

netproject

Fascicolo 4 Relazioni

Net Project s.r.l.

Ing. Benato Sandro
Arch. Quaglio Antenore
Arch. Tacchetto Nicola
Arch. Visentini Nicola

PADOVA 35129
P.zza Modin 12
T. 049 8935081
info@npsrl.net
P.iva 04275010280
www.npsrl.net



Comune di Verona Provincia di Verona

committente		timbro
Immobiliare Cinquerre S.p.a. Via Friuli, 5 - 37060 Sona (VR)		
progetto		
PIANO URBANISTICO ATTUATIVO "ROSSETTO" SCHEDA NORMA N. 221		
tavola		
4.1 Relazione geologica-geotecnica, relazione idrogeologica 4.2 Relazione di compatibilità idraulica 4.3 Relazione sismica contenente l'attestazione sismica		
scale del disegno		
1:2000		
stato disegno		
Definitivo		
rev.	disegnato da	data
00	E.A.	04.02.2025
file		data prima presentazione
Y:\796_ROSSETTO_Verona\796_PUA\796_2025_Integrazioni PUA\Dwg\796_Fascicoli_definitivi_05.dwg		06.07.2023
progettista		timbro
arch. Nicola Visentini ing. Sandro Benato		

elaborazioni grafiche a cura della Net Project s.r.l.
ai termini delle vigenti leggi in materia, questo elaborato
NON può essere copiato, riprodotto o divulgato ad altri senza l'autorizzazione dell'autore

Regione Veneto - Provincia di Verona

COMUNE DI VERONA

**PROGETTO PER L'AMPLIAMENTO DI UN
SUPERMERCATO IN PROSSIMITA' DI CORSO MILANO**

RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA

(AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018)



*Dott. Geol Enrico Nucci
Dott. Ing. Elena Nucci
Dott. Ing. Francesca Nucci*

**SOCIETA' DI INGEGNERIA E
GEOLOGIA APPLICATA**

*Via Albere 132 - 37137 Verona
tel / fax 045/8622408
cell +039 335.7597710
email studionuccisrl@gmail.com*

Dott. Geol. Enrico Nucci



Dott. Geol. Andrea Garbellini

Committente:

IMMOBILIARE CINQUERRE S.P.A.

Cod. Rif.

Data: ottobre 2023

INDICE

1	PREMESSA.....	3
1.1	Normativa di riferimento	4
1.2	Inquadramento del territorio e stato dei luoghi.....	5
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	7
3	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	11
4	INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO.....	13
5	ANALISI DEL PIANO DI ASSETTO DEL TERRITORIO (P.A.T.).....	15
6	CAMPAGNA D'INDAGINE	17
6.1	Prove sismiche a Rifrazione	18
6.2	Prove sismiche MASW.....	19
6.3	Prove sismiche HVSR	21
6.4	Sondaggio Litostratigrafico	22
6.5	Prove Penetrometriche dinamiche SPT	23
6.6	Analisi dei risultati.....	24
7	MODELLO GEOLOGICO	38
8	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	42
9	RESISTENZE DEL SOTTOSUOLO	46
10	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	52

ALLEGATI

- Posizione delle prove geognostiche
- Scheda litostratigrafica
- Documentazione fotografica
- Tabelle dati della sismica a Rifrazione
- Elaborati prove sismiche MASW
- Elaborati prove sismiche HVSR
- Relazione idrogeologica ai sensi dell'art. 38 del NA del PAT

Codice di Rif.:

Verona, ottobre 2023

1 PREMESSA

Lo studio geologico descritto nella presente relazione aggiorna e revisiona il precedente studio realizzato nel periodo di ottobre 2014 a supporto del progetto di ampliamento di un edificio a uso commerciale in cui trova sede un supermercato con altre attività collaterali.

L'aggiornamento deriva dalle modifiche normative imposte dal D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e dalla D.G.R.V. 244/2021 "Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto".

Il progetto prevede la realizzazione di un nuovo edificio limitrofo all'esistente, la sistemazione delle aree di parcheggio e la modifica della viabilità interna alla proprietà.

