
COMUNE DI ALBANO SANT'ALESSANDRO
Provincia di Bergamo

**Intervento di adeguamento sismico della scuola
elementare comunale**
Foglio 905, mappale 4175



Relazione Geologica

(ai sensi del D.M. 17/01/2018, DGR 2616/2011 e DGR 5001/2016)

committente

Comune di Albano Sant'Alessandro

09 gennaio 2020



INDICE

1.	PREMESSA E QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO	3
2.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
3.	RELAZIONE GEOLOGICA	7
4.	ATTIVITA' CONOSCITIVE DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOTECNICHE DEL SITO DI INTERESSE	13
4.1	Prove penetrometriche dinamiche.....	13
4.2	Indagine geofisica.....	14
4.3	Sondaggio geognostico	15
5.	DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO: DETERMINAZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI "fk" DEI PARAMETRI DEL TERRENO DI FONDAZIONE	17
6.	DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO, DELLA CATEGORIA TOPOGRAFICA E DEI PARAMETRI SISMICI DI SITO E DI PROGETTO IN RELAZIONE ALLA PERICOLOSITA' SISMICA DELL'AREA.....	19
6.1	Analisi della suscettibilità alla liquefazione del terreno.....	25

ELENCO ALLEGATI

1. Inquadramento geografico (scala 1:10.000)
2. Inquadramento geologico (scale 1:25.000)
3. Ubicazione indagini geognostiche e caratteristiche tecniche del penetrometro in uso
4. Prove penetrometriche dinamiche
5. Relazione interpretativa delle indagini geofisiche condotte
6. Stratigrafia di sondaggio
7. Parametri sismici di sito e di progetto
8. Documentazione fotografica



1. PREMESSA E QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO

Su incarico della Committenza viene redatta la presente Relazione Geologica, che espone le modalità e le risultanze dell'indagine eseguita in comune di Albano Sant'Alessandro (BG) – Via Dante angolo via Conti Albani, nelle aree identificate catastalmente al Foglio 905, Mappale 4175 destinate ad ospitare la realizzazione di un intervento di adeguamento sismico della scuola elementare comunale.

Scopo dell'indagine è stato la caratterizzazione geologica del sito e geotecnica dei terreni presenti nell'area, come prescritto dal Testo Unico di recente aggiornato "Norme Tecniche per le Costruzioni" (**D.M. 17/01/2018**) e come già prima previsto dal **D.M. LL. PP. 11/03/88** "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", emanato in attuazione della Legge 02/02/1974 n. 64, art. 1, che impone per tutte le opere presenti sul territorio nazionale la realizzazione di apposite indagini di approfondimento geologico e geotecnico a supporto della progettazione, oltre che in osservanza della **D.G.R. Lombardia n. 2616/2011** e delle Norme Geologiche di Piano del vigente P.G.T. comunale di Albano Sant'Alessandro.

Dal punto di vista normativo si è fatto riferimento a:

- ✓ **Legge 2 febbraio 1974, n. 64:** Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- ✓ **Ministero dei Lavori Pubblici, Decreto Ministeriale 11 marzo 1988:** Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione e relativa **Circolare n. 30483 del 28 settembre 1988**
- ✓ **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008:** Testo Unitario – Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
- ✓ **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018:** Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (Supplemento Ordinario alla G.U. n. 42 del 20/02/2018 – Serie Generale, n. 8)
- ✓ **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:** Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009
- ✓ **Legge 24 giugno 2009, n. 77:** Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile
- ✓ **Regione Lombardia, Delibera di Giunta Regionale 30 novembre 2011 n. IX/2616:** Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT
- ✓ **Regione Lombardia, Delibera di Giunta Regionale 11 luglio 2014 n. X/2129:** Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000, art. 3, comma 108, lett. d)
- ✓ **Regione Lombardia, Legge Regionale 12 ottobre 2015 n. 33:** Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche; come modificata dall'art. 16 della L.R. 29 dicembre 2015 n. 42



- ✓ **Regione Lombardia, Delibera di Giunta Regionale 30 marzo 2016 n. X/5001:** approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (L.R. 33/2015, art. 23 comma 1 e art. 13 comma 1)

Come si evince dall'elenco riportato, le normative citate comprendono il D.M. 17-01-2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", in attuazione dal 22 marzo 2018, che prevede che le verifiche strutturali vengano sempre effettuate con il metodo agli stati limite, in condizioni statiche ed in condizioni dinamiche.

Ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (G.U. n. 105 del 8.5.2003), allegato 1, il territorio comunale di Albano Sant'Alessandro era classificato in zona 3, definita come un'area con accelerazione orizzontale a_g/g , con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni compresa fra 0.05 e 0.15.

Con DGR 2129-2014 la Regione Lombardia ha provveduto a riclassificare, dal punto di vista sismico, il territorio di propria competenza, e ha confermato per il comune di Albano Sant'Alessandro l'appartenenza alla **Zona Sismica 3**.

Tale ri-classificazione sismica è stata confermata da Regione Lombardia con **D.G.R. 30 marzo 2016 n. X/5001** "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (L.R. 33/2015, art. 23 comma 1 e art. 13 comma 1)", entrata definitivamente in vigore il 10 aprile 2016. Pertanto, il presente elaborato tecnico tiene conto, a norma di legge, della attuale classificazione sismica di Albano Sant'Alessandro, ovvero della Zona Sismica 3.

Per quanto riguarda la categoria di tipo di costruzione, si può fare utilmente riferimento alla tabella che segue (tabella 2.4.1 delle NTC2018), dalla quale si evince come l'opera in futura edificazione sul lotto in esame appartenga alla seconda categoria.

Classificazione di costruzioni e opere secondo il D.M. 17/01/2018 NTC

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Infine, per quanto attiene la classe d'uso, la tipologia di costruzione in progetto rientra nella classe III, nella quale sono comprese "Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi...".



1.1 Verifica della fattibilità geologica dell'intervento (D.G.R. 2616/2011)

Il Comune di Albano Sant'Alessandro con l'adozione dello Studio Geologico del Territorio Comunale realizzato ai sensi dell'art. 57 della L.R. 12/2005 nell'ambito del nuovo *Piano di Governo del Territorio*, prevede recenti e precise disposizioni e obblighi di carattere locale in merito alla preventiva caratterizzazione geologica dei siti e geotecnica dei terreni da compiere per ogni singolo intervento edificatorio, peraltro da tempo ugualmente prevista e resa obbligatoria in sede di progettazione preliminare dalle regolamentazioni nazionali e comunitarie già vigenti e citate e la cui inosservanza è punita a norma dell'art. 20 della Legge 2 febbraio 1974 n. 64.

In conseguenza di ciò il presente elaborato oltre ad evadere le prescrizioni derivanti dalle normative in vigore di carattere sovracomunale, soddisfa anche i requisiti base previsti dalle norme di fattibilità geologica contenute nello strumento urbanistico comunale vigente, con particolare riferimento alle *Norme Geologiche di Piano* previste per la Classe di Fattibilità Geologica 2a (con modeste limitazioni per ragioni legate a problematiche di tipo idrogeologico), ove ricade l'area (fig. 1).

In conseguenza di ciò il presente elaborato oltre a evadere le prescrizioni derivanti dalle normative in vigore di carattere sovracomunale, soddisfa anche i requisiti base previsti dalle norme di fattibilità geologica contenute nello strumento urbanistico comunale vigente.

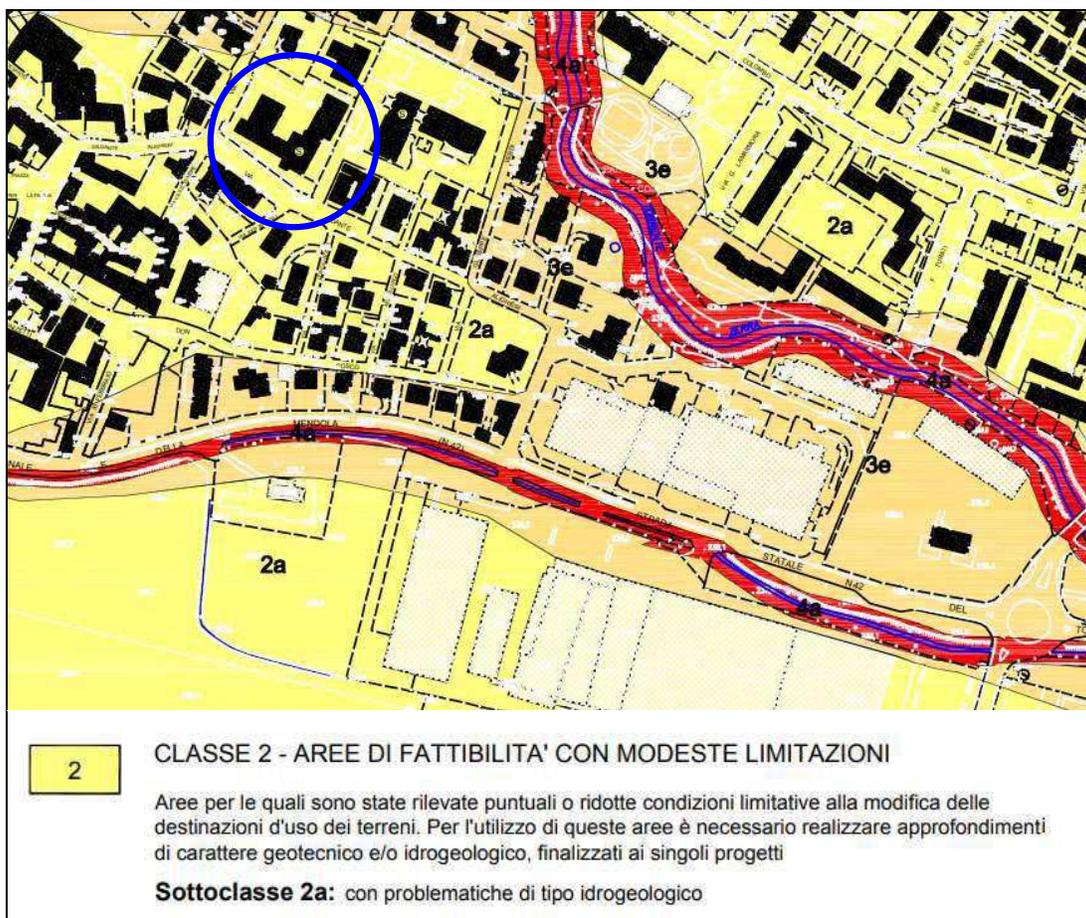


Figura 1: stralcio della Carta di Fattibilità Geologica ai sensi della L. Reg. 12/2005 – Comune di Albano Sant’Alessandro– non in scala (nel circolo blu l’area di interesse, appartenente alla Classe 2a)

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L’area oggetto di intervento, si trova lungo via Dante, angolo via Conti Albani, in comune di Albano Sant’Alessandro (BG), ed è inquadrata nel foglio C5c3 della Carta Tecnica (scala 1:10.000) della Regione Lombardia (allegato 1), e si inserisce all’interno di un contesto pressoché pianeggiante, già densamente urbanizzato, posto alla quota di circa 242 m s.l.m.

Il progetto in analisi interessa il mappale 4175 foglio 905 del c.c. di Albano Sant’Alessandro.

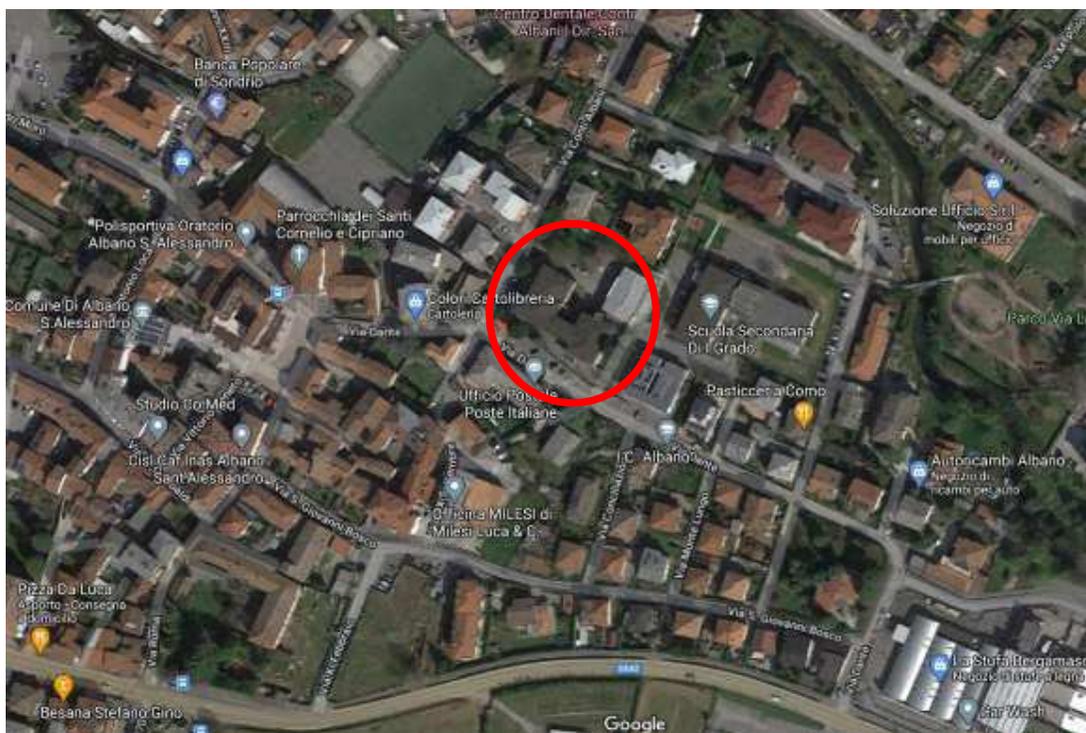


Figura 2: ubicazione dell'area di intervento

3. RELAZIONE GEOLOGICA

Dal punto di vista geologico l'area si inserisce all'interno di un panorama caratterizzato dalla presenza di un substrato sedimentario costituito da depositi di natura terrigena e carbonatica, appartenenti al Cretacico medio/superiore, coperto da depositi quaternari di origine fluvioglaciale.

