - Fascia di rispetto A
- RIM - Fascia di rispetto B
- RIM - Fascia di rispetto C

Aree in dissesto PAI (NT capitolo 5)

Aree franose

- FRANE: Area di frana attiva (Fa)
- FRANE: Area di frana quiescente (Fq)
- FRANE: Area di frana stabilizzata (Fs)

Esondazioni e dissesti di carattere torrentizio

- ESONDAZIONI: Area a pericolosità molto elevata (Ee)
- ESONDAZIONI: Area a pericolosità media o moderata (Em)

Piano di gestione dei rischi di alluvione - PGRA (NT capitolo 6)

Reticolo secondario collinare e montano - RSCM

- H - Aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti
- L - Aree potenzialmente interessate da alluvioni rare

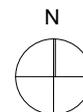
Vincolo PTCP (NT capitolo 7)

- PTCP: Cresta di cordone morenico
- PTCP: Cresta di cordone morenico già antropizzato
- PTCP: Scarpata morfologica
- PTCP: cordone morenico non antropizzato
- PTCP: scarpata morfologica

Studio di gestione del Rischio idraulico - invarianza (NT capitolo 8)

Interventi strutturali

- Aree da destinare a laminazione
- Aree da destinare a laminazione o drenaggio orizzontale
- Cassa di espansione individuata nello studio di Gestione del Rischio Idraulico del comune di Arcore. (in fase di approfondimento)



Ubicazione intervento

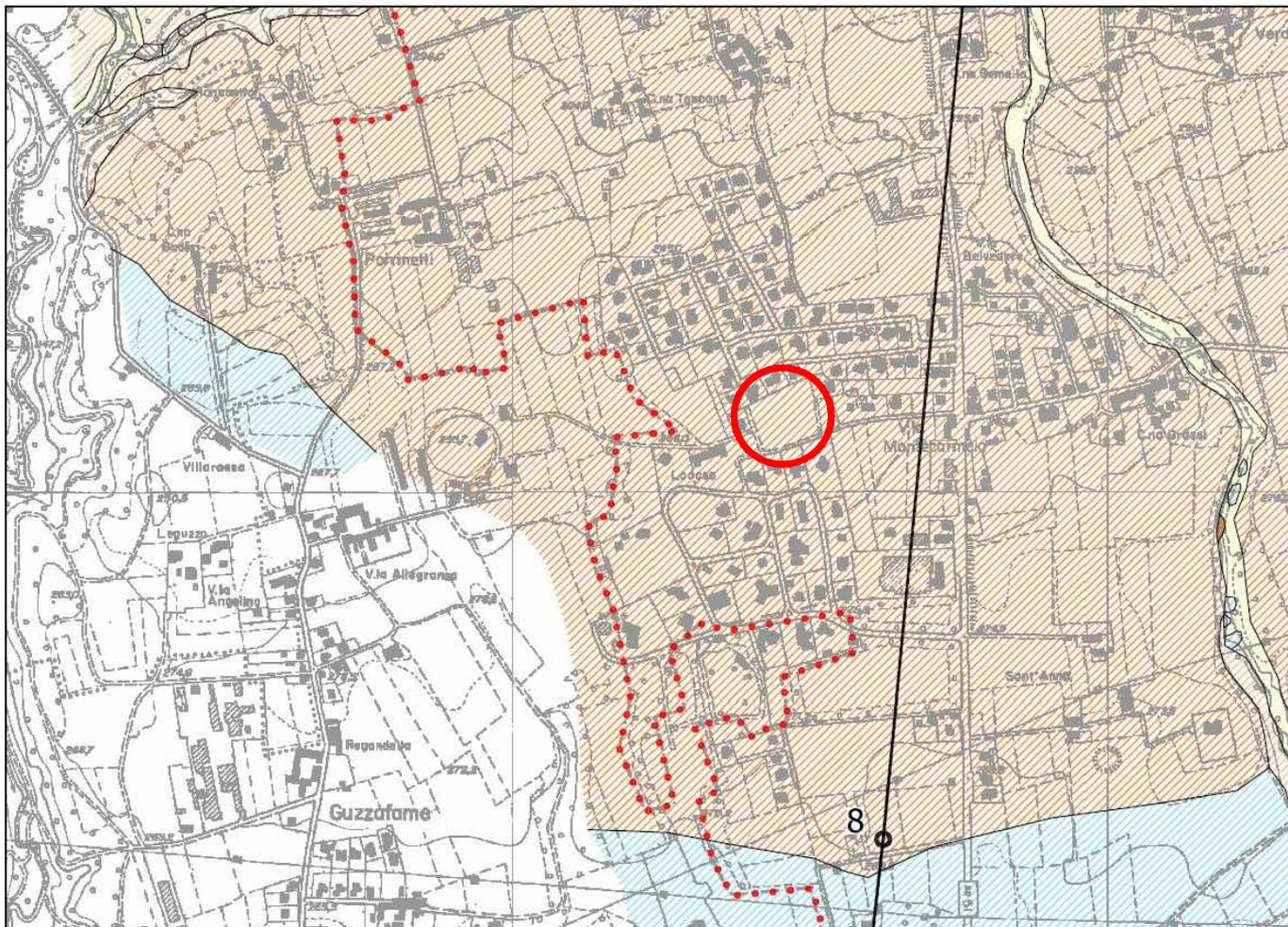
Elaborato non in scala

Committente: Studio TAU
 via G. Verdi, 14 - Villasanta (MB)

Località: Casatenovo (LC)
 via Lodosa

Tav 4a - Carta dei vincoli - luglio 2023

Estratto dalla componente geologica di supporto al PGT comunale
Carta geologica



Legenda

DEPOSITI QUATERNARI



CEPPO DELLA MOLGORA
a) litotipo a dominanza calcareo arenacea
b) litotipo ad elevata concentrazione di cristallini



FORMAZIONE DI MISSAGLIOLA



LIMI DI INCERTA ATTRIBUZIONE



ALLOFORMAZIONE DI C.NA FONTANA



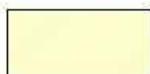
ALLOFORMAZIONE DELLA SPECOLA



ALLOFORMAZIONE DI BINAGO



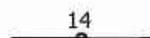
ALLOGRUPPO DI BESNATE



UNITA' POSTGLACIALE



ALLOGRUPPO DI VENEGONO



TRACCIA DELLE SEZIONI GEOLOGICHE



Ubicazione intervento

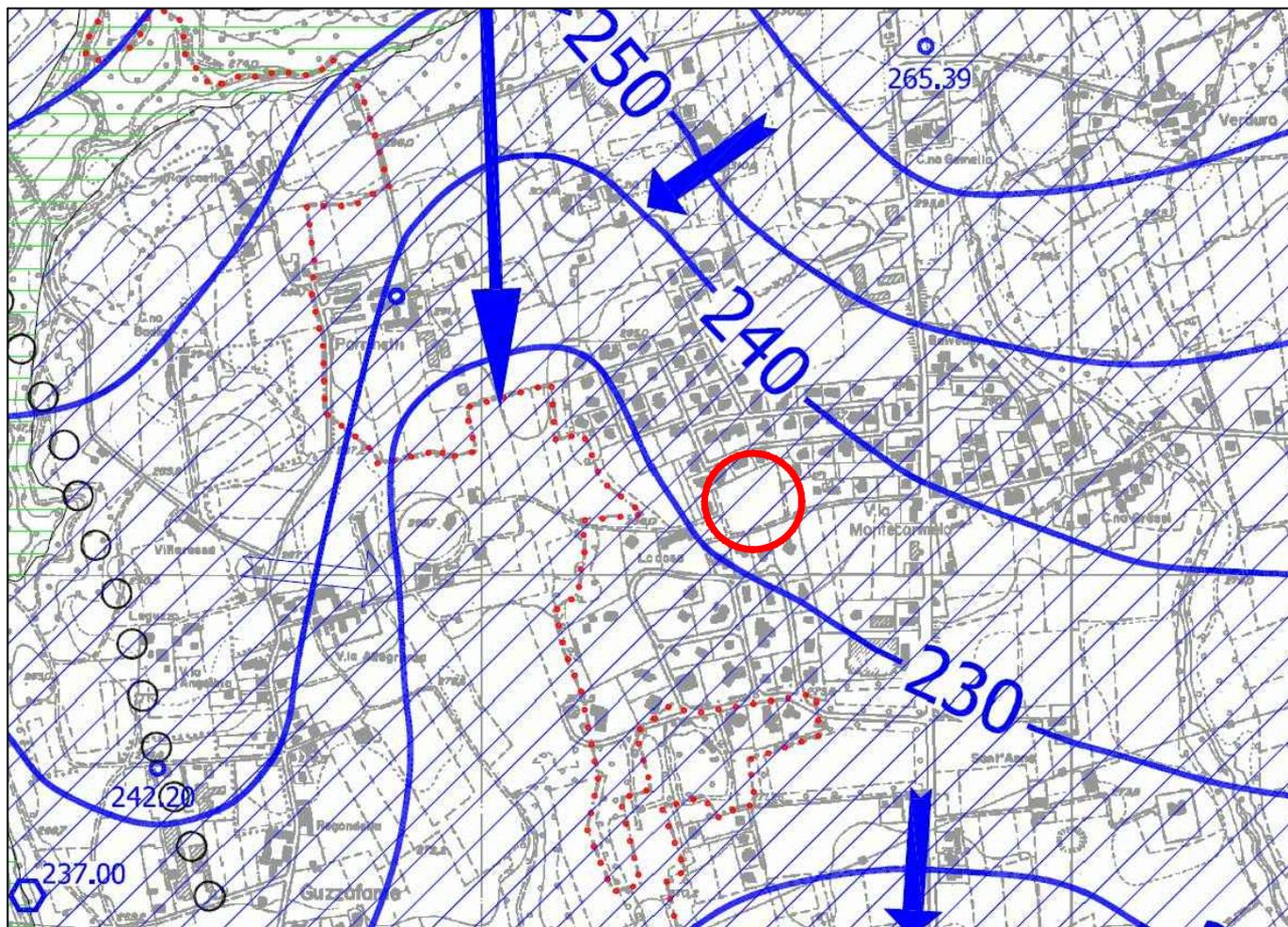
Elaborato non in scala

Committente: Studio TAU
via G. Verdi, 14 - Villasanta (MB)