La superficie complessiva dell'area indagata su cui sorgerà il nuovo edificio è circa 8.000 m² ed è ubicata in Via Gracco Spaziani, parallela di Corso Milano a Verona.

Le coordinate geografiche centrali all'area sono (sistema di riferimento WGS84 in gradi decimali): Latitudine 45,44507 N, longitudine 10,95203 E.



Immagine dell'intervento progettuale.

Lo studio geologico ha avuto gli obiettivi di analizzare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geotecniche, sismiche, del sottosuolo sul quale graveranno gli interventi, prestando particolare attenzione alla situazione sub-superficiale, ovvero quella a contatto con le opere di fondazione che si andranno a realizzare.

Le analisi e le valutazioni sono state supportate da dati geognostici rilevati direttamente in sito con l'esecuzione di specifiche prove sismiche, l'esecuzione di un sondaggio litostratigrafico a carotaggio continuo e l'esecuzione di diverse trincee esplorative superficiali.

Nei successivi capitoli saranno descritte le tecniche d'indagine utilizzate, i dati rilevati e i risultati ottenuti.

1.1 Normativa di riferimento

- **D.M. 17 gennaio 2018**
“Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- **Circolare Ministeriale n. 7/2019**
“Istruzione per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018”.
- **Ordinanza P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274 e Ordinanza P.C.M. 28 aprile 2006 n. 3519**
“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio”.
- **D.G.R.V. n. 244 del 09 marzo 2021**
“Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto. D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, art. 83, comma 3; D. Lgs 31 marzo 1998, n. 112, articoli 93 e 94. D.G.R./CR n. 1 del 19/01/201.
- **Linee Guida del dipartimento della Protezione Civile**
“Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica” (2008).
- **Associazione Geotecnica Italiana**
“raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geognostiche”.
- **Linee guida AGI-2005**
“Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica”.
- **Eurocodice 7.1 1997**
“Progettazione geotecnica - parte 1: regole generali ”.
- **Eurocodice 7.3 2002**
“Progettazione geotecnica – parte 2: progettazione assistita con prove in sito”.

1.2 Inquadramento del territorio e stato dei luoghi

L'area di progetto è situata nel centro abitato di Verona tra C.so Milano, a nord, e la vicina linea ferroviaria, a sud-ovest.

Il contesto ambientale è sub-pianeggiante con quote altimetriche dell'area d'indagine di circa 65 m s.l.m. (dato estratto dalla Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000) che salgono a circa 76 / 77 m nelle vicinanze del margine sud-ovest dell'area d'indagine laddove è presente di un terrazzo morfologico.



Ubicazione della zona d'indagine (estratto dalle mappe di Google Earth).

L'area d'intervento ha una forma rettangolare con asse maggiore allineato nord ovest – sud est ed ha una superficie complessiva di circa 8.000 m².

Il margine nord è delimitato dalla viabilità Via Spaziani, il margine est in parte da un'area edificata ed in parte da un'area verde arbustiva, il margine sud da una scarpata alta diversi metri che delimita un terrazzo morfologico parzialmente edificato, il margine ovest è delimitato da un'area di parcheggio.

Tutta l'area nel suo insieme risulta depressa circa 3 m rispetto la viabilità di Via Spaziani.

La morfologia interna all'area non evidenzia discontinuità topografiche significative, ma il microrilievo dimostra una topografia non piatta con discontinue zone di forma irregolare depresse alcuni decimetri.

Allo stato attuale l'accesso all'area avviene da Via Spaziani mediante una rampa costituita da materiali di riporto stabilizzati.

La superficie interna alla proprietà si caratterizza per una continua copertura vegetale con tracce di pietrame, ghiaia e ciottoli di varie dimensioni.