In dettaglio, il contesto è caratterizzato dalla presenza delle Unità del Sass de la Luna e del Complesso di Ponte della Selva (facies fluvioglaciale), così come descritte Carta Geologica della Provincia di Bergamo (allegato 2):

- Complesso di Ponte della Selva (92): si tratta di depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie a supporto di matrice limoso argillosa. Le ghiaie si presentano da grossolane a molto grossolane, moderatamente selezionate, da arrotondate a discoidali. Tali depositi fluvioglaciali risultano coperti da depositi eolici: di natura argilloso-limoso, avente spessore variabile da 1 a 2 m (localmente anche 2.5-3 m). In aree a ridosso del substrato nella copertura eolica si rinvencono livelli clastici da medi a grossolani, di natura locale (alterati) e siliceo-quarzosa, sia spigolosi che subarrotondati. In sponda destra del Serio l'unità affiora dalla zona a NE di Bergamo, Ranica - Chignola bassa - Bergamo, dove costituisce una superficie abbastanza ampia cui non è possibile porre dei limiti precisi vista la forte antropizzazione, fino a Levate, con quote variabili da 290 a 185 m. In sponda



sinistra l'area di affioramento è più ristretta e comprende un sottile lembo, allungato N-S intorno a Villa di Serio, che poi si apre in un ampio terrazzo fluvioglaciale esteso dagli abitati di Scanzorosciate fino a Negrone - Torre dei Roveri; un sottile lembo ampio poco più di 500 m discende fino ad Albano S. Alessandro; le quote variano da 289 a 245 m. L'unità è caratterizzata da morfologie poco conservate, orli di terrazzo discontinui e di lieve entità, ricoprimento spesso senza interruzioni morfologiche ad opera delle unità del Pleistocene superiore, dalle quali si distingue oltre che per la presenza di loess anche per una morfologia meno monotona e piatta. L'unità rappresenta probabilmente l'espressione fluvioglaciale di uno o più eventi glaciali collocabili nel Pleistocene medio: blandi orli di terrazzo presenti all'interno della unità delimitano una superficie leggermente più rilevata che è caratterizzata da una pedogenesi più evoluta rispetto a quella mostrata dalle sezioni localizzate sulla superficie morfologicamente inferiore. Il limite superiore della unità è caratterizzato da: morfologie terrazzate poco conservate, copertura loessica sempre presente. I suoli hanno uno sviluppo complessivo superiore a 3-3,5 m. La superficie dell'unità sembra essere articolata secondo almeno due ordini di terrazzi delimitati da orli molto blandi, spesso sfumati o cancellati dalla forte attività antropica. Il limite inferiore dell'unità non è noto. Copre l'Unità di Valtesse senza brusche variazioni morfologiche; localmente copre in discontinuità: il substrato Cretacico pedogenizzato (sponda sinistra, zona di Torre dei Roveri), i Conglomerati di Seriate (sponda sinistra, zona di Scanzorosciate). E' coperta in continuità morfologica dalla Unità di Comun Nuovo e dalla Unità di Cologno (Complesso del Serio). Allo sbocco della Valle Scapla (Villa di Serio) e lungo le valli tributarie minori del T. Zerra è ricoperta dai depositi locali appartenenti al Complesso di Palazzago. Tra Negrone ed Albano S. Alessandro il lato orientale dell'unità è inciso e ricoperto dalle alluvioni dell'Unità Postglaciale del T. Zerra. In sponda destra, verso W, l'unità passa lateralmente (con probabile eteropia) alla Unità di Brembate (Bacino del Brembo), rispetto alla quale mostra notevoli similitudini: i rapporti stratigrafici non sono visibili in affioramento causa la interposizione di una sottile fascia di depositi dell'Unità Postglaciale. I rapporti stratigrafici con le rimanenti unità del Complesso di Ponte della Selva non sono visibili in affioramento.

- Sass de la Luna (46): si tratta di una successione di torbiditi marnoso-calcaree a stratificazione variabile da sottile a molto spessa, di colore grigio o bruno, con intercalazioni marnoso-argillose. Può venire suddiviso in due litozone, rispettivamente inferiore marnosa e superiore torbiditica. L'inferiore è caratterizzata dalla maggiore abbondanza e spessore delle intercalazioni marnoso-argillose tra gli strati marnoso-calcarei. Questi hanno geometria piano-parallela e sono normalmente gradati alla base e laminati a tetto, costituendo perciò sequenze torbiditiche caratterizzate da una composizione esclusivamente pelagica (foraminiferi planctonici, radiolari,



intraclasti). La litozona superiore è caratterizzata dalla progressiva scomparsa delle intercalazioni marnoso-argillose e dalla frequenza crescente dei banchi torbiditici, il cui spessore supera in alcuni casi i 10 metri. Il limite inferiore della Formazione è transizionale, e viene normalmente collocato in corrispondenza della scomparsa degli orizzonti marnoso-argillosi colorati (rosso, verde, nero) più tipici della sottostante Marna di Bruntino. *Albiano Superiore*

Dal punto di vista geomorfologico l'area appartiene ad un contesto pressoché pianeggiante e privo di evidenze di dinamica attiva o quiescente che possano interferire con l'edificio oggetto di intervento. Va detto tuttavia che l'intensa antropizzazione subita dall'area potrebbe aver mascherato, quando non completamente obliterato, eventuali elementi morfologici, oggi non più rilevabili.

Dal punto di vista idrogeologico, la consultazione della Carta Idrogeologica allegata allo Studio Geologico comunale (stralcio in figura 3) consente di identificare la presenza di una falda freatica con direzione di scorrimento verso Est-Sudest e con valori di soggiacenza medi pari a circa 11 m (isopiezometrica dei 231 m s.l.m. a fronte di un piano campagna posto alla quota di circa 242 m s.l.m.). Si tratta di una quota passibile di oscillazioni anche di ordine metrico, ma che consente di affermare che non sussiste la possibilità di una interazione diretta fra l'edificio in studio e le dinamiche di deflusso idrico della falda freatica.

La natura prevalentemente argillosa e limosa della matrice che satura i depositi costituenti il primo sottosuolo risulta predisponente allo sviluppo di falde sospese, così come evidenziato anche dal fatto che la Carta della Permeabilità allegata allo Studio Geologico comunale di Albano Sant'Alessandro (stralcio in figura 4) indica valori di permeabilità mediocri per l'area in esame.

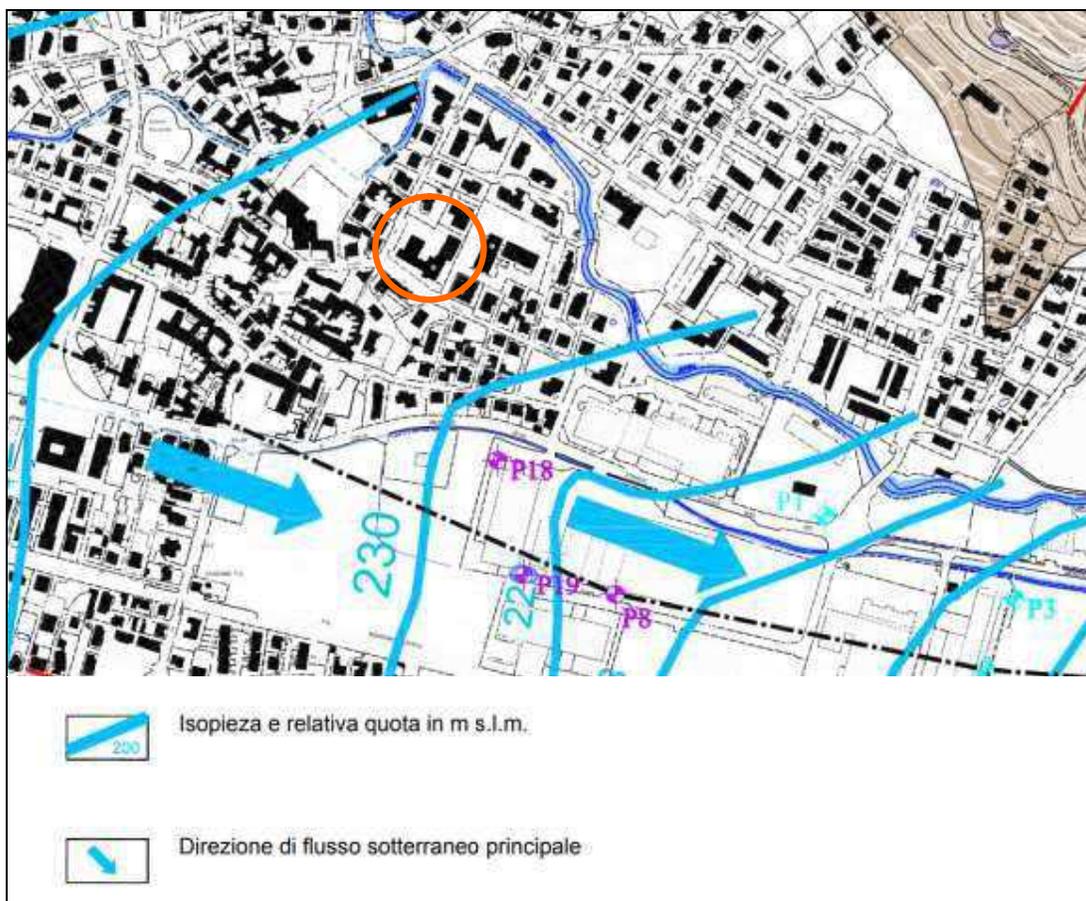


Fig. 3 stralcio della Carta Idrogeologica allegata allo Studio geologico comunale di Albano Sant'Alessandro. Nel circolo arancione l'area in studio

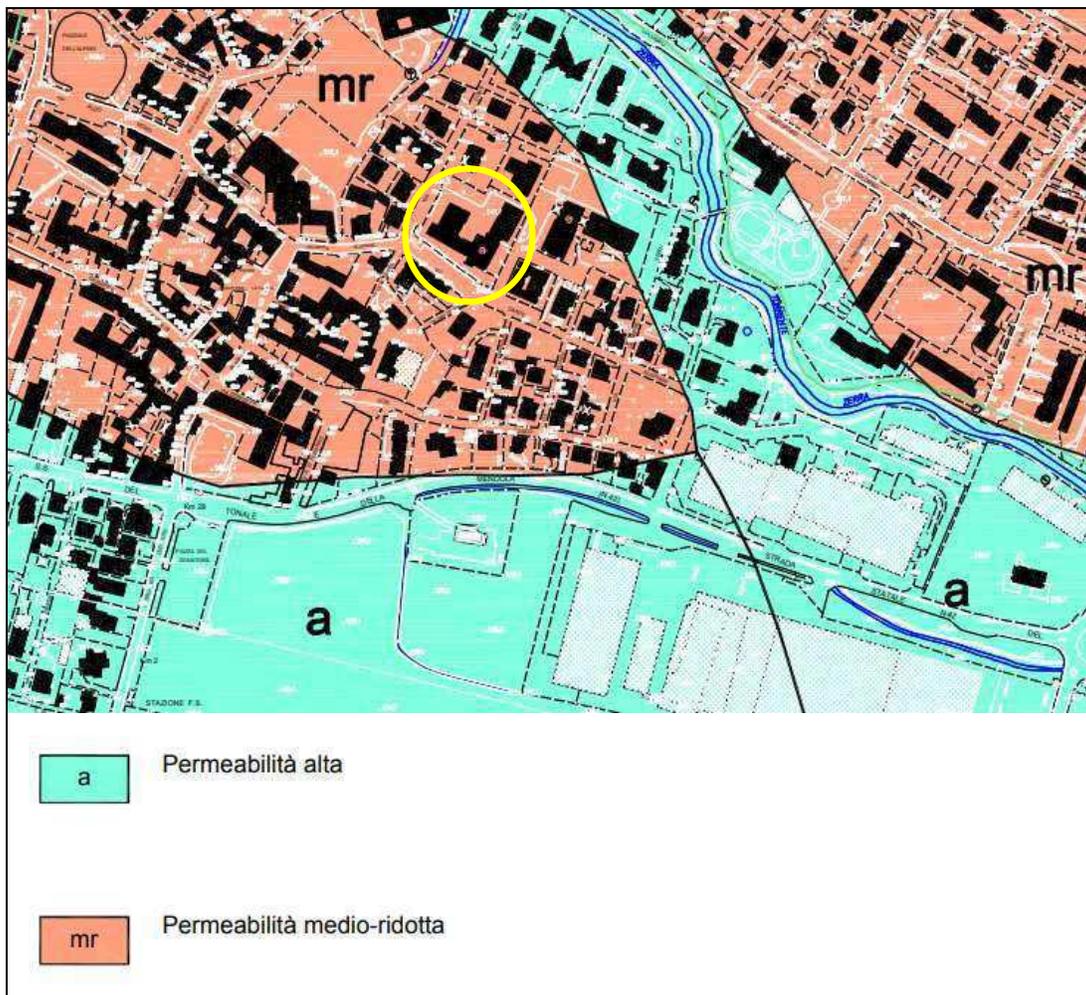


Fig. 4 stralcio della Carta della Permeabilità allegata allo Studio geologico comunale di Albano Sant'Alessandro. Nel circolo giallo l'area in studio

Dal punto di vista dell'idrografia di superficie, l'elemento che caratterizza il contesto investigato è senz'altro costituito dal Torrente Zerra (corso d'acqua appartenente al Reticolo Idrico Principale di competenza della Regione Lombardia, attraverso il proprio Ufficio Tecnico provinciale di Bergamo - UTR), che scorre in direzione SE a circa 150 m di distanza in direzione E. Oltre a tale corso d'acqua è da segnalare la presenza della Roggia Borgogna e della Roggia Roncaglia, entrambe in gestione al Consorzio di Bonifica della Media Pianura Bergamasca.

Su tutti questi corsi d'acqua sono istituite fasce di rispetto entro cui vigono i regolamenti indicati nello Studio di Polizia Idraulica di Albano Sant'Alessandro, che ad ogni modo non interessano l'area in esame.

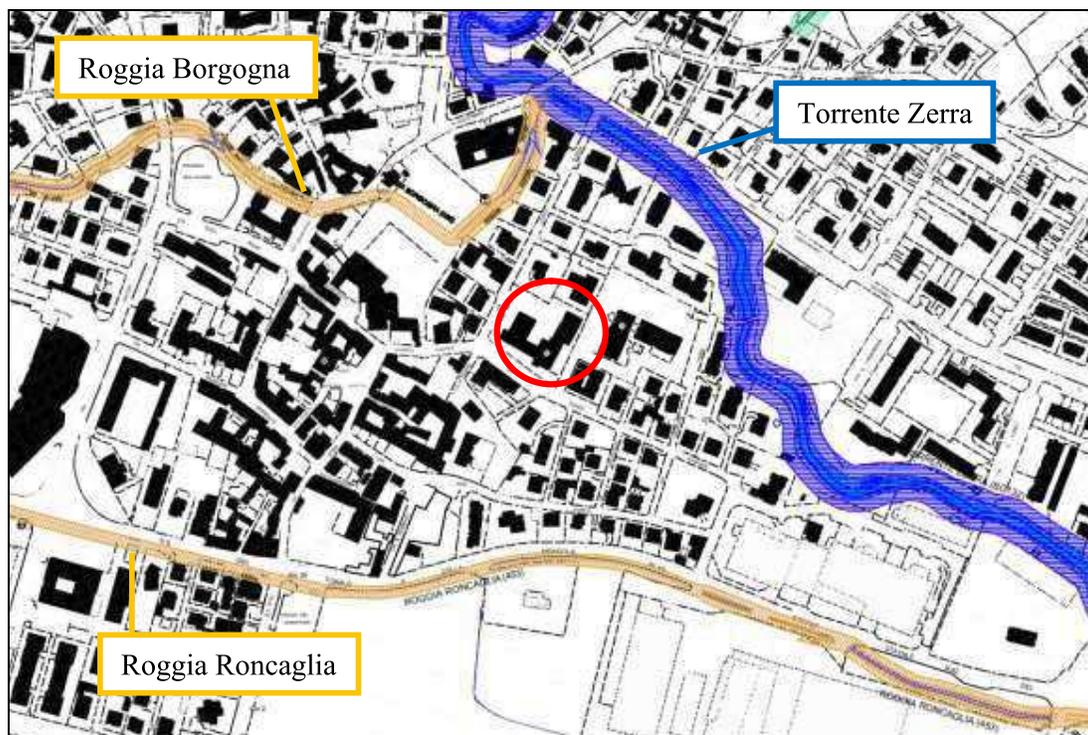


Fig. 5 stralcio della cartografia allegata allo Studio di Polizia Idraulica di Albano Sant’Alessandro. Nel circolo rosso l’area in esame

La consultazione della cartografia allegata al recente Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA – Stralcio in figura 6), evidenzia come l’area oggetto di intervento sia affrancata dal possibile rischio di coinvolgimento in fenomeni esondativi di corsi d’acqua.



Fig. 6: Stralcio della cartografia allegata al PGRA. Nel circolo giallo l'area di interesse, estranea ad ambiti ritenuti alluvionabili (evidenziati nei toni dell'azzurro)

4. ATTIVITA' CONOSCITIVE DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOTECNICHE DEL SITO DI INTERESSE

Alla ricerca bibliografica preliminare prima esposta, che ha visto la consultazione della cartografia tematica disponibile, e al rilievo idrogeologico e geomorfologico di dettaglio, esteso ad un intorno ritenuto significativo rispetto all'area di futuro intervento, sono state affiancate indagini dirette, finalizzate alla verifica delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione, e che hanno visto l'esecuzione di n. 4 prove penetrometriche dinamiche (la cui ubicazione è riportata in allegato 3), indagini sismiche (H/V e MASW), per la corretta definizione della categoria del suolo di fondazione e di un sondaggio geognostico a carotaggio continuo.