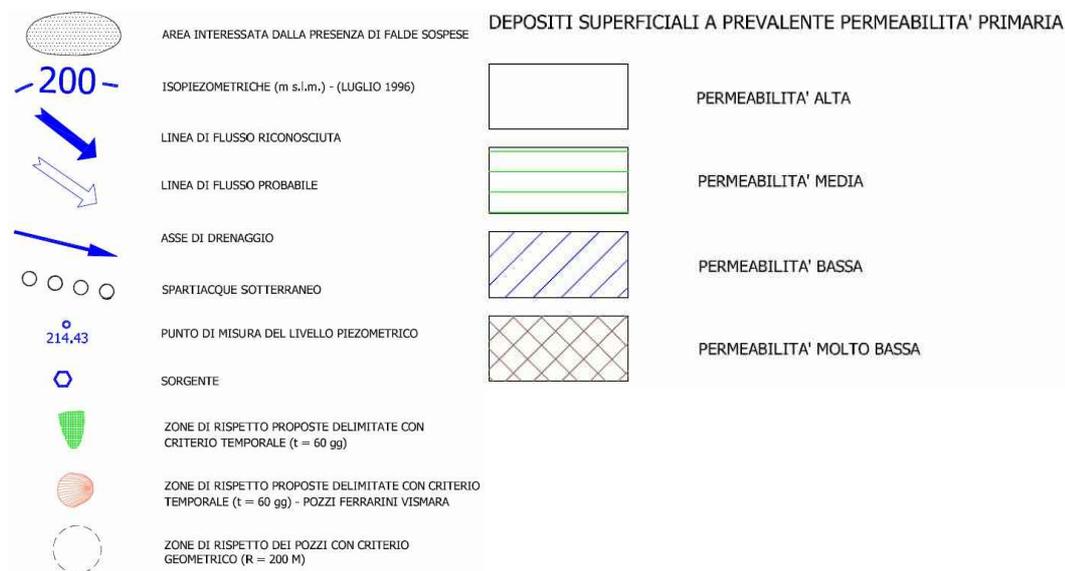
Località: Casatenovo (LC)
via Lodosa

Tav 5 - Inquadramento geologico

Estratto dalla componente geologica di supporto al PGT comunale
Carta idrogeologica



Legenda



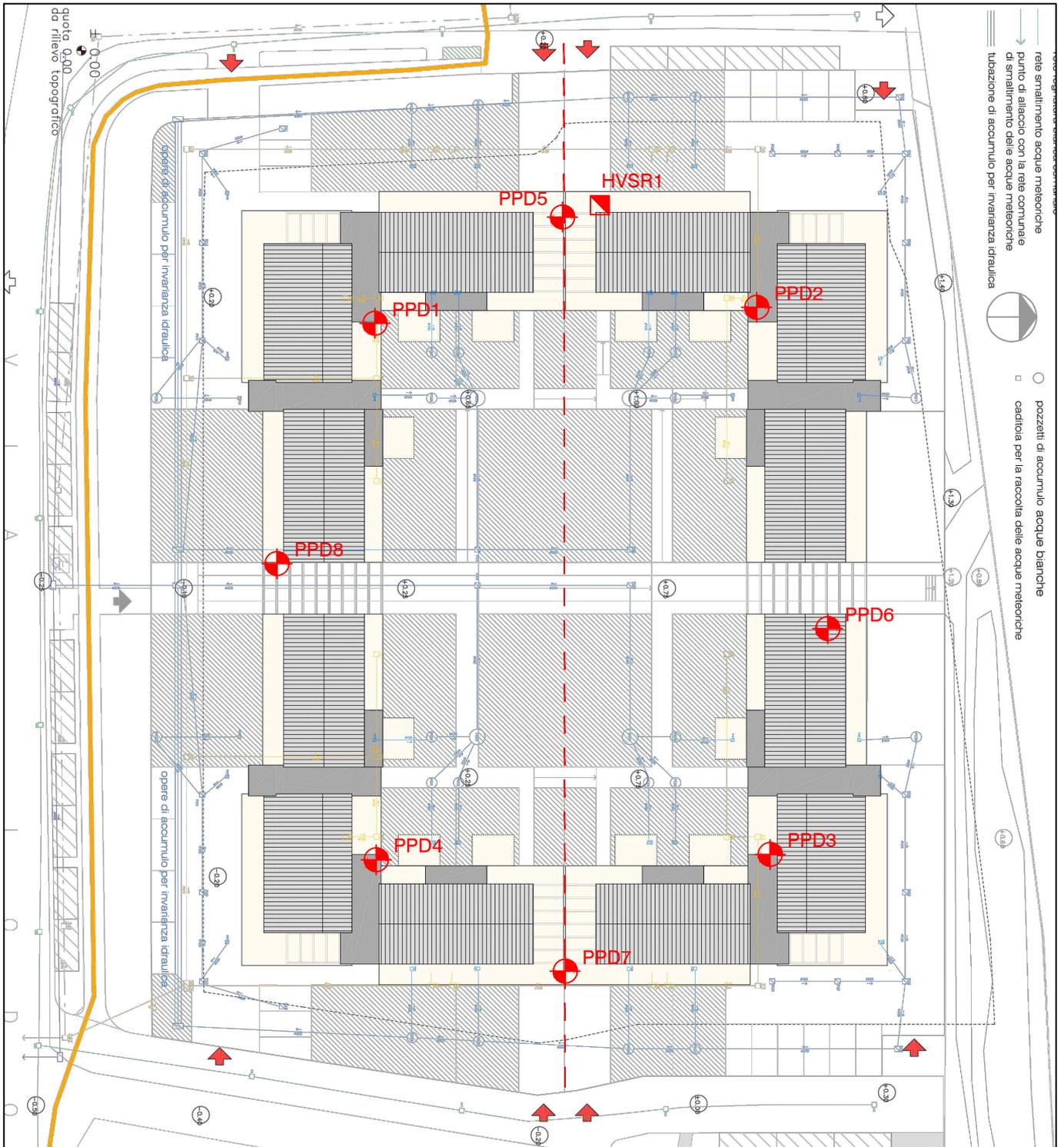
Ubicazione intervento

Elaborato non in scala

Committente: Studio TAU
via G. Verdi, 14 - Villasanta (MB)

Località: Casatenovo (LC)
via Lodosa

Tav 6 - Inquadramento idrogeologico



Scala 1:500

Legenda

Planimetria fornita dal progettista (modificata)

-  Traccia sezione geotecnica
-  PPD1 Prova penetrometrica dinamica
-  HVS1 Prospezione sismica tipo HVSR

Committente: Studio TAU
via G. Verdi, 14 - Villasanta (MB)

Località: Casatenovo (LC)
via Lodosa

Tav 7 - Ubicazione dei punti di indagine

NW

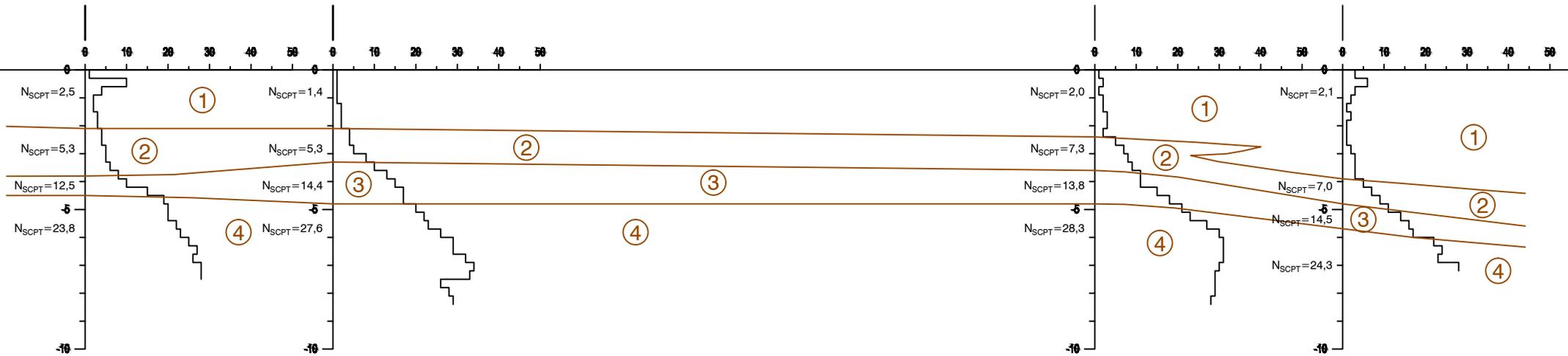
SE

PPD5

PPD2

PPD3

PPD7

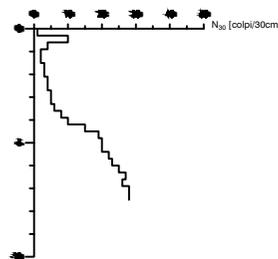


Legenda

- ① Unità litotecnica 1 - $N_{SCPT} = 1 \div 4$
- ② Unità litotecnica 2 - $N_{SCPT} = 3 \div 9$
- ③ Unità litotecnica 3 - $N_{SCPT} = 10 \div 18$
- ④ Unità litotecnica 4 - $N_{SCPT} = 20 \div 34$