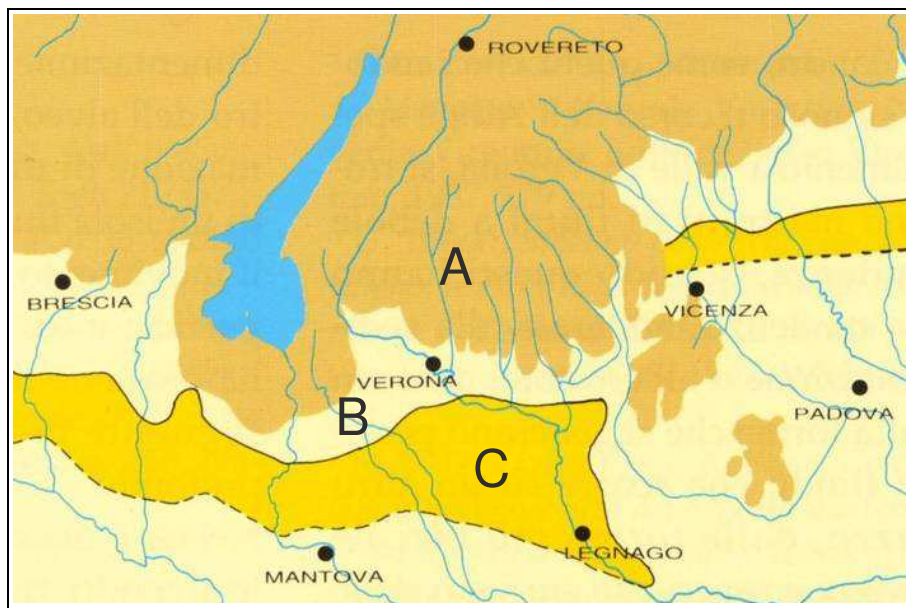
Panoramica dell'area d'indagine vista in direzione ovest.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

La zona d'indagine da un punto di vista geologico - geomorfologico generale si inserisce nell'ambito deposizionale dell'Alta Pianura veronese posta tra le ultime propaggini lessinee, a nord, e la linea delle risorgive, a sud.

In generale l'intero territorio della Provincia di Verona è infatti schematizzabile in tre differenti contesti geomorfologici e geolitologici di seguito descritti:

- a) **SETTORE COLLINARE – MONTUOSO**; zona del territorio veronese caratterizzata dalle ultime propaggini dei Monti Lessini, costituiti da un tavolato roccioso prevalentemente calcareo che, proteso verso Sud, degrada progressivamente fino ad immergere sotto i depositi alluvionali dell'Alta Pianura.
- b) **ALTA PIANURA**; tale zona si estende verso sud dai Monti Lessini fino alla fascia dei fontanili. L'evoluzione geomorfologica e geologica della pianura veronese è legata principalmente all'interferenza fra il Fiume Adige (agente morfogenetico), le variazioni climatiche che si sono succedute durante il Quaternario e le conseguenti variazioni di portata del corso d'acqua a carattere fluvio-glaciale. L'alternanza di fasi di espansione e di ritiro glaciale, con le conseguenti variazioni del flusso idrico e del trasporto solido, hanno determinato la costruzione dello spesso materasso alluvionale che si estende, con forma a ventaglio (conoide), dallo sbocco della Val d'Adige fino a Legnago. Fra la parte apicale del conoide, caratterizzata da granulometrie prevalentemente grossolane (Alta Pianura), e la parte più distale del conoide (Media e Bassa Pianura) si determina una progressiva diminuzione granulometrica dei depositi. Il passaggio dall'Alta alla Bassa Pianura è segnato dal limite superiore della fascia delle risorgive, zona entro cui la superficie piezometrica intercetta quella topografica con conseguente venuta a giorno della falda.
- c) **BASSA PIANURA**; tale zona rappresenta la parte distale del conoide dell'Adige dove l'energia idrodinamica a disposizione per il trasporto, essendo minore, ha determinato l'accumulo di sedimenti a granulometria prevalentemente fine.