4.1 Prove penetrometriche dinamiche

Le prove penetrometriche dinamiche sono state realizzate con un penetrometro superpesante modello "Pagani TG 63-100" con maglio da 73,5 kg (allegato 3 e immagine di copertina), seguendo la metodologia AGI (*Associazione Geotecnica Italiana*) con rilevazione del numero di colpi per avanzamenti unitari delle aste di 30 cm; le caratteristiche tecniche del penetrometro utilizzato sono riportate in all. 3.



L'ubicazione delle prove è stata condizionata dalla presenza delle strutture esistenti e di numerosi sottoservizi di ubicazione incerta. Tale assetto ha limitato a 4 il numero di prove penetrometriche che si è potuto eseguire in sicurezza, al posto delle 5 ipotizzate. Si ritiene ad ogni modo che, anche in ragione dell'omogeneità del sottosuolo evidenziata dall'esito delle prove e del sondaggio geognostico, descritto nel seguito, il numero di prove eseguite sia sufficiente a caratterizzare con adeguato dettaglio il sito in esame.

La prova penetrometrica, che rappresenta uno dei sistemi maggiormente diffusi e testati a livello internazionale, consente di rilevare la resistenza alla penetrazione nel terreno di una punta metallica, di dimensioni e peso standardizzate, energizzata dalla caduta di una massa, anch'essa di peso e altezza di caduta standard; tutta la strumentazione e le modalità operative rispettano standard definiti a livello internazionale dall'ASTM (*American Standard Testing Materials*) circa le indagini nel sottosuolo con scopi geotecnici. In tale modo è possibile costruire un diagramma (allegato 4) nel quale alla verticale di indagine è correlato il numero di colpi rilevati per avanzamenti unitari con la profondità raggiunta a ogni intervallo di misura, che costituisce l'elaborato base da cui estrapolare le proprietà fisiche del terreno attraversato e interpretarne, in maniera indiretta, la composizione granulometrica.

Le prove penetrometriche DPSH sono state spinte fino a rifiuto strumentale, ottenuto a quote comprese fra 11,4 e 13,8 m da p.c., verosimilmente a causa dell'intercettazione di un livello di terreno ricco di frammenti lapidei grossolani, tale da non consentire un ulteriore approfondimento delle prove (peraltro preventivate a 12 m da p.c.).

4.2 Indagine geofisica

In data 04 gennaio 2021 è stata eseguita una prospezione geofisica finalizzata alla ricostruzione stratigrafica e sismica dei terreni.

Le indagini in sito sono consistite nell'esecuzione di n° 1 profilo di sismica multicanale con acquisizione delle onde di superficie ed elaborazione dati mediante metodologia MASW, e n° 1 indagini sismiche passive con metodo HVSR.

Mediante le metodologie di investigazione utilizzate è stato possibile ricostruire l'andamento medio delle onde Vs in profondità ed eseguire la valutazione del parametro $V_{s,eq}$ di sito, al fine di classificare il terreno di fondazione (tabelle allegate al D.M. 17/01/08) e misurare eventualmente il periodo proprio di vibrazione di sito.

In allegato 5 si riporta l'esito della prospezione condotta, dalla quale è possibile trarre le seguenti considerazioni:



In base ai dati sismostratigrafici ottenuti, si rileva terreno superficiale vegetale rimaneggiato, di spessore pari a 3,9 m, con velocità delle onde di taglio (onde S) pari a 170 m/s.

Da -3,9 a -11,2 m si riscontrano valori di velocità delle onde S compresi tra 270 e 295, caratteristici di terreni nel complesso moderatamente addensati.

Oltre -11,2 m, e fino a -48,5 m dal p.c., si segnalano valori di Vs compresi tra 550 e 670 m/s, caratteristici di depositi particolarmente addensati o più presumibilmente di natura conglomeratica, diffusamente segnalati presso il territorio in cui ricade l'area in esame.

Inversioni dei valori di velocità (550 m/s), come quella riscontrata da -34,5 a -48,5 m dal p.c., sono imputabili a diminuzioni del grado di cementazione o alla presenza di uno o più livelli più francamente argillosi, contenuti all'interno della suddetta sequenza sedimentaria.

Oltre -48,5 m dal p.c., in funzione del valore di Vs pari a 1135 m/s, stimato solamente mediante modellazione diretta del picco principale della curva HVSR, si ipotizza la presenza del substrato geologico roccioso a buone caratteristiche geomeccaniche, rappresentante il bedrock sismico della successione indagata.

Il profilo sismostratigrafico ottenuto risulta correlabile con il quadro geologico dell'area oggetto di indagine e i valori di velocità delle onde S, nei primi metri, risultano compatibili con l'andamento delle prove SCPT eseguite in sito.

Le indagini eseguite hanno portato alla determinazione della categoria di sottosuolo, che risultata essere la B (valida per qualsiasi quota di imposta delle fondazioni, in considerazione del fatto che essa è riferita a partire dalla quota di piano campagna e che il bedrock sismico si colloca a circa 50 m di profondità da p.c. Si specifica che la definizione della categoria di suolo è riferita al p.c. e, qualora si optasse per una soluzione fondazionale su pali, dovrà essere rideterminata sulla base dell'effettiva quota a cui quest'ultimi verranno intestati.

4.3 Sondaggio geognostico

Allo scopo di poter osservare direttamente la natura dei terreni che costituiscono il sottosuolo dell'area investigata e di eseguire prove penetrometriche a quote non raggiungibili con il penetrometro superpesante descritto in precedenza, la campagna di indagini geognostiche ha visto l'esecuzione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo, che ha raggiunto la profondità di 20 m da p.c. L'ubicazione del sondaggio è riportata in allegato 3.

Per l'esecuzione del sondaggio è stata impiegata una sonda cingolata (vedi fig. 7 e immagine di copertina), modello Beretta T44, con avanzamento a rotazione; l'utensile di perforazione impiegato è stato un carotiere semplice avente lunghezza di 1500 mm, equipaggiato con una corona a prismi in Widia. Inoltre, sono state utilizzate aste di perforazione con manicotto conico di lunghezza pari a 1500.



Fig. 7: perforazione a carotaggio continuo del sondaggio S1 eseguito in data 30 dicembre 2020

Al fine di prevenire il franamento delle pareti, nel sondaggio eseguito le pareti del foro sono state sostenute, fino alla quota di fondo foro, da un rivestimento provvisorio con diametro di 127 mm.

Il sondaggio è stato eseguito utilizzando il sistema tradizionale ad aste, avanzando a rotazione con il metodo del carotaggio continuo.

Quando necessario, le manovre di carotaggio sono state operate procedendo con l'ausilio di acqua. Inoltre, all'inizio ed alla fine d'ogni manovra, l'inserimento e l'estrazione del carotiere sono state eseguite a velocità ridotta per evitare effetti pistone e ridurre il disturbo al terreno in posto.

La carota di terreno campionata nel corso della perforazione è stata riposta in apposite cassette catalogatrici in plastica, munite di scomparti numerati paralleli della lunghezza di 1 m.

Le cassette catalogatrici sono state descritte e fotografate (allegati 6 e 8); al termine di tutte le operazioni di cantiere sono state conservate presso l'area di indagine.



La stratigrafia del sondaggio è riportata in allegato 6 e può essere così sintetizzata:

- Da 0,0 a - 6,0 m da p.c.: Argilla limosa, debolmente sabbiosa, di colore nocciola con livelli brunastri;
- Da - 6,0 a - 9,5 m da p.c.: Argilla e limo con ghiaia e ciottoli, di colore nocciola a tratti brunastra, a supporto sia clastico che di matrice;
- Da - 9,5 a - 10,6 m da p.c.: Argilla limosa, debolmente sabbiosa, di colore nocciola con livelli brunastri;
- Da - 10,6 a - 13,4 m da p.c.: Ghiaia e ciottoli in matrice limoso argillosa, debolmente sabbiosa, a prevalente supporto clastico;
- Da - 13,4 a - 20,0 m da p.c.: Ghiaia e ciottoli in scarsa matrice limosa e sabbiosa di colore grigio, a esclusivo supporto clastico. Presenza di croste di conglomerato.

La falda è stata intercettata alla quota indicativa di - 13 m da p.c., in sostanziale accordo con i dati riportati in letteratura (che la collocano a circa - 11 m da p.c.) già riportati in precedenza.

Alle quote e - 12, -15 e - 18 m da p.c. sono state eseguite prove penetrometriche in foro di sondaggio (SPT), che hanno fornito sempre rifiuto strumentale. Tale risultato risulta concorde con quanto osservato dalle carote di sondaggio estratte, che a tali quote hanno evidenziato la presenza di frequenti clasti ghiaiosi e ciottolosi, nonché di croste conglomeratiche, e con l'esito della prospezione geofisica condotta, che alla profondità di circa 11 m da p.c. mostra un brusco salto di velocità delle onde di taglio S_v , che passano da valori inferiori a 300 m/s (tipici di sedimenti sciolti, poco addensati) a valori di oltre 550 m/s, associabili a terreni particolarmente addensati o più presumibilmente di natura conglomeratica.

5. DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO: DETERMINAZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI "fk" DEI PARAMETRI DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Le indagini eseguite hanno consentito di riconoscere un assetto stratigrafico caratterizzato dalla presenza di un primo livello, spinto da piano campagna e fino alla profondità di - 4,5 / - 4,8 m, costituito da argilla limosa, debolmente sabbiosa, di colore nocciola con livelli brunastri. Al di sotto di tale livello e fino alla profondità di - 6,3 / - 9,6 m da p.c. il terreno si presenta costituito da argilla e limo con ghiaia e ciottoli, di colore nocciola a tratti brunastra, a supporto sia clastico che di matrice. Oltre tale livello ricompaiono terreni costituiti prevalentemente da argilla limosa, debolmente sabbiosa, di colore nocciola



con livelli brunastri, presenti fino alla profondità di - 11,1 / - 13,2 m da p.c. Infine, a letto di tali terreni si osserva il passaggio a una sequenza di terreni a prevalente componente granulare, costituiti da ghiaia e ciottoli in matrice limoso argillosa, debolmente sabbiosa, a prevalente supporto clastico, con presenza di croste conglomeratiche.

Ai sensi del punto 6.2.2 *"Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica"* del D.M. 17/01/2018, per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito.

Ciò premesso, l'interpretazione dei risultati delle prove penetrometriche, ottenuta mediante la correlazione del n° di colpi misurato con opportuni grafici e tabelle ha consentito di attribuire i parametri fisici necessari per i successivi calcoli geotecnici, riassunti in tabella 1.

In particolare, con N_{30} è indicato il numero medio di colpi nell'intervallo considerato per avanzamenti unitari di 30 cm normalizzati alla prova penetrometrica standard internazionale SPT, ϕ è l'angolo di attrito, C_u è la coesione non drenata, E_y è il modulo elastico, E_d è il modulo edometrico mentre γ_n e γ_s sono rispettivamente il peso di volume naturale e saturo. Viene fornito il modello geotecnico del sottosuolo (tabella 1). Si specifica che i parametri attribuiti al livello 4, che non è stato possibile sondare attraverso le prove penetrometriche, sono stati attribuiti sulla base dell'esito della prospezione geofisica condotta, tenendo in considerazione anche il fatto che le tre prove SPT eseguite hanno fornito rifiuto strumentale.



Tab. 1: determinazione dei valori caratteristici "fk" dei parametri geotecnici dei litotipi presenti nell'area investigata.

Liv.	da m	a m	Litologia	N ₃₀	Cu (kN/m ²)	φ (°)	γ _n (kN/m ³)	γ _s (kN/m ³)	E _y (kN/m ²)	E _d (kN/m ²)
1	0,0	4,5 ÷ 4,8	Argilla limosa, debolmente sabbiosa, di colore nocciola con livelli brunastri	2,7	33,5	- -	15,9	18,2	2690	2920
2	4,5 ÷ 4,8	6,3 ÷ 6,9	Argilla e limo con ghiaia e ciottoli, di colore nocciola a tratti brunastri, a supporto sia clastico che di matrice	11,9	- -	31,4	17,6	18,9	13220	5100
3	6,3 ÷ 6,9	11,1 ÷ 13,2	Argilla limosa, debolmente sabbiosa, di colore nocciola con livelli brunastri	9,3	122,8	- -	19,1	21,0	9090	9450
4	11,1 ÷ 13,2	> 20,0	Ghiaia e ciottoli in matrice limoso argillosa, debolmente sabbiosa, a prevalente supporto clastico, con presenza di croste conglomeratiche	- -	- -	37,0	20,0	21,0	22500	- -

6. DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO, DELLA CATEGORIA TOPOGRAFICA E DEI PARAMETRI SISMICI DI SITO E DI PROGETTO IN RELAZIONE ALLA PERICOLOSITA' SISMICA DELL'AREA

L'indagine geognostica condotta deve consentire anche l'attribuzione della categoria di sottosuolo ai sensi del D.M. 17/01/2018 - Norme Tecniche sulle Costruzioni: quanto svolto ed esposto nelle pagine che precedono ha portato a definire quale categoria di sottosuolo di fondazione la B.

Tuttavia, l'area di intervento ricade all'interno di un ambito dove viene riconosciuto lo scenario di Pericolosità Sismica Locale (PSL) Z4a (Fig 8), dove la DGR 2616/2011 prevede la realizzazione di un secondo livello di approfondimento per i comuni classificati in zona sismica 3.

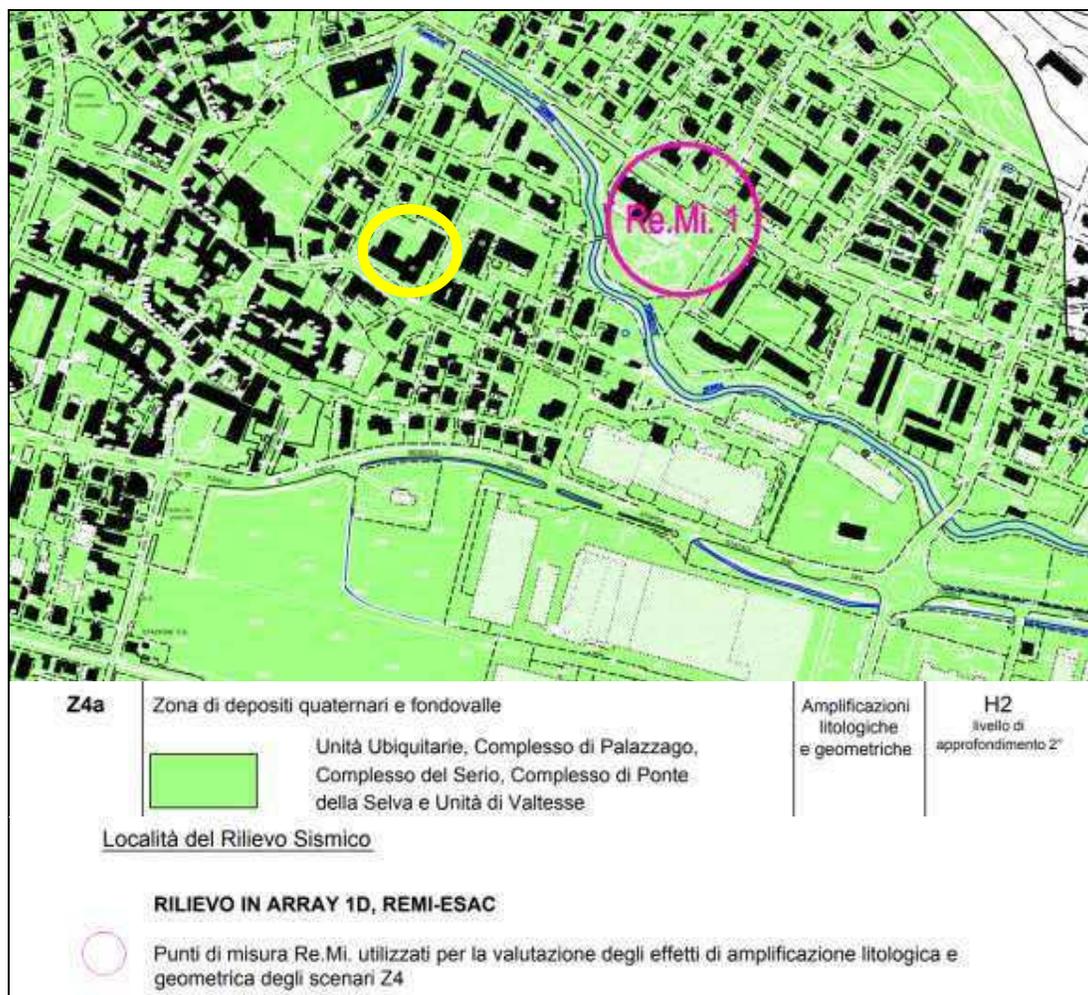


Figura 8: stralcio della Carta della Pericolosità Sismica Locale ai sensi della L. Reg. 12/2005 – Comune di Albano Sant’Alessandro– non in scala (in giallo l’area di interesse)

Tale approfondimento consiste nella determinazione del fattore di amplificazione sismica locale, che deve essere messo a confronto con un valore soglia di analogo significato, stabilito da Regione Lombardia, in funzione della Categoria di Suolo di fondazione riconosciuta in corrispondenza del sito in esame. Nel caso in cui l’Fa di sito risulti pari o inferiore a quello soglia comunale significa che la normativa nazionale è sufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale.