Scala 1:200 0 1 5 m

Grafico prova penetrometrica dinamica



Committente: Studio TAU
via G. Verdi, 14 - Villasanta (MB)

Località: Casatenovo (LC)
via Lodosa

Tav. 8 - Sezione geotecnica

**Tabulati e grafici prove
penetrometriche dinamiche**

Prova penetrometrica dinamica

PPD1

Committente: **Lottizzanti Piano Attuativo AdT1 - Studio TAU**

Data: **27/04/2017**

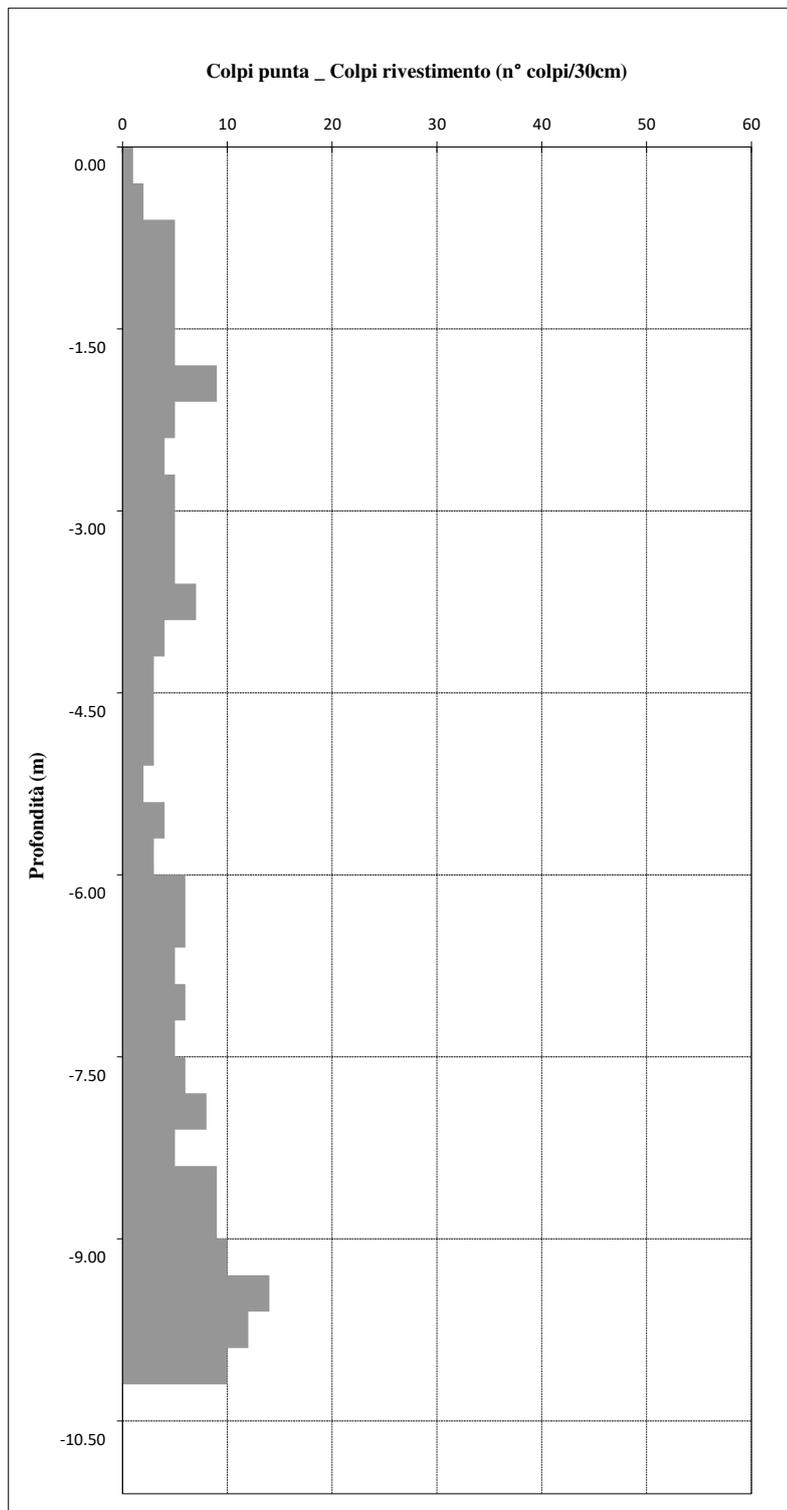
Località: **Casatenovo (LC)**

Quota inizio: **p.c.**

Indirizzo: **via Lodosa**

Falda: **-**

Attrezzatura: **Pagani TG 63/100**



Quota		Colpi Punta (Nscpt)	Colpi Rivestimento (Nscpt)
0.00	-0.30	1	
-0.30	-0.60	2	
-0.60	-0.90	5	
-0.90	-1.20	5	
-1.20	-1.50	5	
-1.50	-1.80	5	
-1.80	-2.10	9	
-2.10	-2.40	5	
-2.40	-2.70	4	
-2.70	-3.00	5	
-3.00	-3.30	5	
-3.30	-3.60	5	
-3.60	-3.90	7	
-3.90	-4.20	4	
-4.20	-4.50	3	
-4.50	-4.80	3	
-4.80	-5.10	3	
-5.10	-5.40	2	
-5.40	-5.70	4	
-5.70	-6.00	3	
-6.00	-6.30	6	
-6.30	-6.60	6	
-6.60	-6.90	5	
-6.90	-7.20	6	
-7.20	-7.50	5	
-7.50	-7.80	6	
-7.80	-8.10	8	
-8.10	-8.40	5	
-8.40	-8.70	9	
-8.70	-9.00	9	
-9.00	-9.30	10	
-9.30	-9.60	14	
-9.60	-9.90	12	
-9.90	-10.20	10	
-10.20	-10.50		
-10.50	-10.80		
-10.80	-11.10		

Dott. Geol. Mario Villa

Via delle Querce, 27 - 22040 Lurago d'Erba (CO)
 tel. 0312245181 - fax. 0312251886 - cell. 3407007749
 P.IVA 04963990967