*Posizione dei tre contesti geomorfologici
(estratto da Etsch Adige – Il fiume gli uomini la storia; Cierre edizioni, 1997.)*

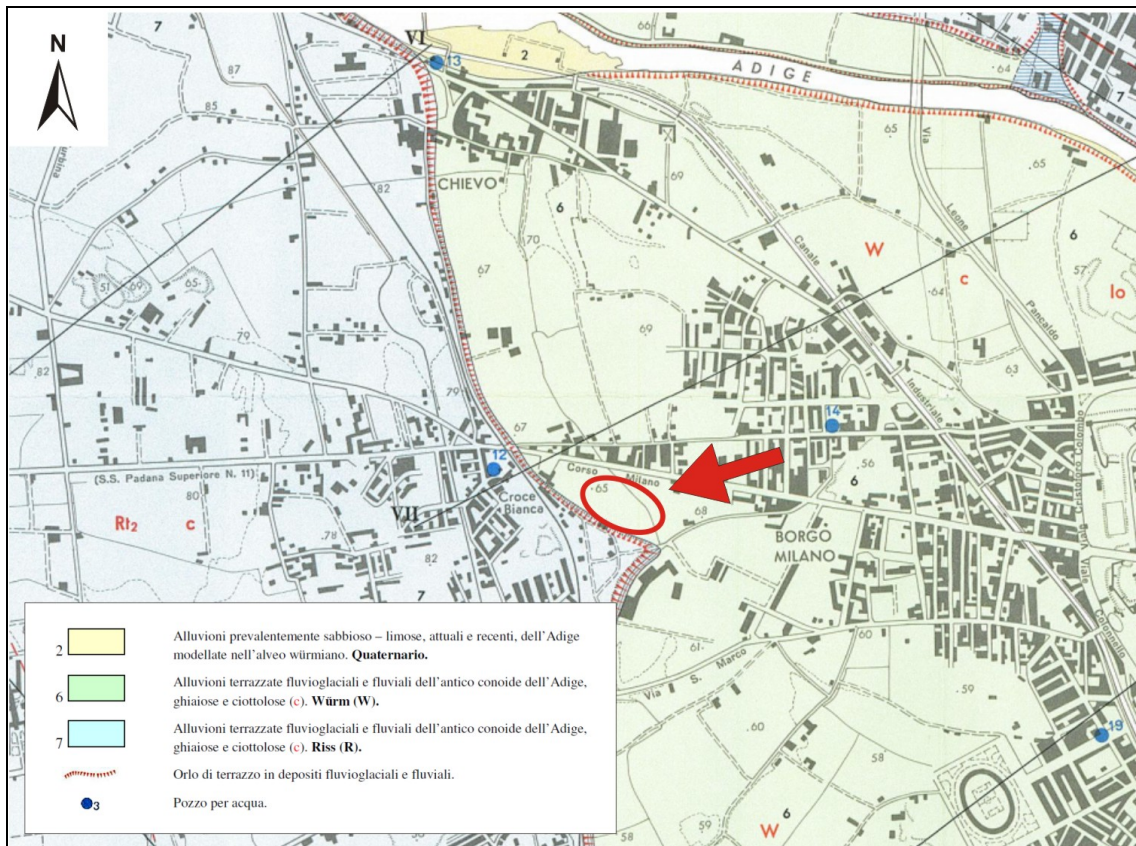
La zona di progetto ricade nel contesto B “Alta Pianura”.

Le litologie dell’Alta Pianura veronese derivano dall’accumulo di grandi quantitativi di materiali granulari (ghiaie, ciottoli, sabbie e limi) la cui successione stratigrafica riflette le variazioni climatiche e capacità di trasporto della rete idrografica.

Nel periodo quaternario lo scioglimento delle coltri glaciali atesine, dovuto all’incremento di temperatura post-glaciale, potenziò enormemente la capacità di trasporto della rete idrografica, permettendo così l’accumulo d’ingenti quantità di sedimenti prevalentemente grossolani. L’eterogeneità granulometrica dei depositi è da porre in relazione con le variazioni del regime idrico: deposizione di ciottoli e ghiaie è espressione di alta energia idrodinamica, mentre sabbie e limi sono espressione di bassa energia idrodinamica.

L’alternanza di episodi erosivi e deposizionali è all’origine della formazione dei terrazzi fluviali citati.

La successiva immagine riporta un estratto della “*Carta Geologica del territorio del Comune di Verona*” (V. De Zanche et al.; 1977).



Estratto dalla Carta Geologica del Comune di Verona

La carta geologica consente di verificare la presenza di depositi sedimentari e strutture geomorfologiche di età differente, riconducibili all'evoluzione idrografica attuale e pregressa del fiume Adige.