Diversamente, nel caso in cui l’Fa di sito risulti superiore a quello soglia comunale significa che la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale, e si rende necessario un ulteriore livello di approfondimento o l’adozione di una maggior cautela nella progettazione in condizioni sismiche, che si traduce nell’attribuzione di una categoria di sottosuolo di livello inferiore rispetto a quella determinata attraverso le indagini sito specifiche condotte.



Lo Studio Geologico comunale di Albano Sant'Alessandro contiene già tale studio esteso all'intero territorio comunale, che ha portato a determinare un valore di fattore di amplificazione inferiore al valore soglia comunale stabilito da Regione Lombardia per terreni di Categoria B:

Il confronto tra il valore del Fattore di amplificazione [Fa], interpolato nella Curva della scheda di valutazione scelta implementato attraverso la presente ricerca, ed il valore di soglia per il tipo di suolo considerato [B], indica come la norma è generalmente in grado di tenere in considerazione gli effetti di amplificazione litologica rilevati nell'area specifica di indagine.

$Fa_{0.1-0.5 s} [1,2; 1,3; 1,1] \leq [B = 1,5]$	Verificato
$Fa_{0.5-1.5 s} [1,0; 1,05] \leq [B = 1,7]$	Verificato

Figura 9: Sintesi dei risultati dell'approfondimento sismico di secondo livello eseguito a scala comunale (tratto dalla Relazione allegata allo Studio Geologico comunale)

La normativa nazionale risulta pertanto sufficiente a garantire dagli effetti di amplificazione sismica locale, e **nei calcoli geotecnici si dovrà pertanto far riferimento alla Categoria di Sottosuolo B**, così come definita nella tabella 3.2.II ricavata dalle NTC 2018.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Per quanto riguarda la categoria topografica, il sito in esame appartiene ad un contesto pressoché pianeggiante.



Nei calcoli geotecnici si potrà pertanto far riferimento alla **Categoria Topografica T1**, così come definita nella tabella 3.2.III ricavata dalle NTC 2018

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia ultimi che di esercizio, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite ultimi (SLU) dinamici sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

Gli stati limite di esercizio (SLE) dinamici sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO)
- Stato Limite di Danno (SLD)

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento **PVR**, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella tabella seguente (tratta dalle NTC 2018).

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

I quattro stati limite sono ordinati per azione sismica crescente e per probabilità di superamento decrescente.

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo ("periodo di riferimento" V_R espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata "Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" PVR.



La pericolosità sismica è definita in termini di:

- accelerazione orizzontale massima attesa "ag" in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A), con superficie topografica orizzontale (categoria T1);
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

Il periodo di riferimento VR si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU:

$$VR = VN \times CU$$

Il valore del coefficiente d'uso CU è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella sottostante tabella tratta dalle NTC 2018.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Per quanto attiene la classe d'uso, la tipologia di costruzione in progetto rientra nella **classe III**.

La vita nominale di un'opera strutturale **VN** è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella tabella sottostante (tratta dalle NTC 2018).

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Nel caso specifico per le tipologie di costruzione in progetto si assume un valore di vita nominale pari ad almeno 50 anni.

Ne deriva che il periodo di riferimento VR è pari a 75 anni.

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:



- ag: accelerazione orizzontale massima al sito;
- Fo: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T*C: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

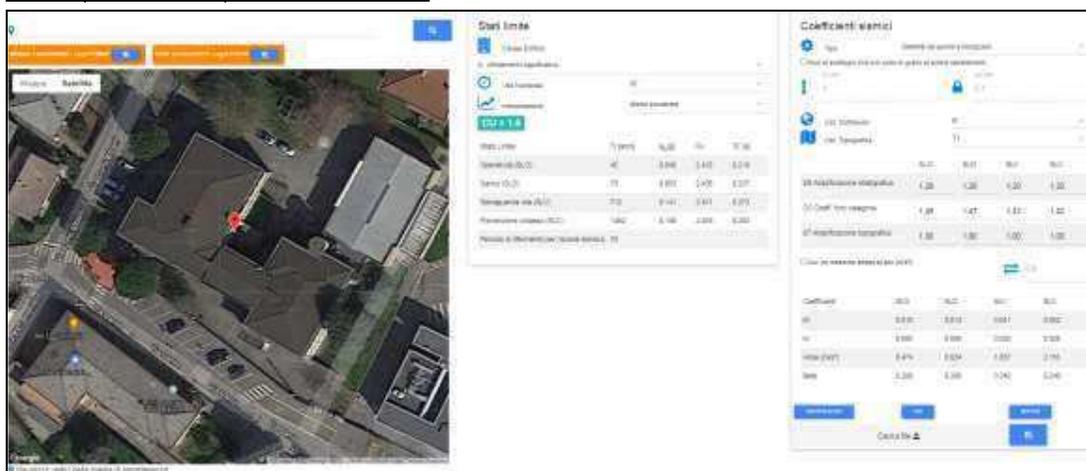
Una delle novità delle NTC è appunto la stima della pericolosità sismica basata su una griglia di 10751 punti, ove viene fornita la terna di valori ag, Fo e T*C per nove distinti periodi di ritorno TR.

Il primo passo consiste nella determinazione di **ag** (accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido), a partire dalle coordinate geografiche dell'opera da verificare, che vengono di seguito forniti.

Il dettaglio di tutti i parametri sismici riferiti al sito e al progetto in esame è riportato in allegato 7 e nel prospetto grafico che segue. In particolare, la definizione dei parametri sismici medesimi, funzione della classe d'uso e della vita nominale dell'opera in progetto, risulta differente a seconda dei diversi stati limite a cui è riferita.

Si ricorda che, ai sensi della vigente normativa, il rispetto dei vari stati limite dinamici viene considerato conseguito nei confronti di tutti gli stati limite ultimi SLV quando siano soddisfatte le verifiche al solo SLV, mentre nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio SLE quando siano rispettate le verifiche relative al solo SLD.

Pertanto, nel caso in esame, per le verifiche all'SLV si dovrà utilizzare un'accelerazione massima di 1.657 m/s², a cui corrispondono valori di Kh e Kv rispettivamente pari a 0.041 e 0.020, mentre per le verifiche all'SLD si dovrà utilizzare un'accelerazione massima di 0.624 m/s², a cui corrispondono valori di Kh e Kv rispettivamente pari a 0.013 e 0.006.



6.1 Analisi della suscettibilità alla liquefazione del terreno

La liquefazione è un fenomeno di riduzione della resistenza al taglio causata dall'incremento della pressione neutra in un terreno saturo non coesivo durante uno scuotimento sismico. Ai sensi del punto 7.11.3.4 delle NTC 2018 la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori a 0.1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m da p.c., per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1 (a) della NTC 2018 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$, ed in figura 7.11.1 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

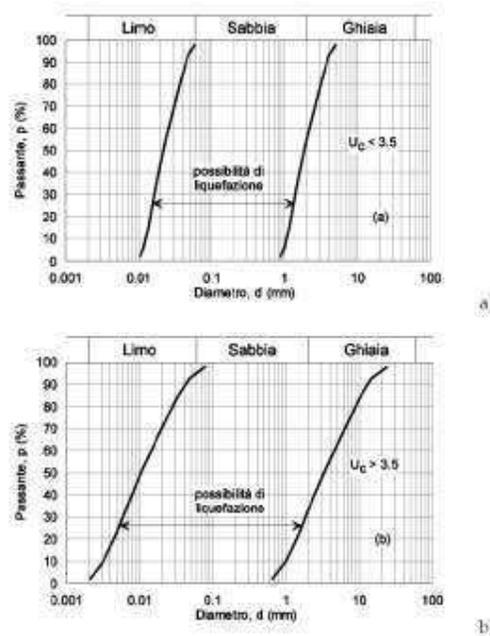


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione



Sulla base dell'esito delle indagini eseguite è possibile affermare che i depositi saturi (presenti oltre la quota di - 11 m da p.c.), anche qualora rientrassero nel range della curva granulometrica di cui al punto 4 e indicato in Fig. 7.11.1 delle NTC 2018, possiedono un livello di costipazione tale da soddisfare il requisito di cui al punto 3.

L'area in esame non risulta pertanto suscettibile al fenomeno della liquefazione in caso di sisma.

09/01/2021

dott. Giulio Mazzoleni, geologo

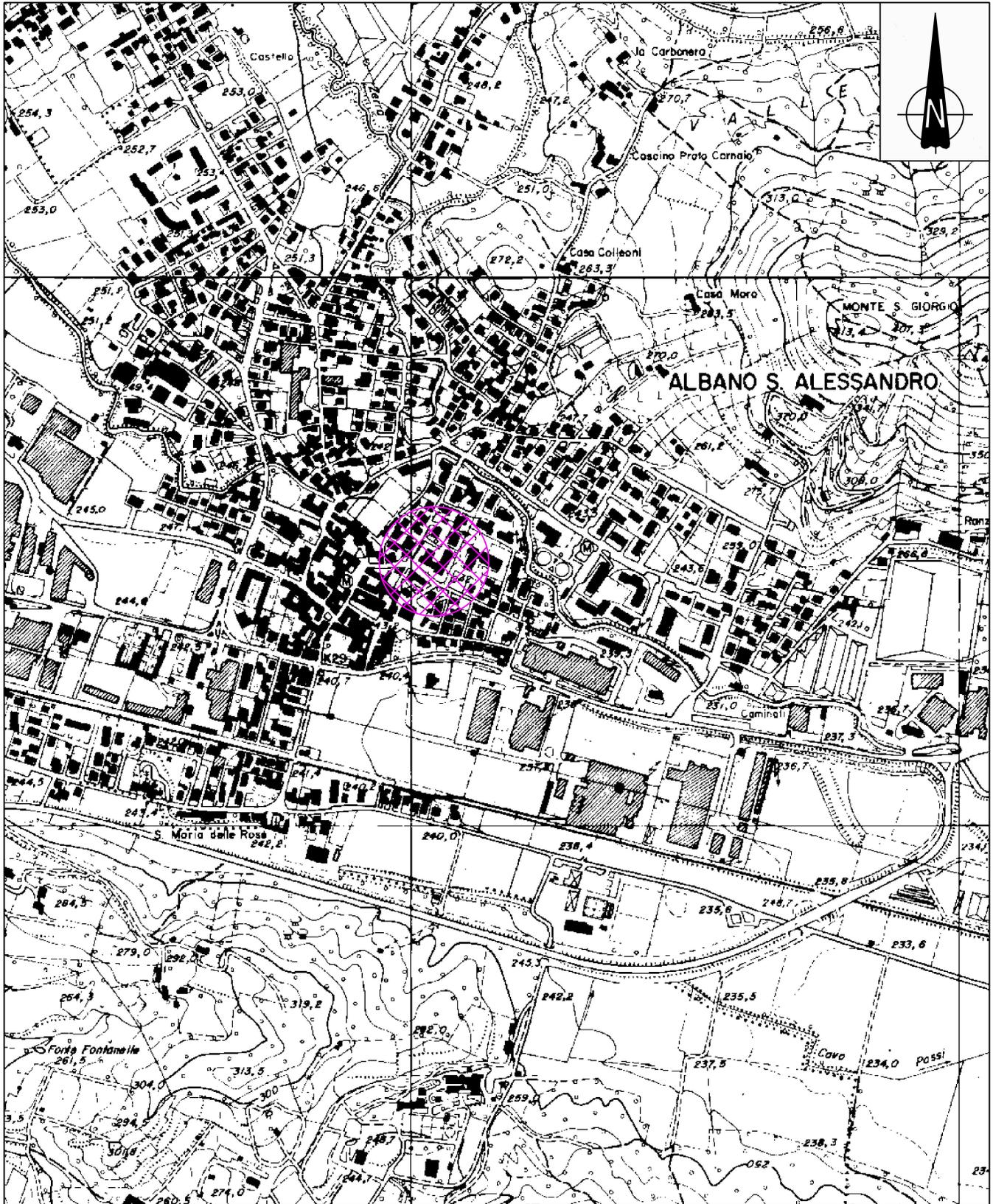
dott. Davide Incerti, geologo

La proprietà intellettuale e il diritto d'autore del presente elaborato appartengono in maniera esclusiva ai firmatari. Ogni riproduzione, anche parziale, deve essere autorizzata. Ogni utilizzo diverso da quello previsto deve considerarsi illegittimo.