Prova penetrometrica dinamica

PPD2

Committente: **Lottizzanti Piano Attuativo AdT1 - Studio TAU**

Data: **27/04/2017**

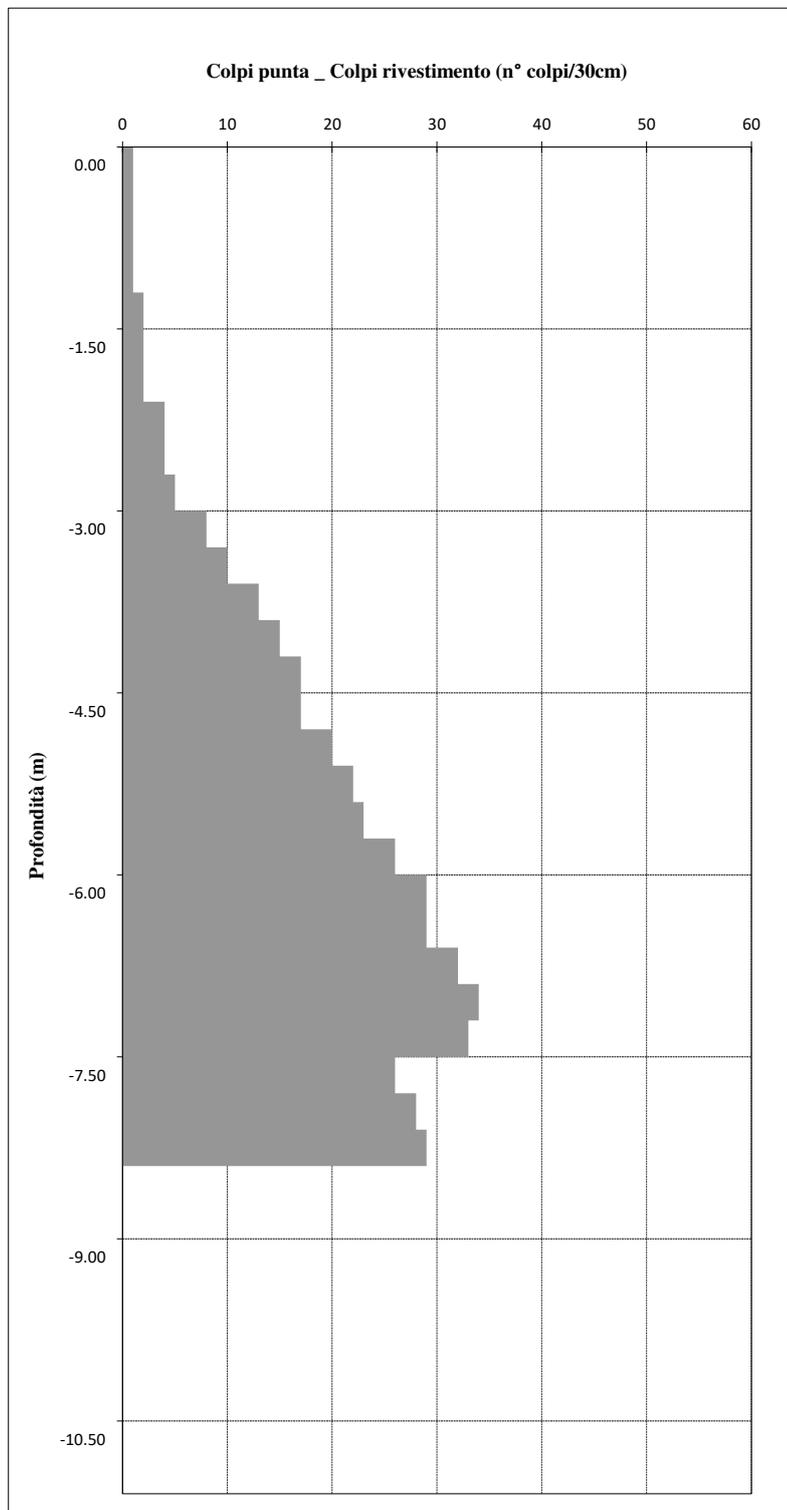
Località: **Casatenovo (LC)**

Quota inizio: **p.c.**

Indirizzo: **via Lodosa**

Falda: **-**

Attrezzatura: **Pagani TG 63/100**



Quota		Colpi Punta (Nscpt)	Colpi Rivestimento (Nscpt)
0.00	-0.30	1	
-0.30	-0.60	1	
-0.60	-0.90	1	
-0.90	-1.20	1	
-1.20	-1.50	2	
-1.50	-1.80	2	
-1.80	-2.10	2	
-2.10	-2.40	4	
-2.40	-2.70	4	
-2.70	-3.00	5	
-3.00	-3.30	8	
-3.30	-3.60	10	
-3.60	-3.90	13	
-3.90	-4.20	15	
-4.20	-4.50	17	
-4.50	-4.80	17	
-4.80	-5.10	20	
-5.10	-5.40	22	
-5.40	-5.70	23	
-5.70	-6.00	26	
-6.00	-6.30	29	
-6.30	-6.60	29	
-6.60	-6.90	32	
-6.90	-7.20	34	
-7.20	-7.50	33	
-7.50	-7.80	26	
-7.80	-8.10	28	
-8.10	-8.40	29	
-8.40	-8.70		
-8.70	-9.00		
-9.00	-9.30		
-9.30	-9.60		
-9.60	-9.90		
-9.90	-10.20		
-10.20	-10.50		
-10.50	-10.80		
-10.80	-11.10		

Dott. Geol. Mario Villa

Via delle Querce, 27 - 22040 Lurago d'Erba (CO)
 tel. 0312245181 - fax. 0312251886 - cell. 3407007749
 P.IVA 04963990967

Prova penetrometrica dinamica

PPD3

Committente: **Lottizzanti Piano Attuativo AdT1 - Studio TAU**

Data: **27/04/2017**

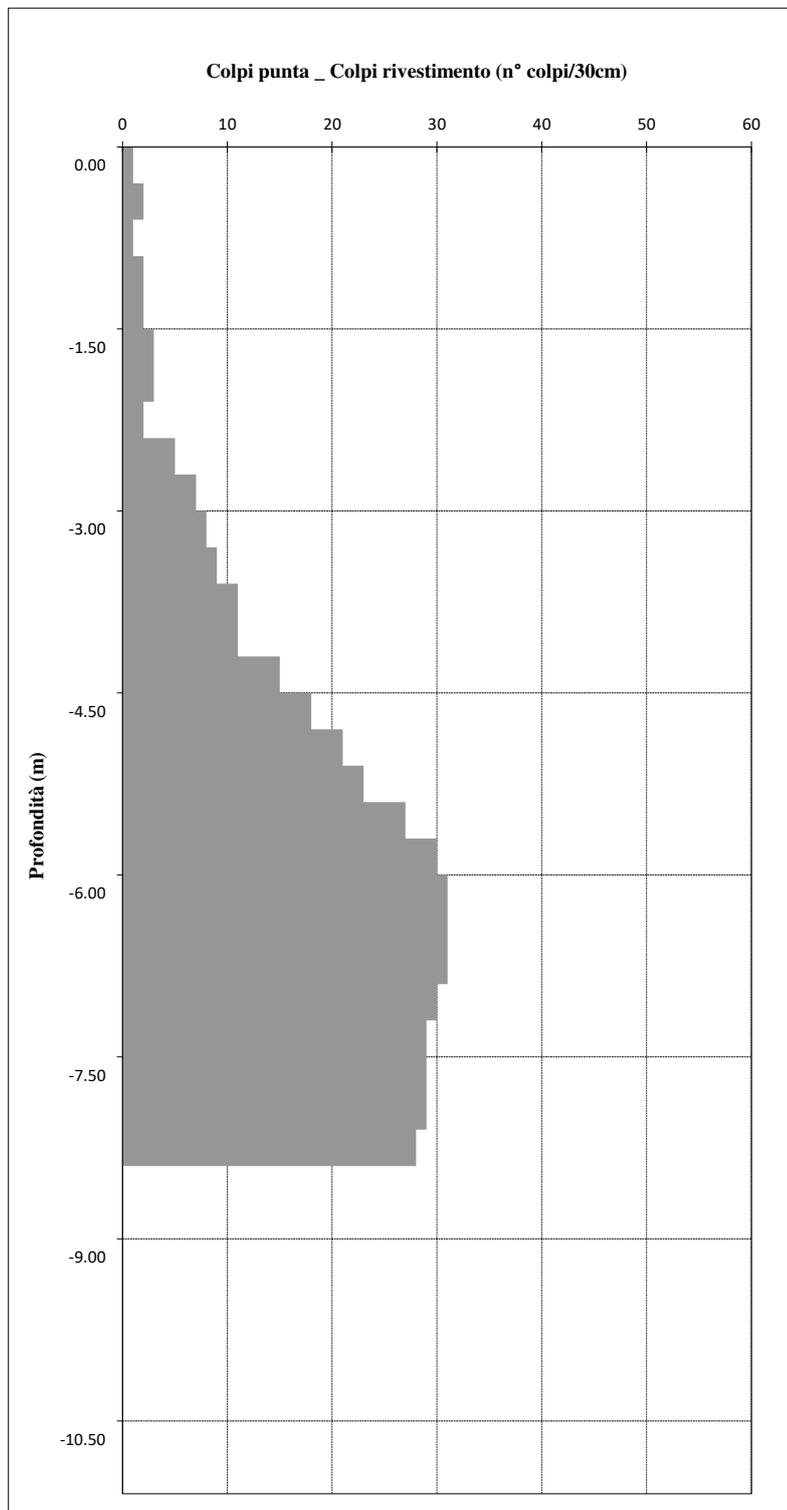
Località: **Casatenovo (LC)**

Quota inizio: **p.c.**

Indirizzo: **via Lodosa**

Falda: **-**

Attrezzatura: **Pagani TG 63/100**



Quota		Colpi Punta (Nscpt)	Colpi Rivestimento (Nscpt)
0.00	-0.30	1	
-0.30	-0.60	2	
-0.60	-0.90	1	
-0.90	-1.20	2	
-1.20	-1.50	2	
-1.50	-1.80	3	
-1.80	-2.10	3	
-2.10	-2.40	2	
-2.40	-2.70	5	
-2.70	-3.00	7	
-3.00	-3.30	8	
-3.30	-3.60	9	
-3.60	-3.90	11	
-3.90	-4.20	11	
-4.20	-4.50	15	
-4.50	-4.80	18	
-4.80	-5.10	21	
-5.10	-5.40	23	
-5.40	-5.70	27	
-5.70	-6.00	30	
-6.00	-6.30	31	
-6.30	-6.60	31	
-6.60	-6.90	31	
-6.90	-7.20	30	
-7.20	-7.50	29	
-7.50	-7.80	29	
-7.80	-8.10	29	
-8.10	-8.40	28	
-8.40	-8.70		
-8.70	-9.00		
-9.00	-9.30		
-9.30	-9.60		
-9.60	-9.90		
-9.90	-10.20		
-10.20	-10.50		
-10.50	-10.80		
-10.80	-11.10		

Dott. Geol. Mario Villa

Via delle Querce, 27 - 22040 Lurago d'Erba (CO)
 tel. 0312245181 - fax. 0312251886 - cell. 3407007749
 P.IVA 04963990967