Le principali morfologie, laddove non obliterate da antropizzazione ed urbanizzazione, sono riconducibili a dinamiche fluviali e sono evidenziate da ampie superfici terrazzate, poste a quote altimetriche differenti e delimitate da scarpate di erosione fluviale.

Nello specifico l'area d'indagine è delimitata nel margine sud-ovest da una scarpata di un terrazzo morfologico di origine fluvioglaciale / fluviale, di altezza pari a circa 8 / 10 m.

L'area studio è inserita nel contesto geolitologico delle "ALLUVIONI TERRAZZATE FLUVIOGLACIALI E FLUVIALI DELL'ANTICO CONOIDE DELL'ADIGE, GHIAIOSE E CIOTTOLOSE DI ETÀ WURMIANA". Tali accumuli sedimentari sono rinvenibili sino a parecchie decine di metri di profondità dal piano campagna.

La dominanza delle litologie granulari (salvo occasionali intercalazioni lentiformi coesive e talora conglomeratiche) risulta confermata dalle successioni stratigrafiche relative ai pozzi per acqua ubicati nelle vicinanze dell'area d'indagine.

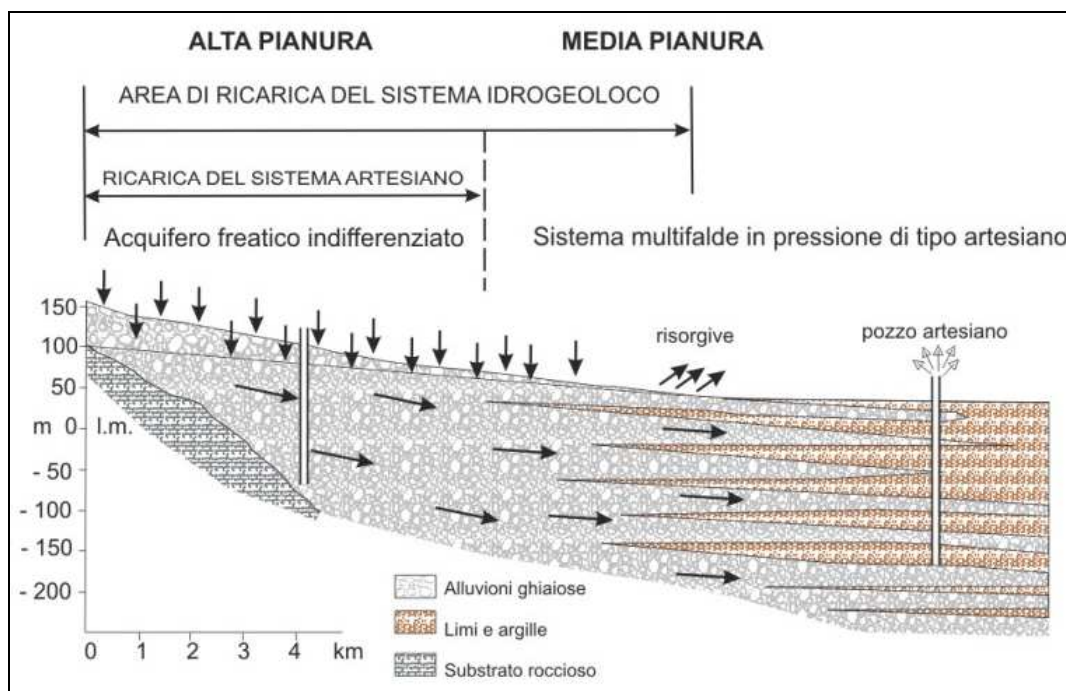
In particolare i pozzi denominati "12" e "14" riportati nell'estratto della carta geologica hanno la seguente stratigrafia

<u>Pozzo 12</u>	<i>PROFONDITÀ (m da p.c.)</i>	<i>LITOLOGIA</i>
	0,0 ÷ 12,0	Ghiaia e ciottoli
	12,0 ÷ 54,0	Ghiaia e sabbia
	54,0 ÷ 65,0	Ghiaia e ciottoli, conglomerato.
	65,0 ÷ 90,0	Ghiaia e sabbia