Allegato 1

Inquadramento geografico

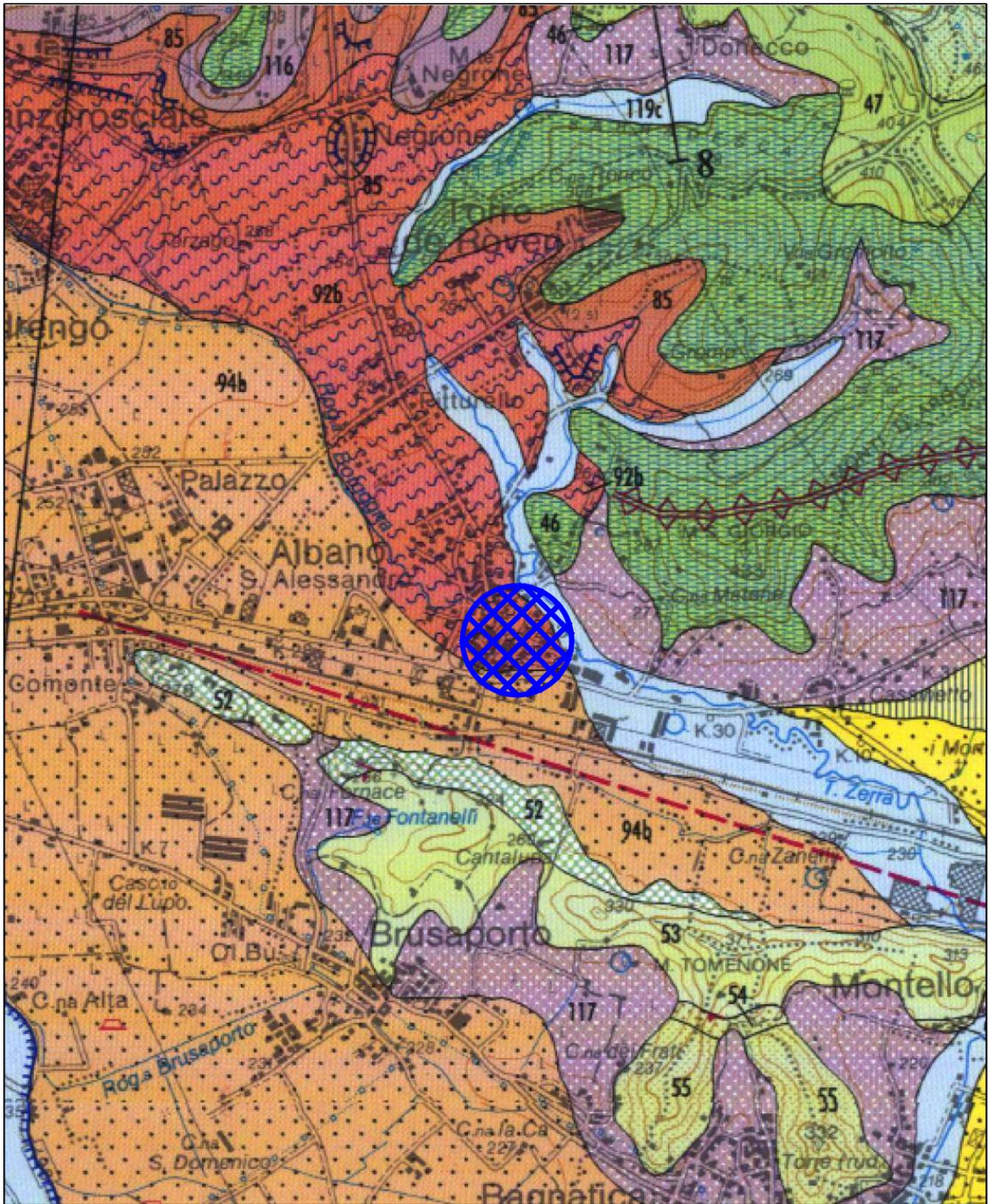
- CTR scala 1:10.000



Allegato 2

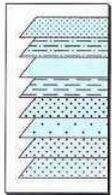
Inquadramento geologico
Scala 1:25.000

(Stralcio della Carta Geologica
della Provincia di Bergamo)



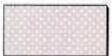
UNITA' DI COPERTURA

UNITA' POSTGLACIALE (119)



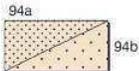
- 119a) depositi di versante.
- 119b) depositi di conoide.
- 119c) depositi alluvionali.
- 119d) depositi lacustri, palustri e di torbiera.
- 119e) depositi glaciali.
- 119cf) depositi alluvionali in pianura con superficie limite superiore caratterizzata da Entisuoli.
- 119cg) depositi alluvionali in pianura con superficie limite superiore caratterizzata da Inceptisuoli.
- 119ch) depositi alluvionali in pianura con superficie limite superiore caratterizzata da Inceptisuoli rubefatti o da Alfisuoli poco espressi. Morfologie ancora in evoluzione. *PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE*

COMPLESSO DI PALAZZAGO (117)



- 117) Depositi di versante, di frana, alluvionali, lacustri, di conoide e colluviali. Clasti carbonatici e terrigeni delle formazioni locali, matrice derivante anche dal rimaneggiamento di suoli preesistenti. I clasti presentano alterazione estremamente variabile. Pedogenesi variabile, colore tra 7.5YR e 2.5Y. Morfologie in erosione. *PLEISTOCENE MEDIO - SUPERIORE*

COMPLESSO DEL SERIO (94)



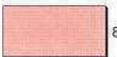
- 94a) depositi glaciali.
- 94b) depositi fluvioglaciali.
- Superficie limite superiore: morfologie ben conservate, suoli di spessore massimo 1,1 m, colore tra 7.5YR e 10YR, copertura loessica assente. Comprensivo di: **Unità della Selva di Clusone, Unità di Spiazzi, Unità di Valzurio, Unità di Valcanale, Unità di Gazzaniga, Unità di Cologno.** *PLEISTOCENE SUPERIORE*

COMPLESSO DI PONTE DELLA SELVA (92)



- 92a) depositi glaciali.
- 92b) depositi fluvioglaciali.
- Superficie limite superiore: morfologie discretamente conservate, suoli di spessore > 3,5 m, colore tra 7.5YR e 10YR, copertura loessica sempre presente. Comprensivo di: **Unità di Prati Mini, Unità di Albino, Unità di Torre Boldone.** *PLEISTOCENE MEDIO*

UNITA' DI VALTESSE (85)



- 85) Depositi alluvionali e colluviali. Superficie limite superiore: più suoli troncati e sovrapposti, alterazione che interessa l'intero spessore dell'unità con colore tra 2.5YR e 10YR. *PLEISTOCENE INFERIORE ?*

UNITA' DI SUBSTRATO

PELITI ROSSE (50)



- 50) Peliti rosse massive; superiormente si ha alternanza di peliti rosse e grigie con arenarie micacee, a stratificazione da centimetrica a decimetrica, di origine torbidityca. *TURONIANO INFERIORE-MEDIO*

PELITI NERE SUPERIORI (48)



- 48) Peliti grigio scuro e nere alternate ad arenarie fini micacee di origine torbidityca. Talvolta sono intercalati sottili livelli di black shales. *CENOMANIANO SUPERIORE - TURONIANO INFERIORE*

"UNITA' CENOMANIANE" (47)



- 47) Dal basso verso l'alto: marne e calcareniti rosse; due banchi calcarei ad assetto caotico con noduli di selce, sostituiti verso ovest da marne e calcilutiti rosse e grigie; tra i due banchi calcarei sono intercalate peliti ed arenarie fini di origine torbidityca, in strati sottili. *CENOMANIANO*

SASS DE LA LUNA (46)



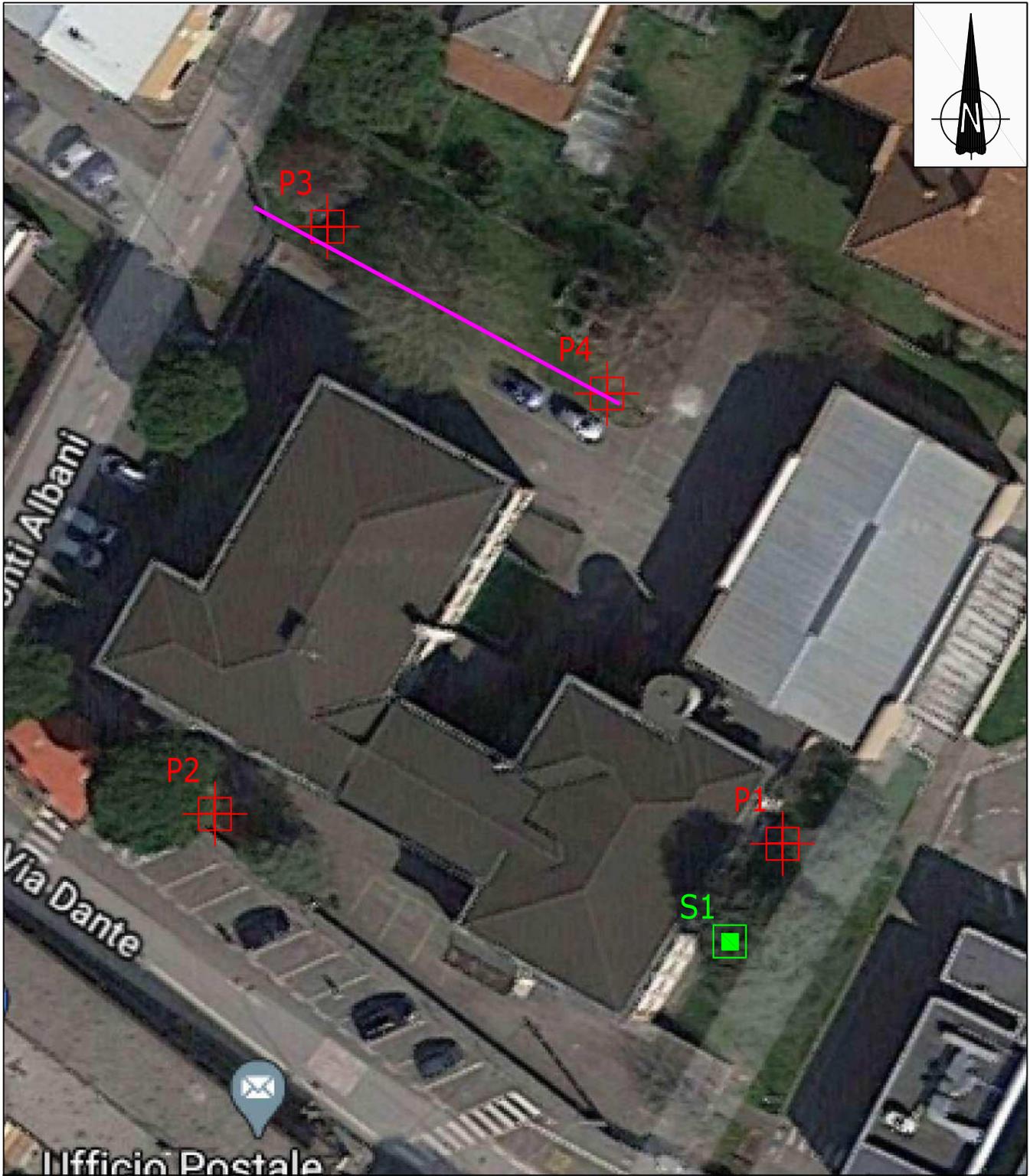
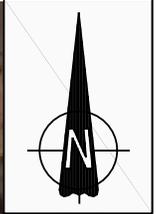
- 46) Alternanze di calcari e calcari marnosi grigio bluastrì, localmente selciferi, in strati piano-paralleli da centimetrici a decimetrici, torbidityci. Superiormente si hanno calcilutiti grigio chiaro con intercalate marne rosse. *ALBIANO SUPERIORE*

Allegato 3

Ubicazione indagini
geognostiche

e

caratteristiche tecniche del
penetrometro in uso



P1



Ubicazione prove penetrometriche dinamiche

S1



Ubicazione sondaggio geognostico



Stendimento di sismica multicanale

PENETROMETRO DINAMICO IN USO: **TG 73-100 M-A.C**

<u>Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici</u>		
<i>TIPO</i>	<i>Sigla riferimento</i>	<i>Peso Massa Battente M (kg)</i>
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 < M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

CARATTERISTICHE TECNICHE: TG 73-100 M-A.C

PESO MASSA BATTENTE	M =	73.00 Kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H =	0.75 m
DIAMETRO PUNTA CONICA	D =	51.00 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A =	20.43 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	α =	60°
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La =	0.90 cm
PESO ASTE PER METRO	Ma =	6.31 Kg
PROF. GIUNZIONE 1° ASTA	P1 =	0.30 m
AVANZAMENTO PUNTA	δ =	0.30 m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N =	N(30) → Relativo ad un avanzamento di 30 cm
RIVESTIMENTO/FANGHI	NO	
ENERGIA SPECIFICA X COLPO	Q =	$(Mh)/(A\delta) = 8.93 \text{ Kg/cm}^2$ (prova SPT: $Q_{spt} = 7.83 \text{ kg/cm}^2$)
COEFF. TEORICO DI ENERGIA	β_t =	$Q/Q_{spt} = 1.141$ (teoricamente: $N_{spt} = \beta_t N$)

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

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

Rpd	=	resistenza dinamica punta [area A]
e	=	infissione per colpo = δ / N
M	=	peso massa battente (altezza caduta H)
P	=	peso totale aste e sistema battuta

Allegato 4

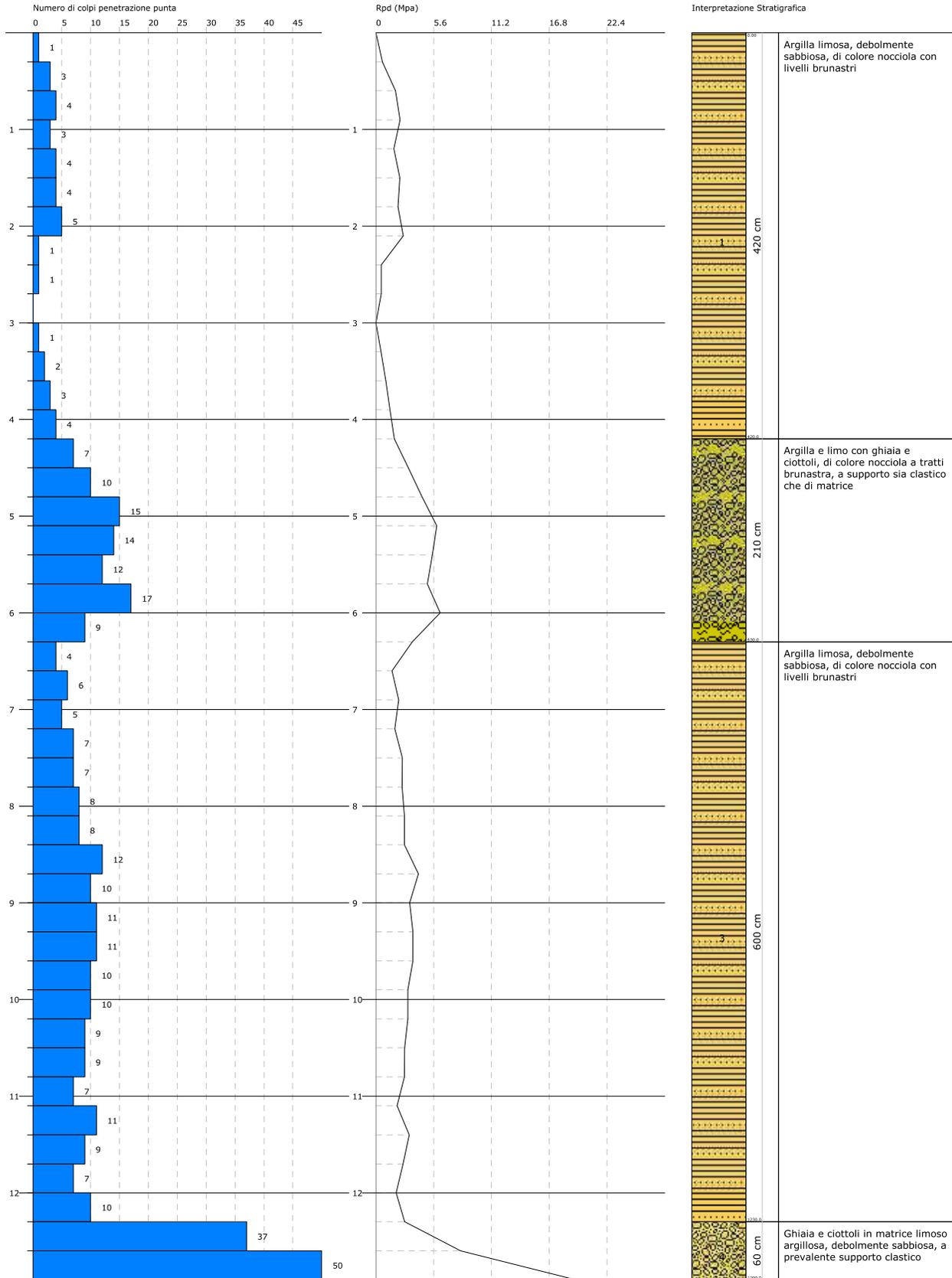
Diagrammi prove
penetrometriche dinamiche

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... SCPT (Standard Cone Penetration Test)

Committente: Comune di Albano sant'Alessandro
 Cantiere: Adeguamento sismico della scuola elementare comunale
 Località: Albano Sant'Alessandro - Via Dante angolo via Conti Albani