Prova penetrometrica dinamica

PPD4

Committente: **Lottizzanti Piano Attuativo AdT1 - Studio TAU**

Data: **27/04/2017**

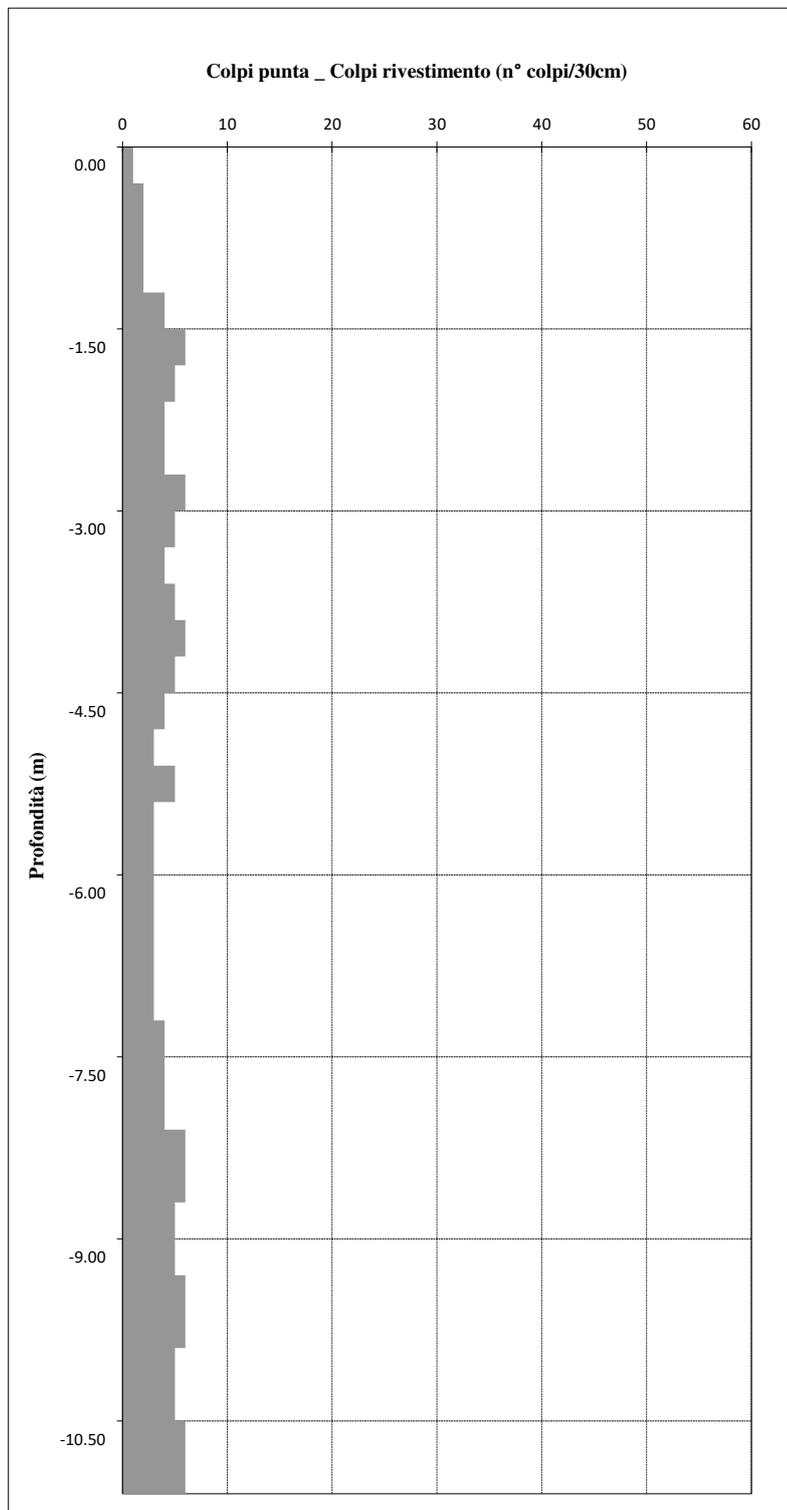
Località: **Casatenovo (LC)**

Quota inizio: **p.c.**

Indirizzo: **via Lodosa**

Falda: **-**

Attrezzatura: **Pagani TG 63/100**



Quota		Colpi Punta (Nscpt)	Colpi Rivestimento (Nscpt)
0.00	-0.30	1	
-0.30	-0.60	2	
-0.60	-0.90	2	
-0.90	-1.20	2	
-1.20	-1.50	4	
-1.50	-1.80	6	
-1.80	-2.10	5	
-2.10	-2.40	4	
-2.40	-2.70	4	
-2.70	-3.00	6	
-3.00	-3.30	5	
-3.30	-3.60	4	
-3.60	-3.90	5	
-3.90	-4.20	6	
-4.20	-4.50	5	
-4.50	-4.80	4	
-4.80	-5.10	3	
-5.10	-5.40	5	
-5.40	-5.70	3	
-5.70	-6.00	3	
-6.00	-6.30	3	
-6.30	-6.60	3	
-6.60	-6.90	3	
-6.90	-7.20	3	
-7.20	-7.50	4	
-7.50	-7.80	4	
-7.80	-8.10	4	
-8.10	-8.40	6	
-8.40	-8.70	6	
-8.70	-9.00	5	
-9.00	-9.30	5	
-9.30	-9.60	6	
-9.60	-9.90	6	
-9.90	-10.20	5	
-10.20	-10.50	5	
-10.50	-10.80	6	
-10.80	-11.10	6	

Dott. Geol. Mario Villa

Via delle Querce, 27 - 22040 Lurago d'Erba (CO)
 tel. 0312245181 - fax. 0312251886 - cell. 3407007749
 P.IVA 04963990967

Prova penetrometrica dinamica

PPD5

Committente: **Lottizzanti Piano Attuativo AdT1 - Studio TAU**

Data: **21/06/2022**

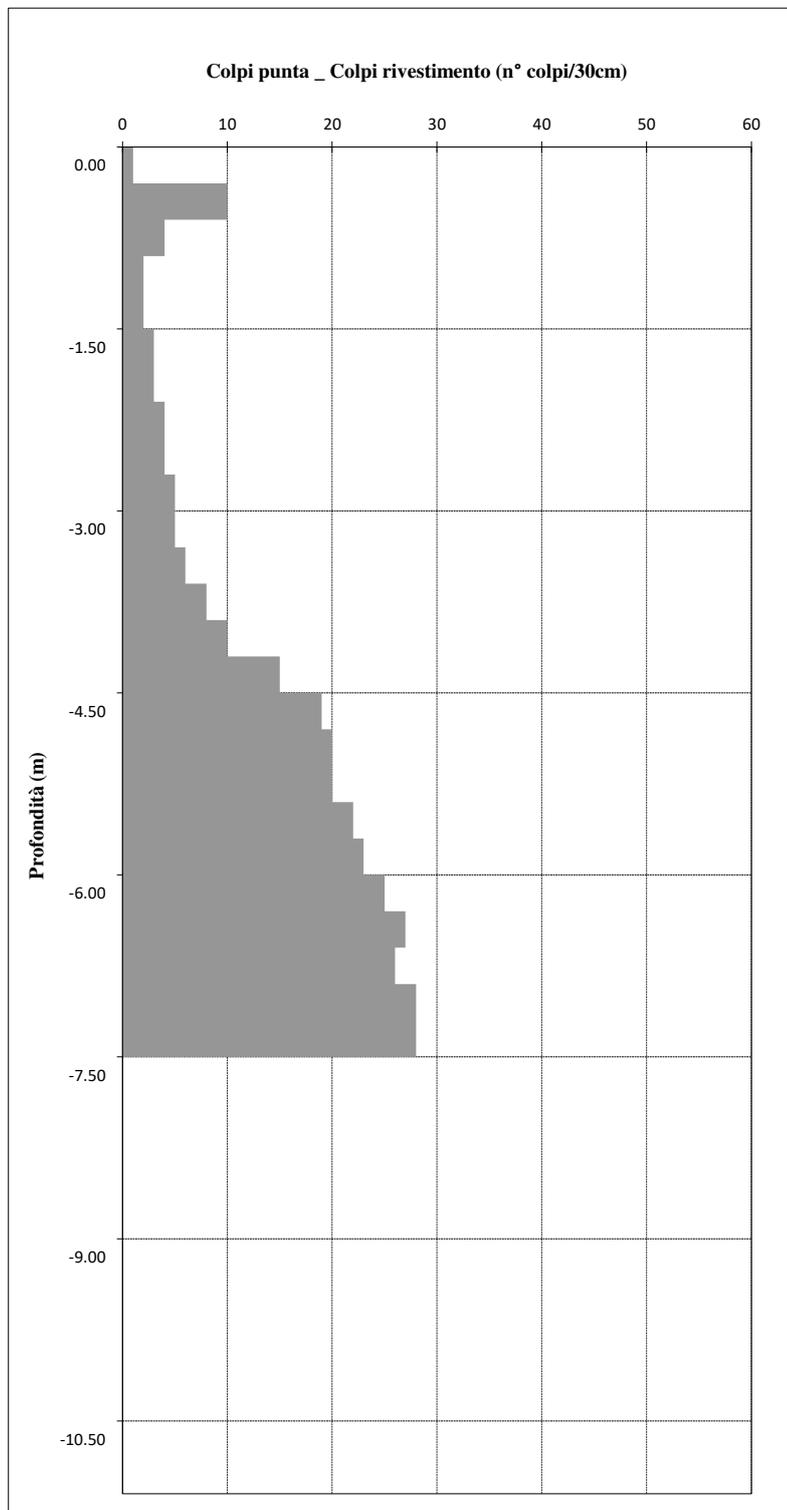
Località: **Casatenovo (LC)**

Quota inizio: **p.c.**

Indirizzo: **via Lodosa**

Falda: **-**

Attrezzatura: **Pagani TG 63/100**



Quota		Colpi Punta (Nscpt)	Colpi Rivestimento (Nscpt)
0.00	-0.30	1	
-0.30	-0.60	10	
-0.60	-0.90	4	
-0.90	-1.20	2	
-1.20	-1.50	2	
-1.50	-1.80	3	
-1.80	-2.10	3	
-2.10	-2.40	4	
-2.40	-2.70	4	
-2.70	-3.00	5	
-3.00	-3.30	5	
-3.30	-3.60	6	
-3.60	-3.90	8	
-3.90	-4.20	10	
-4.20	-4.50	15	
-4.50	-4.80	19	
-4.80	-5.10	20	
-5.10	-5.40	20	
-5.40	-5.70	22	
-5.70	-6.00	23	
-6.00	-6.30	25	
-6.30	-6.60	27	
-6.60	-6.90	26	
-6.90	-7.20	28	
-7.20	-7.50	28	
-7.50	-7.80		
-7.80	-8.10		
-8.10	-8.40		
-8.40	-8.70		
-8.70	-9.00		
-9.00	-9.30		
-9.30	-9.60		
-9.60	-9.90		
-9.90	-10.20		
-10.20	-10.50		
-10.50	-10.80		
-10.80	-11.10		