<u>Pozzo 14</u>	<i>PROFONDITÀ (m da p.c.)</i>	<i>LITOLOGIA</i>
	0,0 ÷ 20,0	Ghiaia e sabbia
	20,0 ÷ 23,0	Argilla
	23,0 ÷ 48,0	Ghiaia e sabbia

3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Premesso quanto descritto nella caratterizzazione geologica e geomorfologica del territorio, il contesto idrogeologico della provincia di Verona può essere schematizzato nei tre distinti settori precedentemente descritti e rappresentati nella successiva immagine.



Schema idrogeologico della pianura veronese

- SETTORE COLLINARE – MONTUOSO;** la natura prevalentemente calcarea unitamente all'assetto strutturale ha favorito l'instaurarsi di un ben sviluppato carsismo. In tal senso i fenomeni carsici e di fratturazione sono talmente numerosi ed importanti che la circolazione idrica superficiale è presente solo in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi.
- ALTA PIANURA;** tale unità (compresa fra i monti Lessini a nord, le colline moreniche dell'anfiteatro gardesano ad ovest e la fascia delle risorgive a sud) rappresenta una delle più cospicue riserve idriche sotterranee del Veneto. L'Alta Pianura è infatti sede di un acquifero freatico indifferenziato con direzione di deflusso approssimativamente Nord Ovest – Sud Est. L'elevata permeabilità e l'omogeneità del sottosuolo permettono l'infiltrazione delle acque superficiali e fanno di questo territorio "area di ricarica" degli acquiferi.
- MEDIO - BASSA PIANURA;** a partire dal limite inferiore della fascia delle risorgive prende inizio il tipico ambiente di bassa pianura caratterizzato da litotipi di natura granulometrica fine e molto fine. Il sottosuolo è costituito da alternanze di orizzonti continui limo - argillosi e strati permeabili sabbiosi o ghiaioso sabbiosi; caratteristica è la

sovrapposizione di *acquiclude* e di falde acquifere in pressione. In questa porzione di territorio prevalgono pertanto depositi a permeabilità medio bassa, utili alla protezione delle acque di qualità profonde.

Fra l'Alta e la Medio - Bassa Pianura, vi è una fascia (detta "*delle risorgive*") ove il livello della superficie freatica interseca la superficie topografica con conseguente venuta a giorno della falda in una serie di fosse o risorgive di origine naturale.

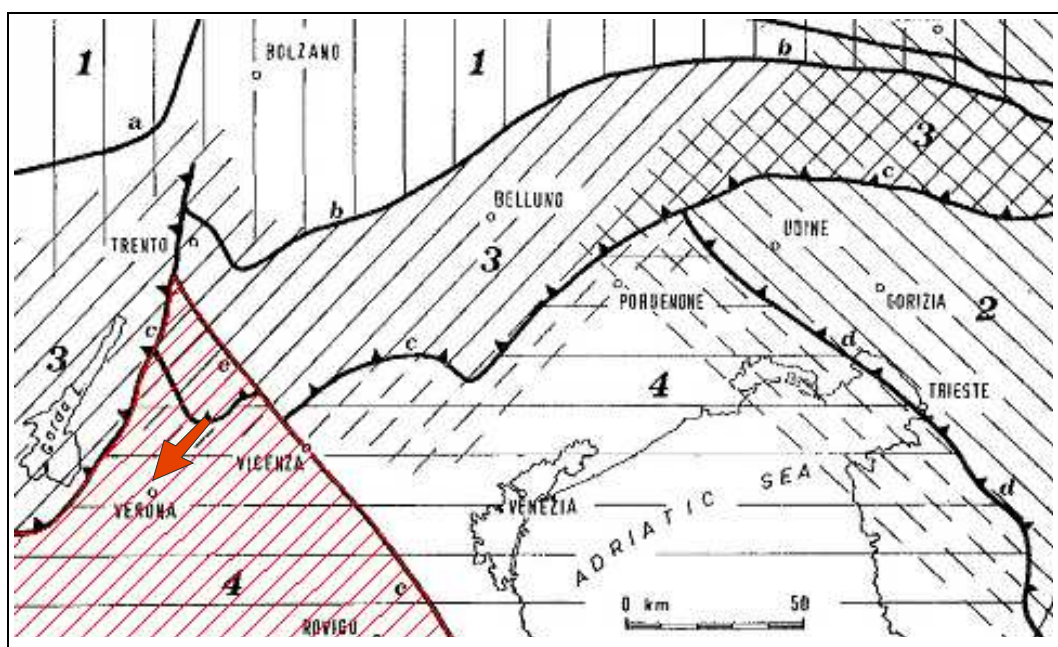
I depositi ghiaioso - sabbiosi che costituiscono il sottosuolo dell'Alta Pianura (nello specifico anche dell'area d'indagine) rappresentano un importante acquifero freatico indifferenziato con direzione di deflusso da NW a SE, che ospita una falda di elevata potenzialità e la cui tavola d'acqua si trova a profondità variabile dal piano campagna in ragione della topografia dei luoghi e del gradiente della falda stessa. In linea generale la profondità della falda diminuisce da nord verso la porzione sud - orientale della città.