Data: 30/12/2020

Scala 1:56

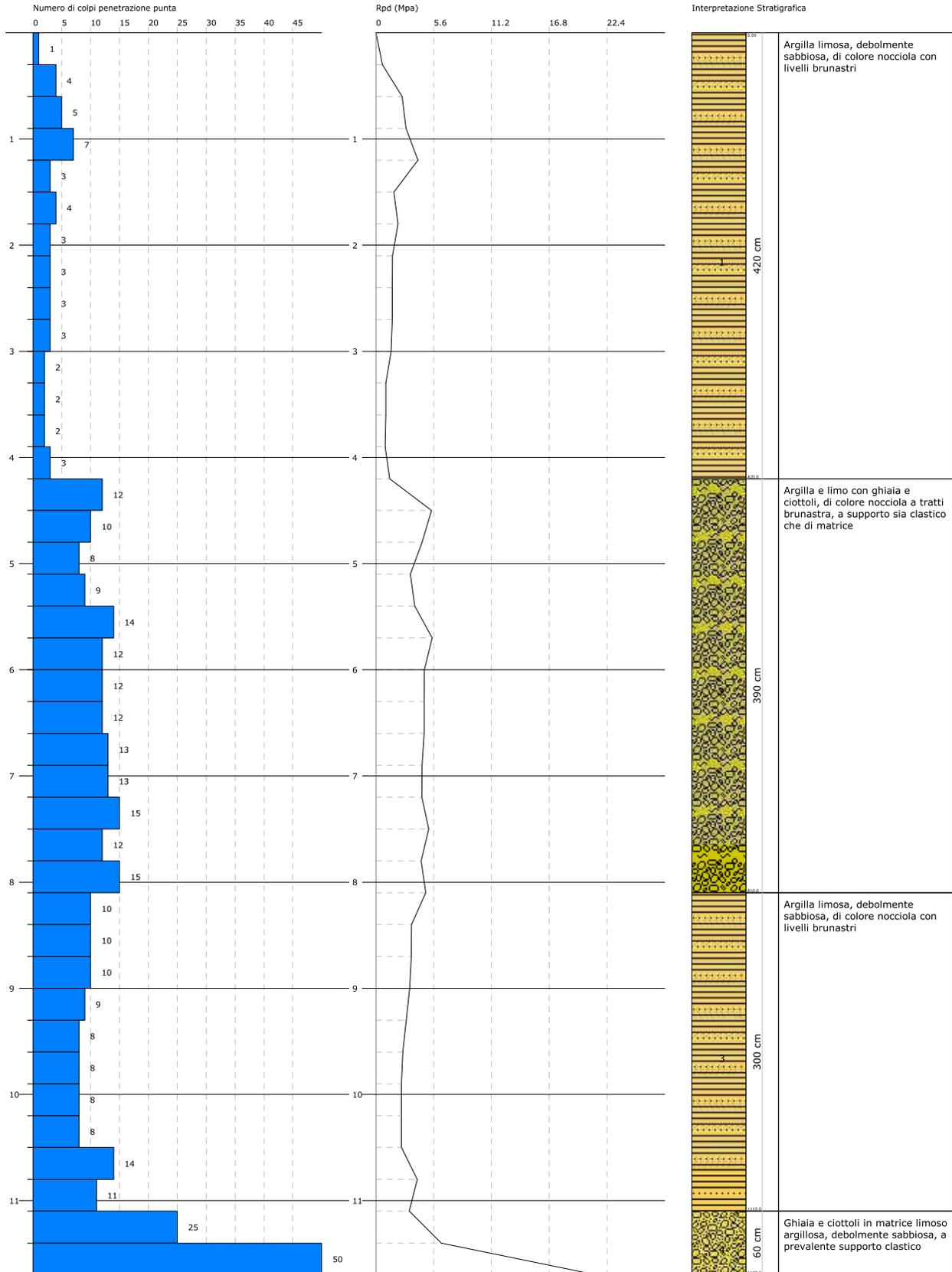


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... SCPT (Standard Cone Penetration Test)

Committente: Comune di Albano sant'Alessandro
 Cantiere: Adeguamento sismico della scuola elementare comunale
 Località: Albano Sant'Alessandro - Via Dante angolo via Conti Albani

Data: 30/12/2020

Scala 1:51

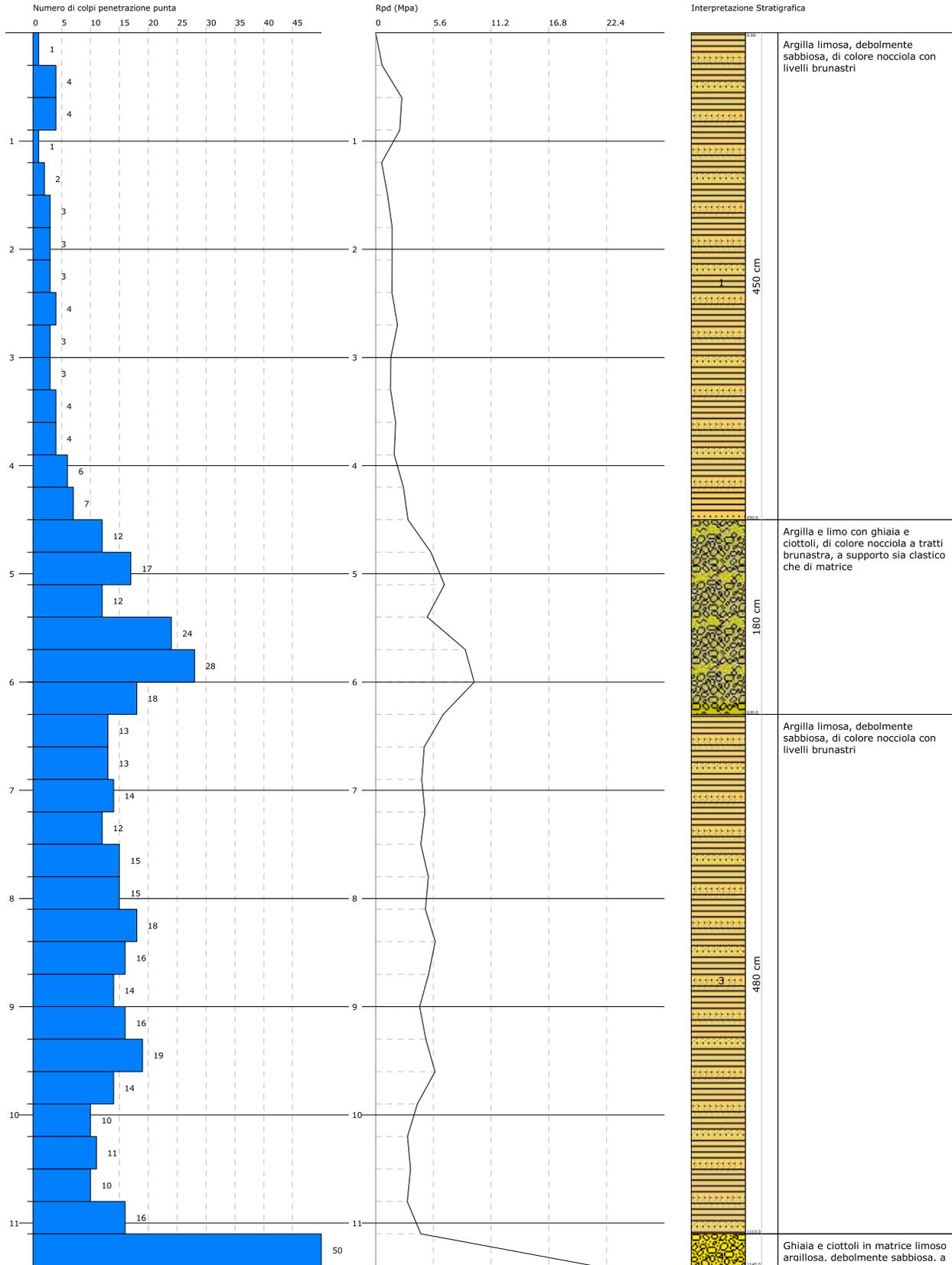


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3
Strumento utilizzato... SCPT (Standard Cone Penetration Test)

Committente: Comune di Albano sant'Alessandro
 Cantiere: Adeguamento sismico della scuola elementare comunale
 Località: Albano Sant'Alessandro - Via Dante angolo via Conti Albani

Data: 30/12/2020

Scala 1:50

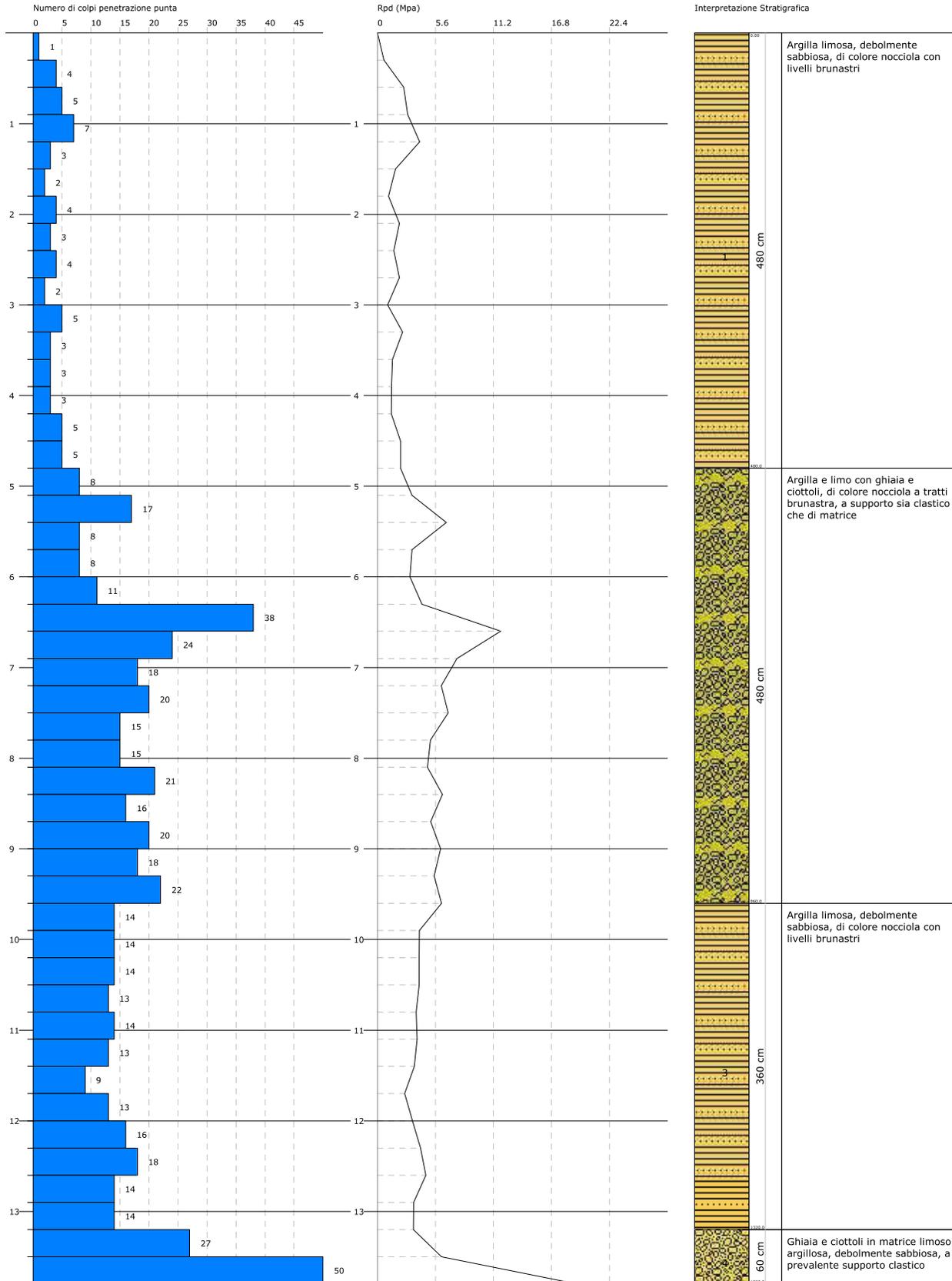


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4
Strumento utilizzato... SCPT (Standard Cone Penetration Test)

Committente: Comune di Albano sant'Alessandro
 Cantiere: Adeguamento sismico della scuola elementare comunale
 Località: Albano Sant'Alessandro - Via Dante angolo via Conti Albani

Data: 30/12/2020

Scala 1:60



Allegato 5

Rapporto interpretativo delle
indagini sismiche condotte

ESECUZIONE DI UNA PROSPEZIONE SISMICA M.A.S.W
E DI UNA MISURA DI MICROTREMORE SISMICO H.V.S.R.,
CON ANALISI CONGIUNTA DEI DATI, PRESSO LA SCUOLA ELEMENTARE
COMUNALE, NEL COMUNE DI ALBANO SANT'ALESSANDRO (BG)

Committente: *Comune di Albano Sant'Alessandro (BG)*

Data
Gennaio 2021



INDICE

1 -PREMESSA.....	3
2 -ANALISI HVSR.....	3
2.1 - Cenni sulla metodologia HVSR.....	3
2.2 - Acquisizione dei dati	4
2.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti.....	4
2.4 - Descrizione dei risultati	6
3 -INDAGINE SISMICA MASW	7
3.1 - Cenni sulla metodologia MASW	7
3.2 - Acquisizione dei dati	8
3.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti.....	8
4 -PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO	12



1 - PREMESSA

Su incarico della Committenza è stata eseguita, in data 04 Gennaio 2021, una prospezione geofisica finalizzata alla ricostruzione stratigrafica e sismica dei terreni, nell'ambito di uno Studio Geologico eseguito a supporto del progetto di adeguamento sismico della scuola elementare comunale, nel Comune di Albano Sant'Alessandro (BG).

Le indagini in sito sono consistite nell'esecuzione di **n° 1 profilo di sismica multicanale** con acquisizione delle onde di superficie ed elaborazione dati **mediante metodologia MASW**, e **n° 1 indagine sismica passiva con metodo HVSR**.

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

2 - ANALISI HVSR

Allo scopo di migliorare la definizione del profilo verticale Vs nelle porzioni più profonde e di calcolare la possibile frequenza di risonanza di sito, si è scelto di eseguire, in corrispondenza dello stendimento sismico MASW, una misurazione dei microtremori sismici ambientali per la definizione e l'analisi del rapporto spettrale H/V.

2.1 - Cenni sulla metodologia HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. La prova a stazione singola consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. Il risultato di questa prova è una curva sperimentale, che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi, sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

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

2.2 - Acquisizione dei dati

Nell'area d'indagine è stata eseguita, mediante stazione singola o tromometro, una misura di rumore sismico ambientale per un tempo di registrazione massimo di 20 minuti.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- un sistema di ricezione costituito da un tromometro CGE a 3 componenti geofoniche con frequenza propria di 2 Hz per acquisizioni del microtremore lungo la direzione verticale e le due direzioni orizzontali ortogonali.
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms (campionamento eseguito a 4 ms). Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

2.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

I risultati delle analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software *winMASW* versione *Acd 7.1*, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore, misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, l'acquisizione del rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 ms), per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto.