Dott. Geol. Mario Villa

Via delle Querce, 27 - 22040 Lurago d'Erba (CO)
 tel. 0312245181 - fax. 0312251886 - cell. 3407007749
 P.IVA 04963990967

Prova penetrometrica dinamica

PPD6

Committente: **Lottizzanti Piano Attuativo AdT1 - Studio TAU**

Data: **21/06/2022**

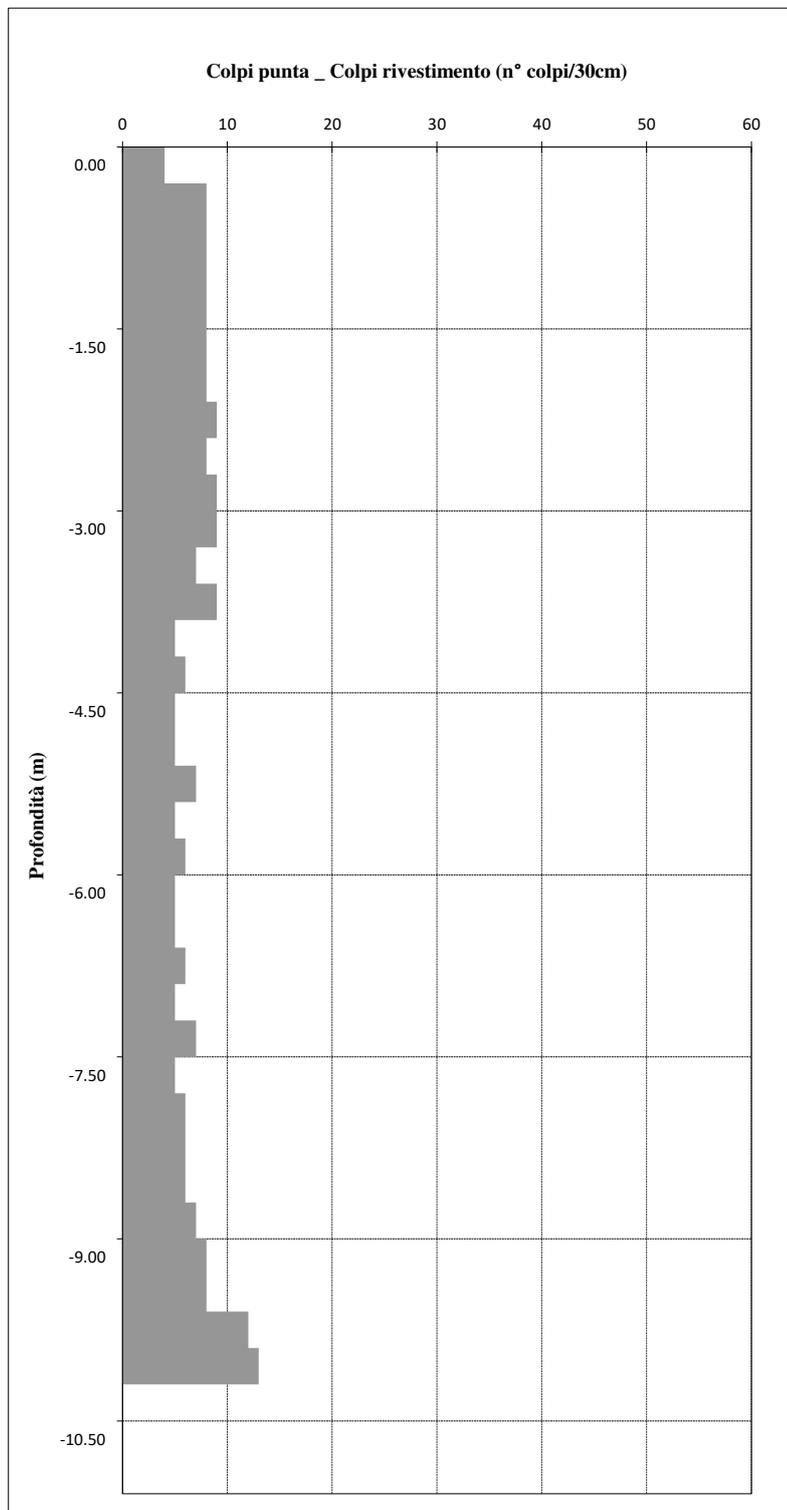
Località: **Casatenovo (LC)**

Quota inizio: **p.c.**

Indirizzo: **via Lodosa**

Falda: **-**

Attrezzatura: **Pagani TG 63/100**



Quota		Colpi Punta (Nscpt)	Colpi Rivestimento (Nscpt)
0.00	-0.30	4	
-0.30	-0.60	8	
-0.60	-0.90	8	
-0.90	-1.20	8	
-1.20	-1.50	8	
-1.50	-1.80	8	
-1.80	-2.10	8	
-2.10	-2.40	9	
-2.40	-2.70	8	
-2.70	-3.00	9	
-3.00	-3.30	9	
-3.30	-3.60	7	
-3.60	-3.90	9	
-3.90	-4.20	5	
-4.20	-4.50	6	
-4.50	-4.80	5	
-4.80	-5.10	5	
-5.10	-5.40	7	
-5.40	-5.70	5	
-5.70	-6.00	6	
-6.00	-6.30	5	
-6.30	-6.60	5	
-6.60	-6.90	6	
-6.90	-7.20	5	
-7.20	-7.50	7	
-7.50	-7.80	5	
-7.80	-8.10	6	
-8.10	-8.40	6	
-8.40	-8.70	6	
-8.70	-9.00	7	
-9.00	-9.30	8	
-9.30	-9.60	8	
-9.60	-9.90	12	
-9.90	-10.20	13	
-10.20	-10.50		
-10.50	-10.80		
-10.80	-11.10		

Dott. Geol. Mario Villa

Via delle Querce, 27 - 22040 Lurago d'Erba (CO)
 tel. 0312245181 - fax. 0312251886 - cell. 3407007749
 P.IVA 04963990967