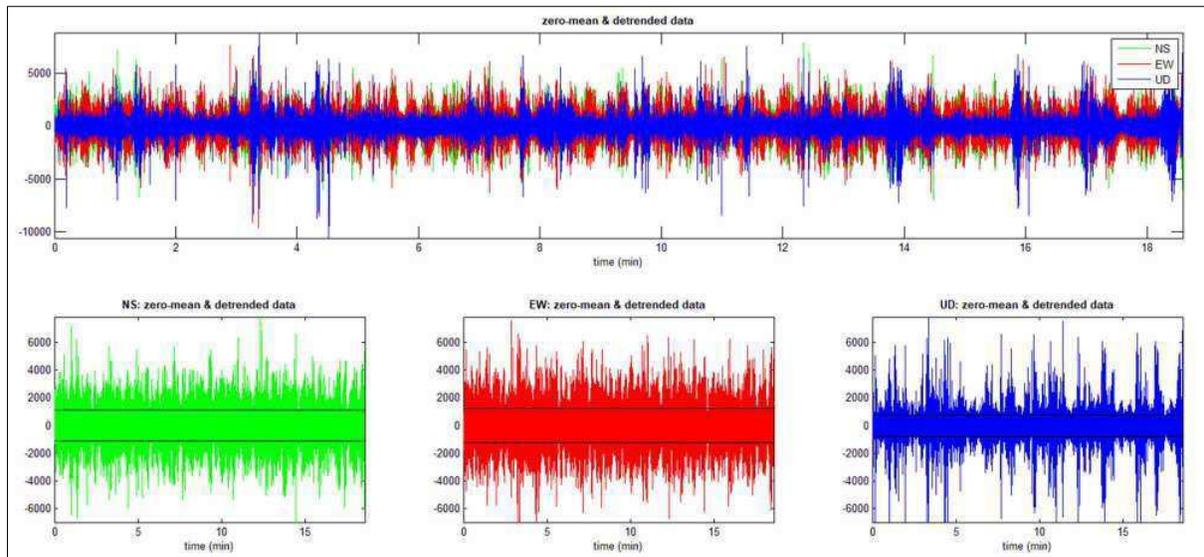


Fig. 1 - Visualizzazione dei dati dopo la rimozione di eventi transienti.

La determinazione della curva HVSR ha previsto in sintesi i seguenti steps:

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

I risultati parziali ottenuti, durante le fasi di elaborazione delle curve H/V, sono stati iterativamente controllati andando a valutare la direttività e la stabilità nel tempo della curva HVSR.

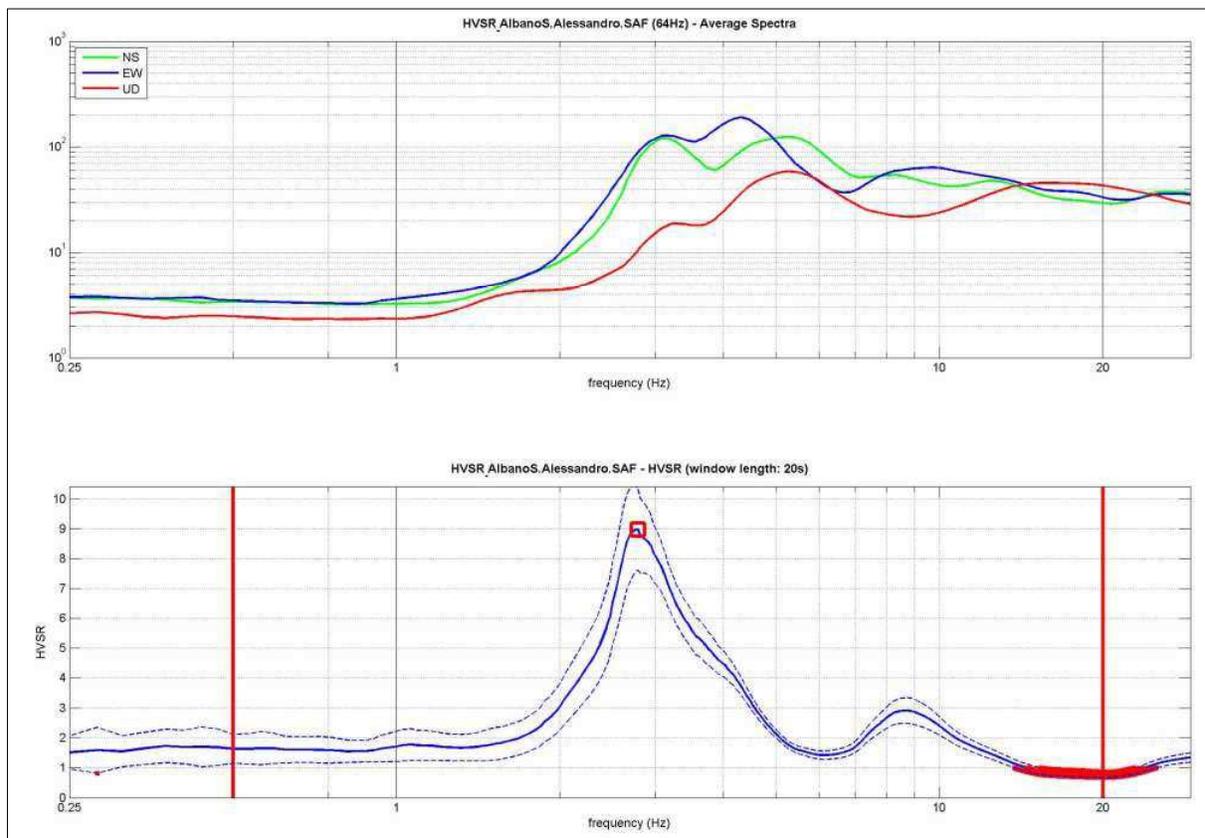


Fig. 2 - Visualizzazione HVSR e spettro medio di ampiezza del sito indagato.



La curva HVSR calcolata, indica un picco principale a circa 2,8 Hz; la sua validità viene verificata, mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto *SESAME* (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti).

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

- #1. $[f_0 > 10/L_w]$: $2.784 > 0.5$ (OK)
 - #2. $[n_c > 200]$: $5902 > 200$ (OK)
 - #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)
-

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

- #1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2]$: yes, at frequency 0.7Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2]$: yes, at frequency 4.0Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]$: $9.0 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)
- #5. $[\sigma_A(f) < \epsilon(f_0)]$: $0.144 > 0.139$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $1.375 < 1.58$ (OK)

2.4 - Descrizione dei risultati

Il picco a 2,8 Hz con ampiezza pari a 9,0 rispetta tutti i criteri *SESAME* per una curva affidabile; è inoltre rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5 criteri su 6 per un picco chiaro. Il criterio #5 è spesso tra i più restrittivi; al di là della sua rigorosa formulazione, si è valutato il dato con buon senso e si è scelto di non andare a modificare i parametri di elaborazione affinché esso fosse verificato.

Dall'analisi della curva HVSR, eseguita tra 0,5 Hz e 20 Hz (frequenze di interesse ingegneristico) è quindi risultata una possibile frequenza principale di risonanza attorno a 2,8 Hz.

Considerato l'andamento delle tre componenti che costituiscono il segnale sismico registrato, il picco di risonanza principale del sito indagato è ritenuto di origine stratigrafica e attribuibile ad un contrasto di impedenza sismica presente a circa -45/-50 metri di profondità dal p.c., presumibilmente tra i depositi dell'unità alluvionale e il sottostante substrato geologico roccioso.

Pur tenendo debitamente conto delle limitazioni che tale metodologia presenta per la ricostruzione di un profilo sismostratigrafico dettagliato, il picco individuato dall'analisi *H/V* e il relativo tratto di curva sono stati comunque utilizzati, tramite modellazione diretta, nell'analisi congiunta MASW+HVSR (**Fig. 5**), per trarre informazioni sismo-stratigrafiche utili a profondità a cui la sola analisi MASW non può evidentemente arrivare.



3 - INDAGINE SISMICA MASW

3.1 - Cenni sulla metodologia MASW

Con una prospezione sismica *MASW* (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) si analizza il fenomeno della dispersione che le onde di superficie subiscono in un mezzo stratificato. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda (λ), quindi frequenza è, infatti, influenzata dalle proprietà che il sottosuolo attraversato possiede ed è detta *velocità di fase*.

Le *MASW* attive sono realizzate tramite analisi delle onde di Rayleigh o di Love oppure, congiuntamente Rayleigh + Love. Queste rappresentano le onde di superficie prodotte dall'interazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le onde di Rayleigh, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale, la classica martellata. Le onde di Love invece vengono acquisite mediante geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante l'indagine in oggetto sono state registrate sia la componente verticale delle onde di Rayleigh sia le onde di Love.

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

Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi *MASW*, risulti idonea alla definizione dei dati richiesti. Tale scelta risulta avvalorata dalle seguenti considerazioni:

1. La percentuale di energia convertita in onde Rayleigh o di Love è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
2. La propagazione e dispersione delle onde di Rayleigh o di Love si verifica senza problemi anche in caso di inversioni di velocità. Rispetto alla sismica a rifrazione, infatti, il metodo MASW non presenta problemi legati alla presenza di strati soffici compresi tra strati più rigidi.
3. La propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_s , parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito (categoria di suolo in base al Testo Unico).



3.2 - Acquisizione dei dati

L'ubicazione e la lunghezza dello stendimento sono state scelte in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro degli edifici esistenti. L'allineamento sismico ha previsto una distanza tra i geofoni pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni e coniugati rispetto all'ultimo geofono con offset variabili (2-4-6-8-10-12 m) a diversa intensità di energizzazione. Per l'acquisizione delle onde di Love lo stendimento sismico ha previsto invece una distanza intergeofonica pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni con offset di 3 m dall'ultimo geofono.

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

L'acquisizione delle onde di Love è avvenuta invece mediante uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente orizzontale posti trasversalmente all'allungamento dello stendimento, generando un'onda sismica di taglio mediante martellata orizzontale su piastra posta verticalmente nel terreno. La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

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

3.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

Determinazione degli spettri di velocità ed individuazione delle curve di dispersione

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

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

Dopo aver scelto quindi i sismogrammi più idonei, quelli solitamente con il miglior rapporto *segnale/rumore*, si esegue una trasformata dal dominio *spazio/tempo* al dominio *frequenza/velocità* (**Fig. 3**).

Particolare attenzione nell'interpretazione delle curve di dispersione è posta in considerazione del fatto che le vibrazioni indotte dalle onde di superficie sono correlabili a diversi *modi*, che possono sovrapporsi all'interno degli spettri di velocità.

Se tale sovrapposizione avviene, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione. Al fine di individuare i modi corretti e correlabili alla reale successione stratigrafica è stato scelto di eseguire un'analisi congiunta delle onde di Rayleigh e delle onde Love.

L'interpretazione dello spettro è consistita quindi nel confrontare le distribuzioni di energia tra i vari modi. Dato che la distribuzione dell'energia nelle due componenti Love e Rayleigh è risultata a tratti differente, l'analisi congiunta è risultata indispensabile al riconoscimento del reale andamento dei modi, portando all'elaborazione di un unico modello maggiormente vincolato e preciso.

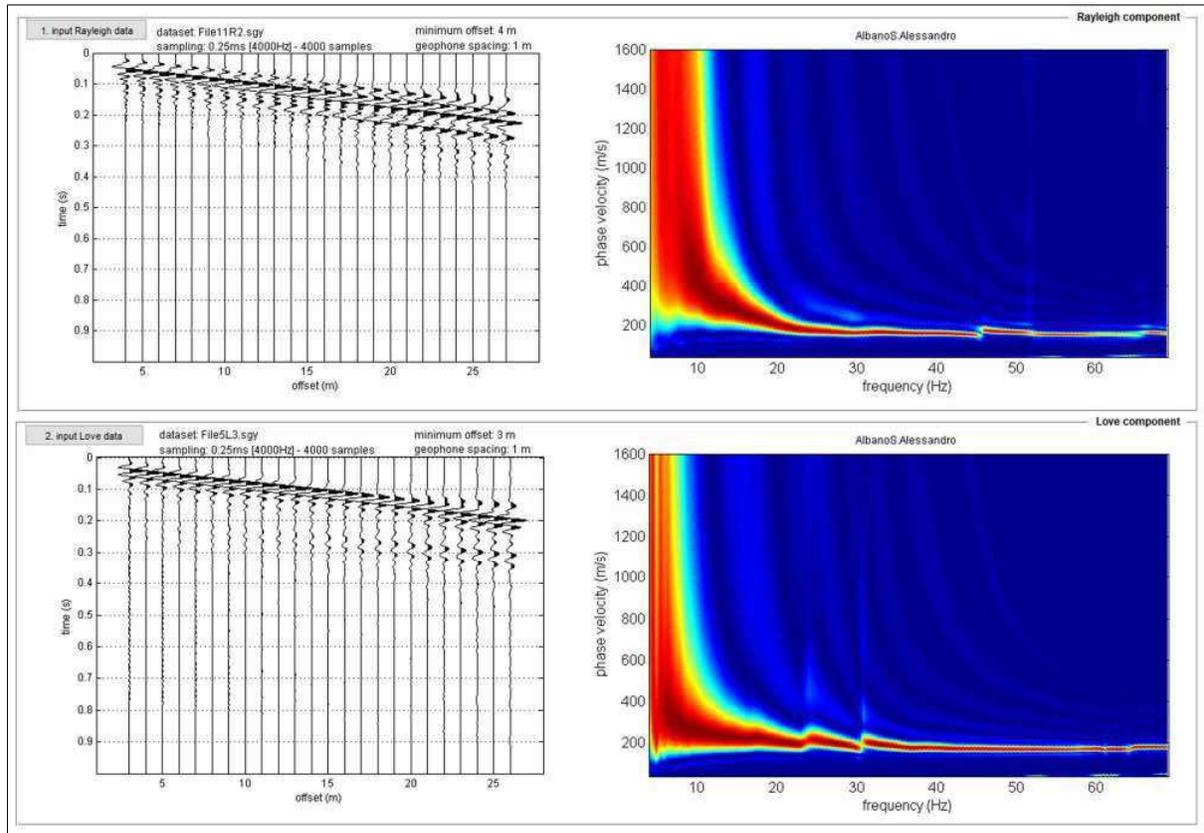


Fig. 3 - Sismogrammi acquisiti (sx) e relativi spettri di dispersione (dx) della componente verticale delle onde di Rayleigh (in alto) e delle onde di Love (in basso).



Si riassumono di seguito i dati relativi ai parametri di acquisizione utilizzati per i dataset prescelti per l'elaborazione:

ONDE DI RAYLEIGH	ONDE DI LOVE
Dati relativi allo shot 5 - File11R2.sgy	Dati relativi allo shot 1 - File5L3.sgy
offset minimo: 4 m	offset minimo: 3 m
distanza intergeofonica: 1,0 m	distanza intergeofonica: 1,0 m
Intervallo di campionamento: 0,25 ms	Intervallo di campionamento: 0,25 ms
Tempo di acquisizione: 1 s	Tempo di acquisizione: 1 s

Procedure di modellazione diretta e analisi congiunta Rayleigh+Love+HVS

Analizzati i sismogrammi e i rispettivi spettri di velocità si è proceduto alla ricostruzione della distribuzione verticale delle Vs. Partendo dalle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e di Love è stato ricostruito il modello che è responsabile di quelle curve, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna. Gli spettri di velocità di fase sono stati interpretati identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso (**Fig. 4**). Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti, contemporaneamente in entrambi gli spettri, al fine di ottenere un solo modello di velocità.

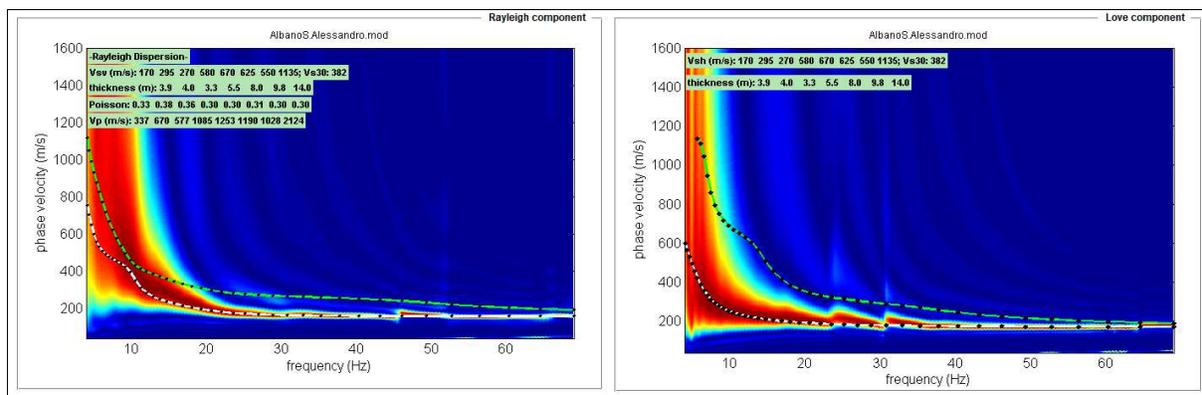


Fig. 4 - Risultati dell'analisi congiunta Rayleigh+Love: modellazione diretta mediante individuazione del modo fondamentale e di porzioni dei modi superiori che compongono lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (sx) e congiuntamente quello delle onde di Love (dx).

Inoltre, per l'interpretazione dello spettro di velocità nella sua parte a medio-bassa frequenza (<10 Hz), è stata considerata la curva HV ottenuta dall'indagine sismica HVSR (**Fig. 5**). In particolare, è stata eseguita un'**analisi congiunta** tra lo spettro di dispersione ottenuto con indagine MASW e la curva H/V misurata, al fine di ottenere un solo modello di velocità.

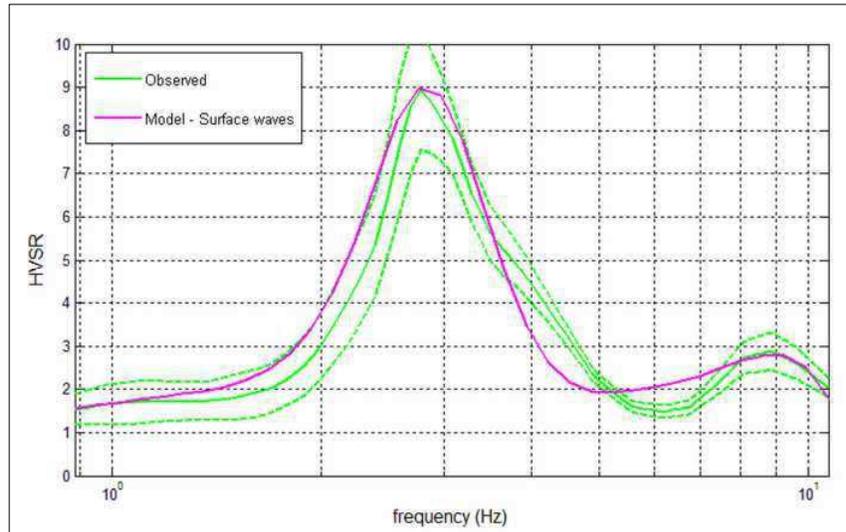


Fig. 5 - Confronto tra H/V sperimentale (verde) e teorico (viola), ottenuta per lo stesso modello di velocità considerato nell'analisi MASW.



4 - PROFILO SIMOSTRATIGRAFICO

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati, si è tenuto conto delle evidenze del segnale acquisito, delle prove penetrometriche eseguite entro la medesima area di indagine e delle stratigrafie di alcuni pozzi terebrati in aree limitrofe a quella oggetto di studio. Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un **modello geofisico medio**, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia MASW in onde di Rayleigh+Love ed in modo congiunto con la modellazione diretta della curva HVSR.

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

MODELLO GEOFISICO MEDIO - Via Conti Albani - Albano Sant'Alessandro (BG)						
Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm³)	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	170	3,9	-3,9	1,79	0,33	52
2	295	4,0	-7,9	1,96	0,38	170
3	270	3,3	-11,2	1,92	0,36	140
4	580	5,5	-16,7	2,07	0,30	698
5	670	8,0	-24,7	2,11	0,30	947
6	625	9,8	-34,5	2,10	0,31	819
7	550	14,0	-48,5	2,06	0,30	623
8	1135	6,5	-55,0	2,24	0,30	2882

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

D.M. 17/01/2018	Profondità del bedrock sismico	V_{s,eq} (m/s)	Categoria di sottosuolo	Valore di V _{s,eq} calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 $V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$ Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW (p.c.)	Oltre 30 m dal p.c.	382	B	
Calcolo a partire da -3,0 m dal p.c.	Oltre 30 m dal p.c.	456	B	

Si sottolinea come la Categoria di Sottosuolo di Progetto, stimata in base a quanto previsto dal D.M. 17/01/2018, deve essere definita a partire dal piano di posa delle fondazioni

Si riporta inoltre la stratigrafia schematica del modello medio fino a -55,0 m dal p.c., ottenuto mediante analisi MASW in onde di Rayleigh+Love ed in modo congiunto con la modellazione diretta della curva HVSR, utilizzato per il calcolo del parametro $V_{S,eq}$ (**Fig. 6**).

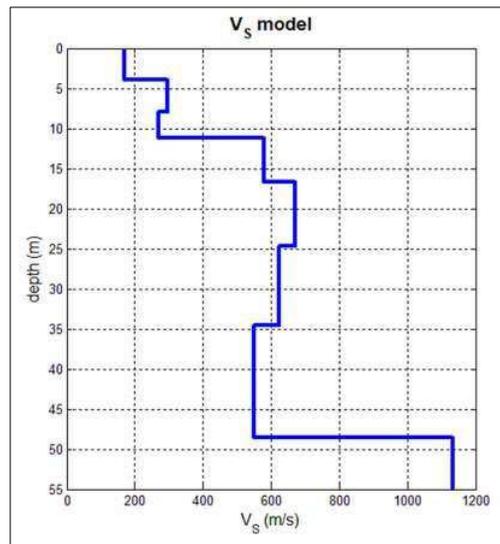


Fig. 6 - Profilo sismostratigrafico.

In base ai dati sismostratigrafici ottenuti, si rileva terreno superficiale vegetale rimaneggiato, di spessore pari a 3,9 m, con velocità delle onde di taglio (onde S) pari a 170 m/s.

Da -3,9 a -11,2 m si riscontrano valori di velocità delle onde S compresi tra 270 e 295, caratteristici di terreni nel complesso moderatamente addensati.

Oltre -11,2 m, e fino a -48,5 m dal p.c., si segnalano valori di V_s compresi tra 550 e 670 m/s, caratteristici di depositi particolarmente addensati o più presumibilmente di natura conglomeratica, diffusamente segnalati presso il territorio in cui ricade l'area in esame.

Inversioni dei valori di velocità (550 m/s), come quella riscontrata da -34,5 a -48,5 m dal p.c., sono imputabili a diminuzioni del grado di cementazione o alla presenza di uno o più livelli più francamente argillosi, contenuti all'interno della suddetta sequenza sedimentaria.

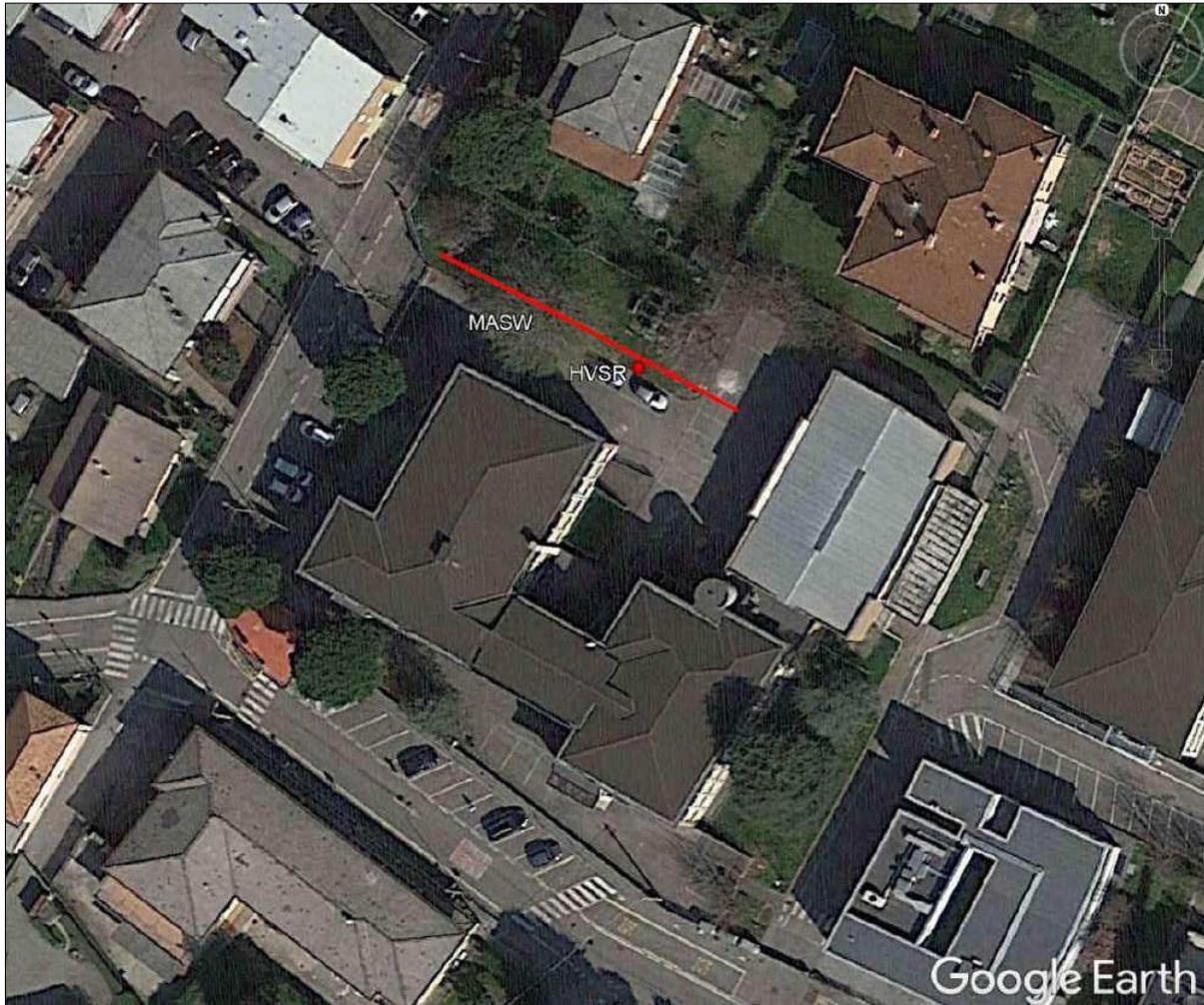
Oltre -48,5 m dal p.c., in funzione del valore di V_s pari a 1135 m/s, stimato solamente mediante modellazione diretta del picco principale della curva HVSR, si ipotizza la presenza del substrato geologico roccioso a buone caratteristiche geomeccaniche, rappresentante il bedrock sismico della successione indagata.

Si specifica come l'individuazione di quest'ultimo orizzonte sismostratigrafico sia stato desunto dalla sola modellazione diretta della curva HVSR sperimentale, di conseguenza, considerando i limiti intrinseci di tale metodologia a fornire un profilo sismostratigrafico dettagliato, si consiglia di valutare in modo indicativo, e non vincolante i valori di V_s e le profondità dei sismostrati ottenuti oltre 30-40 m dal p.c..

Il profilo sismostratigrafico ottenuto risulta correlabile con il quadro geologico dell'area oggetto di indagine e i valori di velocità delle onde S , nei primi metri, risultano compatibili con l'andamento delle prove SCPT eseguite contestualmente all'indagine sismica.

UBICAZIONE DELLE PROSPEZIONI SISMICHE

Via Conti Albani – Albano Sant’Alessandro (BG)



Legenda:

 Stendimento sismico con acquisizione ed elaborazione dei dati mediante metodologia MASW in onde di Rayleigh e di Love

- Misura di microtremore sismico, con stazione singola, mediante tecnica HVSF

ALLEGATO FOTOGRAFICO



Stendimento sismico M.A.S.W.



*Misura del microtremore sismico
mediante tecnica H.V.S.R.*



*Acquisizione del segnale sismico
con Sismografo Geometrics
Mod. Geode 3-1000*



*Shot sismico verticale per la
generazione delle onde di Rayleigh*

Allegato 6

Stratigrafia di sondaggio



COMUNE DI ALBANO SANT'ALESSANDRO

Committente

Comune di
Albano Sant'Alessandro

Data

30/12/2020

Ubicazione

Via Dante – Foglio 905, mappale 4175

Sondaggio		S1		Diametro rivestimento		Diametro carotiere		
				152 mm		101 mm		
	Profondità dal p.c. (m)	Potenza dello strato (m)	Simbolo	Descrizione litologica	Livello statico della falda (m)	Piezometro	Prove in foro	
							S.P.T.	Lefranc
	3,0	6,0		Argilla limosa, debolmente sabbiosa, di colore nocciola con livelli brunastri				
	6,0	6,0						
	9,0	3,5		Argilla e limo con ghiaia e ciottoli, di colore nocciola a tratti brunastra, a supporto sia clastico che di matrice				
	9,5	1,1		Argilla limosa, debolmente sabbiosa, di colore nocciola con livelli brunastri				
	10,6							
	12	2,8		Ghiaia e ciottoli in matrice limoso argillosa, debolmente sabbiosa, a prevalente supporto clastico			12,0	31-45-rif
	13,4				13,0			
	15						15,0	37-rif
	18	6,6		Ghiaia e ciottoli in scarsa matrice limosa e sabbiosa di colore grigio, a esclusivo supporto clastico. Presenza di croste di conglomerato			18,0	43-rif
	21						20,0	
	24						20,0	

FONDO FORO M 20,00 DA P.C.

Allegato 7

Parametri sismici di sito e di
progetto

Allegato_7

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii
Muro rigido: 0

Sito in esame.

Latitudine: 45,687078357844
Longitudine: 9,77171484484155
Classe: 3
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

5542,338	Sito 1 ID: 11380	Lat: 45,6757	Lon: 9,7023	Distanza:
1032,363	Sito 2 ID: 11381	Lat: 45,6779	Lon: 9,7736	Distanza:
4532,293	Sito 3 ID: 11159	Lat: 45,7278	Lon: 9,7705	Distanza:
7080,897	Sito 4 ID: 11158	Lat: 45,7256	Lon: 9,6991	Distanza:

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 75anni
Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 45 [anni]
ag: 0,040 g
Fo: 2,435
Tc*: 0,219 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 75 [anni]
ag: 0,053 g
Fo: 2,405
Tc*: 0,237 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 712 [anni]
ag: 0,141 g
Fo: 2,451
Tc*: 0,273 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1462 [anni]
ag: 0,180 g
Fo: 2,493
Tc*: 0,282 [s]

Coefficienti sismici stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,490
St: 1,000
Kh: 0,010
Kv: 0,005
Amax: 0,474
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,470
St: 1,000

Allegato_7

kh: 0,013
Kv: 0,006
Amax: 0,624
Beta: 0,200
SLV:
Ss: 1,200
Cc: 1,430
St: 1,000
Kh: 0,041
Kv: 0,020
Amax: 1,657
Beta: 0,240
SLC:
Ss: 1,200
Cc: 1,420
St: 1,000
Kh: 0,052
Kv: 0,026
Amax: 2,116
Beta: 0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84
latitudine: 45.686155
longitudine: 9.770665

Allegato 8

Documentazione fotografica

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALL'INDAGINE GEOGNOSTICA ESEGUITA IN COMUNE
DI ALBANO SANT'ALESSANDRO – SCUOLA ELEMENTARE COMUNALE
Committente: COMUNE DI ALBANO SANT'ALESSANDRO



Figura 1: Prova penetrometrica n. 1.



Figura 2: Prova penetrometrica n. 2



Figura 3: Prova penetrometrica n. 3



Figura 4: Prova penetrometrica n. 4



Figura 5: cassetta catalogatrice: da 0,0 a - 5,0 m



Figura 6: cassetta catalogatrice: da 5,0 a - 10,0 m



Figura 7: cassetta catalogatrice: da 10,0 a - 15,0 m



Figura 8: cassetta catalogatrice: da 10,0 a - 15,0 m