Prova penetrometrica dinamica

PPD7

Committente: **Lottizzanti Piano Attuativo AdT1 - Studio TAU**

Data: **21/06/2022**

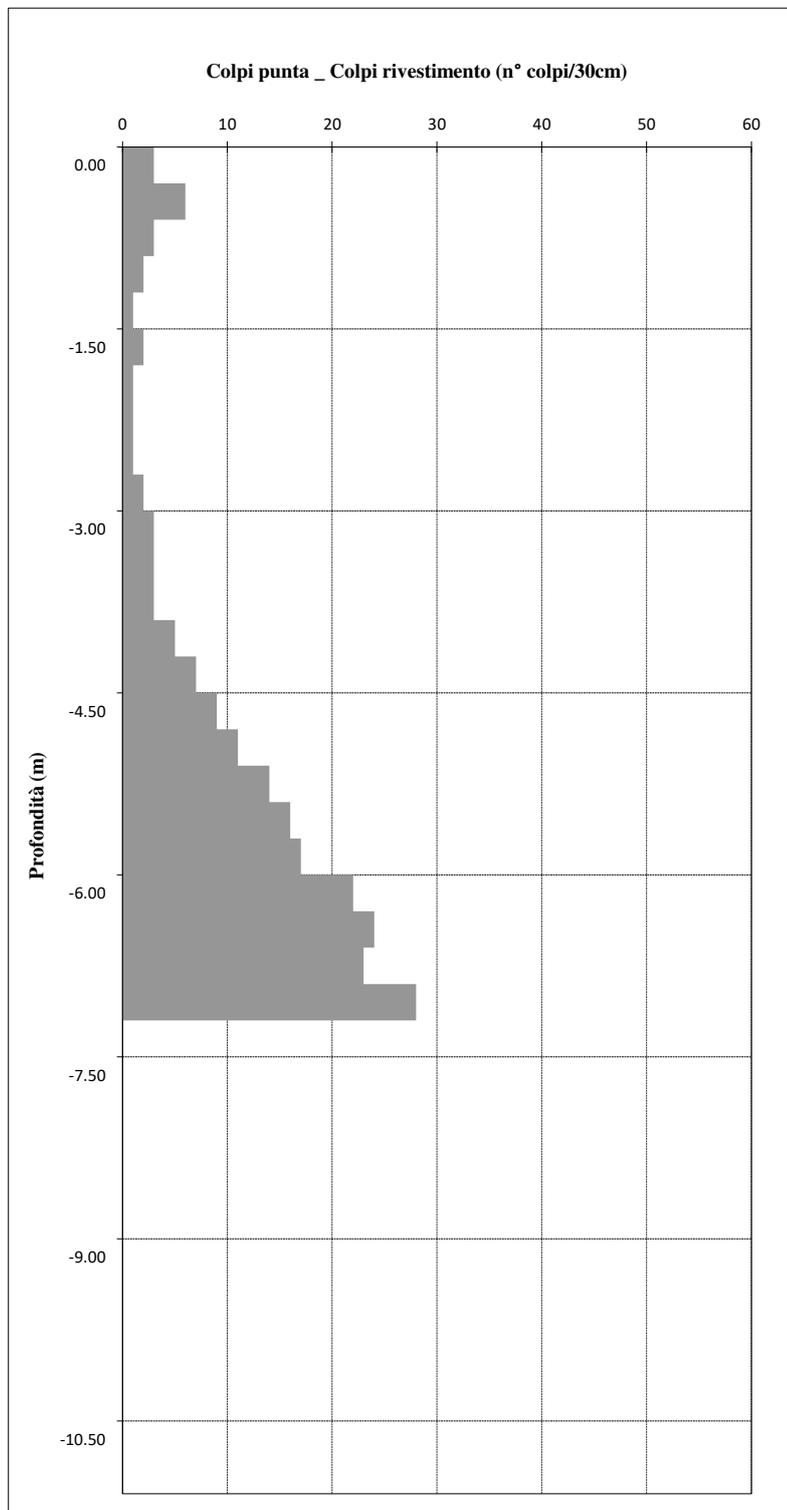
Località: **Casatenovo (LC)**

Quota inizio: **p.c.**

Indirizzo: **via Lodosa**

Falda: **-**

Attrezzatura: **Pagani TG 63/100**



Quota		Colpi Punta (Nscpt)	Colpi Rivestimento (Nscpt)
0.00	-0.30	3	
-0.30	-0.60	6	
-0.60	-0.90	3	
-0.90	-1.20	2	
-1.20	-1.50	1	
-1.50	-1.80	2	
-1.80	-2.10	1	
-2.10	-2.40	1	
-2.40	-2.70	1	
-2.70	-3.00	2	
-3.00	-3.30	3	
-3.30	-3.60	3	
-3.60	-3.90	3	
-3.90	-4.20	5	
-4.20	-4.50	7	
-4.50	-4.80	9	
-4.80	-5.10	11	
-5.10	-5.40	14	
-5.40	-5.70	16	
-5.70	-6.00	17	
-6.00	-6.30	22	
-6.30	-6.60	24	
-6.60	-6.90	23	
-6.90	-7.20	28	
-7.20	-7.50		
-7.50	-7.80		
-7.80	-8.10		
-8.10	-8.40		
-8.40	-8.70		
-8.70	-9.00		
-9.00	-9.30		
-9.30	-9.60		
-9.60	-9.90		
-9.90	-10.20		
-10.20	-10.50		
-10.50	-10.80		
-10.80	-11.10		

Dott. Geol. Mario Villa

Via delle Querce, 27 - 22040 Lurago d'Erba (CO)
 tel. 0312245181 - fax. 0312251886 - cell. 3407007749
 P.IVA 04963990967

Prova penetrometrica dinamica

PPD8

Committente: **Lottizzanti Piano Attuativo AdT1 - Studio TAU**

Data: **21/06/2022**

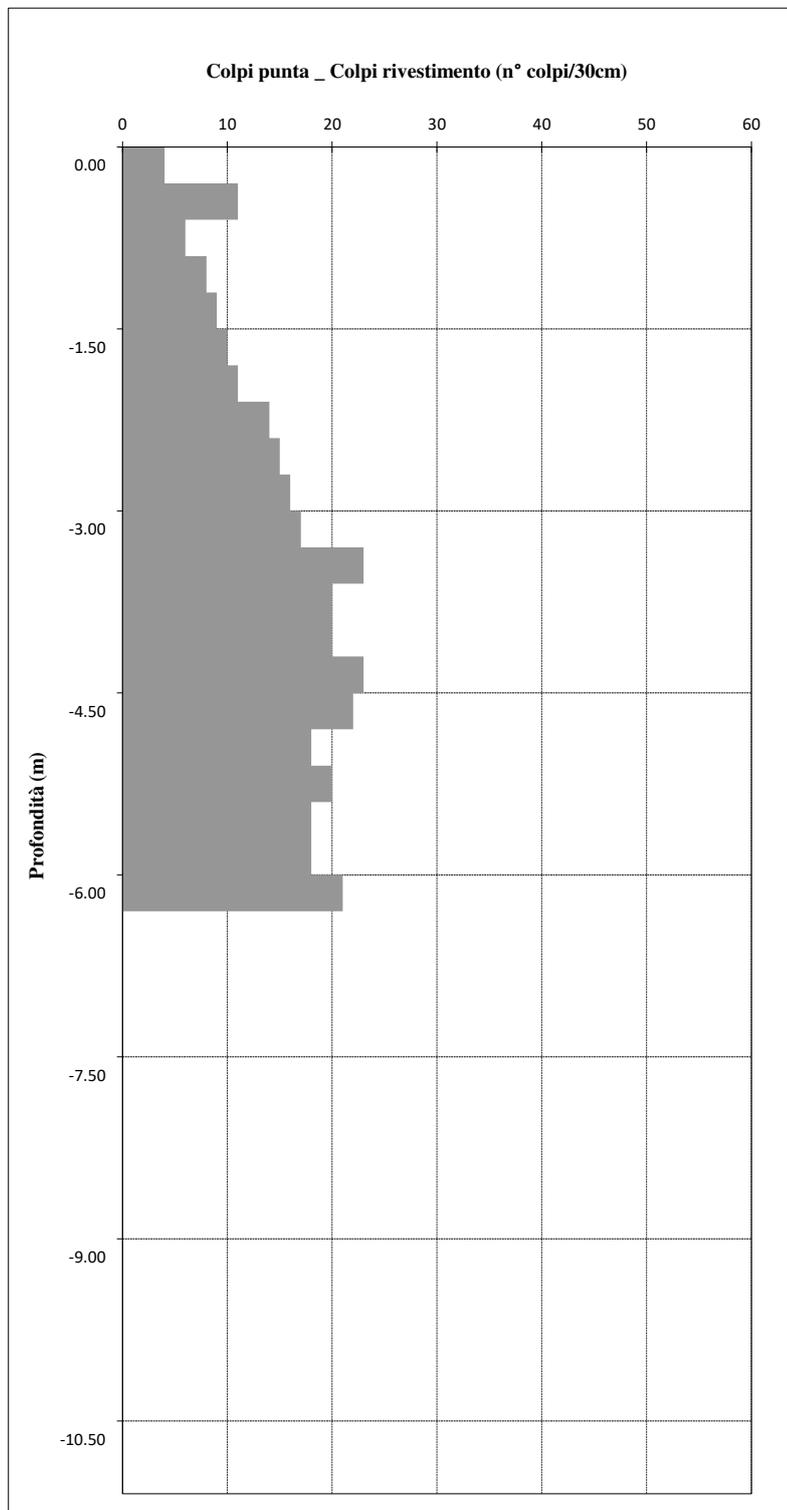
Località: **Casatenovo (LC)**

Quota inizio: **p.c.**

Indirizzo: **via Lodosa**

Falda: **-**

Attrezzatura: **Pagani TG 63/100**



Quota		Colpi Punta (Nscpt)	Colpi Rivestimento (Nscpt)
0.00	-0.30	4	
-0.30	-0.60	11	
-0.60	-0.90	6	
-0.90	-1.20	8	
-1.20	-1.50	9	
-1.50	-1.80	10	
-1.80	-2.10	11	
-2.10	-2.40	14	
-2.40	-2.70	15	
-2.70	-3.00	16	
-3.00	-3.30	17	
-3.30	-3.60	23	
-3.60	-3.90	20	
-3.90	-4.20	20	
-4.20	-4.50	23	
-4.50	-4.80	22	
-4.80	-5.10	18	
-5.10	-5.40	20	
-5.40	-5.70	18	
-5.70	-6.00	18	
-6.00	-6.30	21	
-6.30	-6.60		
-6.60	-6.90		
-6.90	-7.20		
-7.20	-7.50		
-7.50	-7.80		
-7.80	-8.10		
-8.10	-8.40		
-8.40	-8.70		
-8.70	-9.00		
-9.00	-9.30		
-9.30	-9.60		
-9.60	-9.90		
-9.90	-10.20		
-10.20	-10.50		
-10.50	-10.80		
-10.80	-11.10		

Dott. Geol. Mario Villa

Via delle Querce, 27 - 22040 Lurago d'Erba (CO)
 tel. 0312245181 - fax. 0312251886 - cell. 3407007749
 P.IVA 04963990967

Caratteristiche tecniche strumentali

Committente: **Lottizzanti Piano Attuativo AdT1**

Data:

Località: **Casatenovo (LC)**

Indirizzo: **via Lodosa**

Attrezzatura: **Pagani TG 63/100**

Peso maglio:	73 kg
Altezza di caduta:	75 cm
Diametro aste:	32 mm
Peso aste:	6,3 kg al m
Diametro rivestimento:	48 mm
Diametro punta conica:	51 mm
Angolo di apertura punta:	60°
Area di base punta:	20,43 cm ²

Dott. Geol. Mario Villa

Via delle Querce, 27 - 22040 Lurago d'Erba (CO)
tel. 0312245181 - fax. 0312251886 - cell. 3407007749
P.IVA 04963990967

Report indagine sismica HVSR

CASATENOVO-VIA LODOSA.TRC, CASATENOVO VIA LODOSA 36/50

Strumento: TE3-0321/02-17

Formato dati: 16 bit

Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 21/06/2022 14:08:58 Fine registrazione: 21/06/2022 14:24:58

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; wless trig.

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

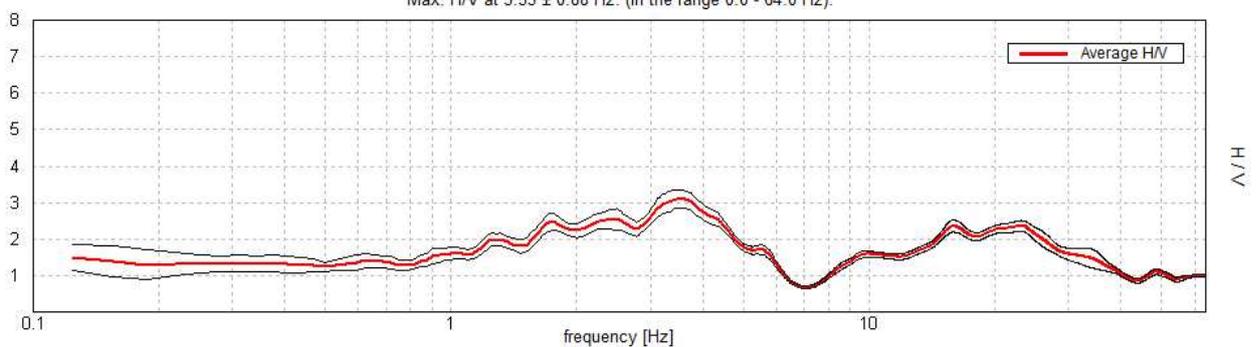
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

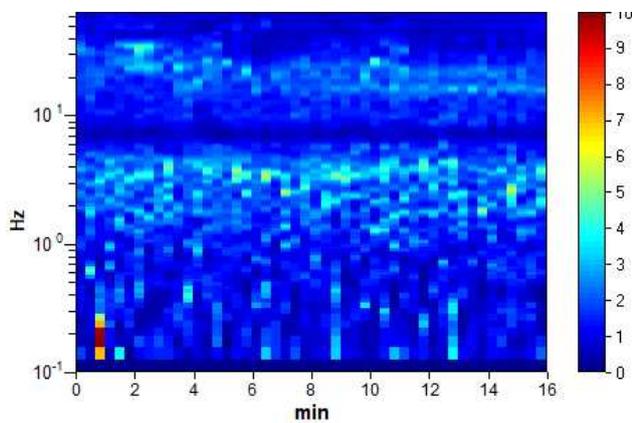
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

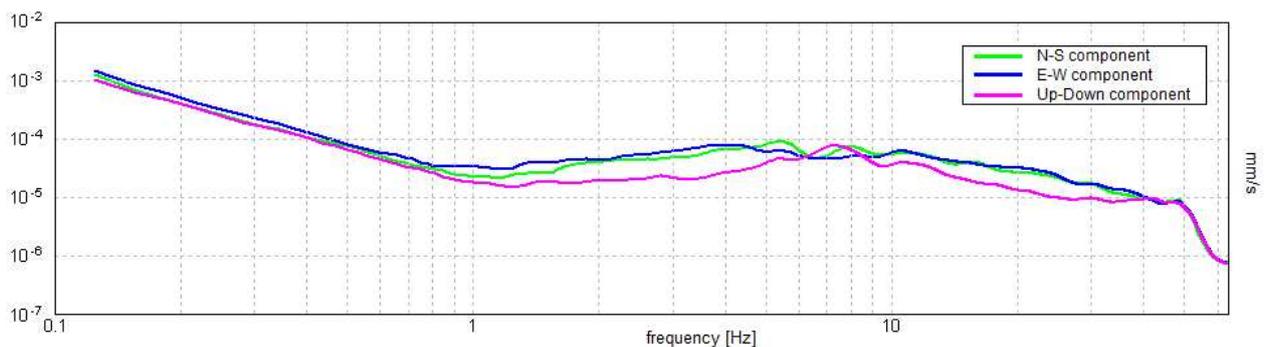
Max. H/V at 3.53 ± 0.88 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



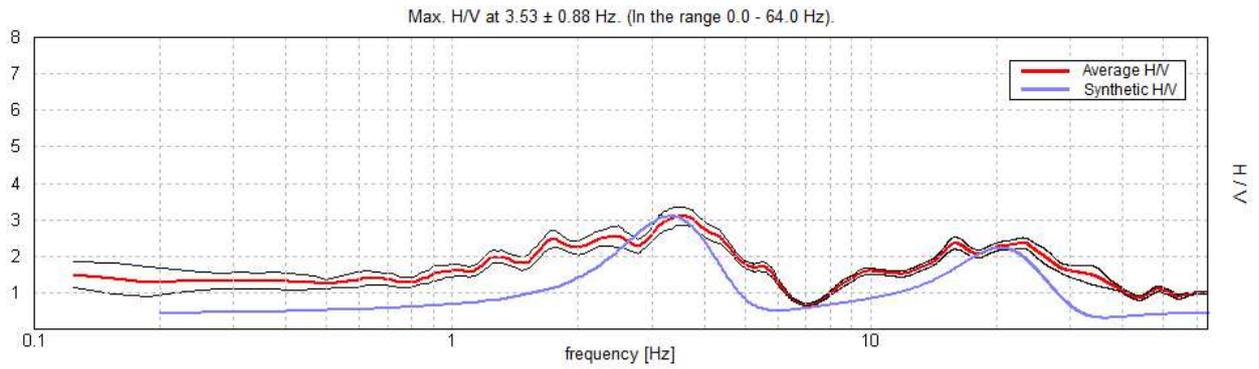
SERIE TEMPORALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

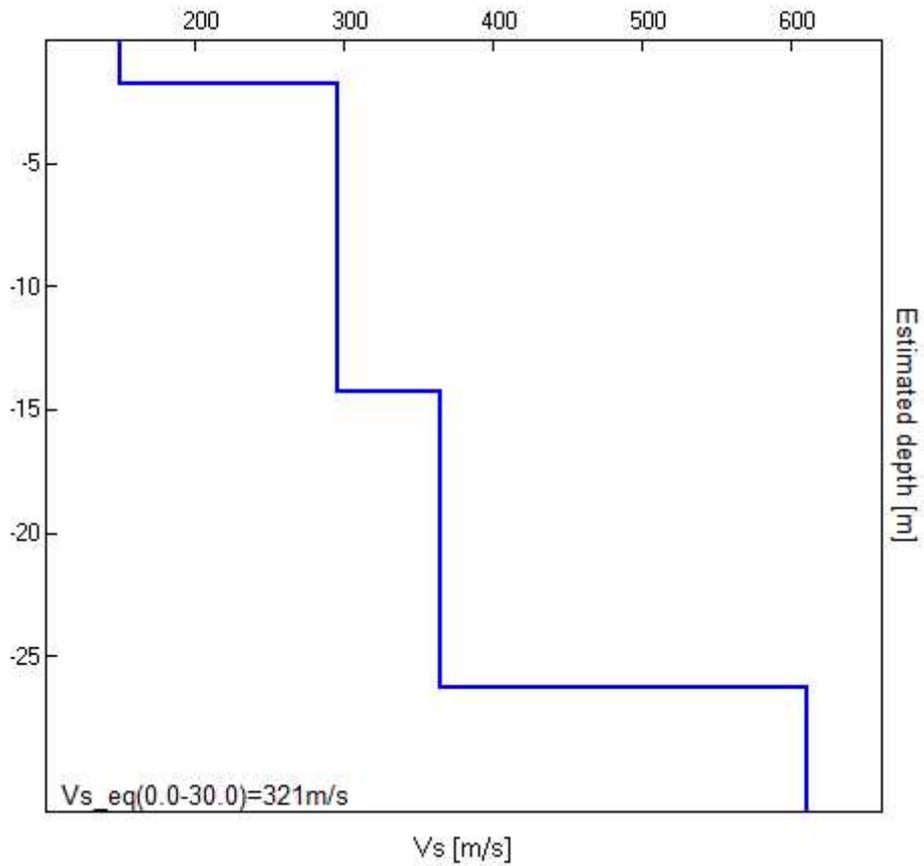


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.80	1.80	150	0.42
14.30	12.50	295	0.42
26.30	12.00	365	0.42
inf.	inf.	610	0.42

$V_{s_eq}(0.0-30.0)=321\text{m/s}$



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 3.53 ± 0.88 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.53 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$3390.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 170	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.906 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.844 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.10 > 2$	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.2506 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.88492 < 0.17656$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2383 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20