4 INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO

Nell'ambito delle "Unità cinematico - strutturali dell'Italia Nord orientale", l'area d'interesse progettuale si colloca nell'"Avampaese sudalpino – appenninico", unità che presenta una crosta con blande ondulazioni e con alti della Moho sia nel settore lessineo sia in quello adriatico (Istria occidentale e alto meso - Adriatico).

L'unità ad occidente è sovrascorsa dai sistemi di embriciatura dell'area "Garda – Trento", mentre ad est la linea "Schio – Vicenza" funge da svincolo trascorrente rispetto alle unità alloctone orientali.

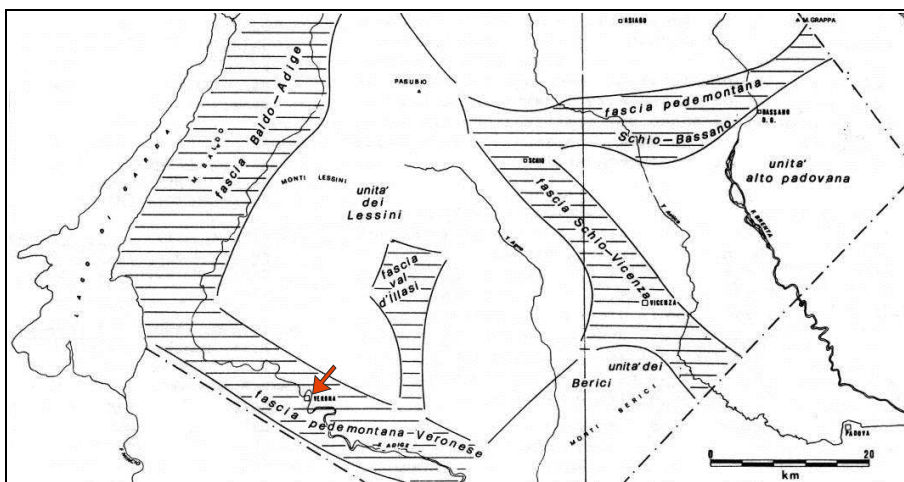
Il settore orientale è caratterizzato da un'avanfossa irregolare e discontinua e da una sensibile mobilità verticale perdurata anche durante il Pleistocene.



Unità cinematico – strutturali dell'Italia Nord Orientale (Slejko ed alii, 1987)

Legenda: 1) Alpi s.s. e settore delle Alpi Meridionali; 2) Dinaridi Esterne; 3) settore meridionale del Sudalpino; 4) avampaese sudalpino – appenninico. Limiti tettonici: a) Lineamento Insubrico separante le Alpi s.s. dalle Alpi Meridionali; b) linea della Valsugana (a occidente) e Linea Fella – Sava (ad oriente); c) fronte del Sudalpino; d) fronte delle Dinaridi Esterne; e) linea Schio – Vicenza.

Nel "Modello sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda e il Monte Grappa" oltre alle Unità Strutturali vengono definite anche le Fasce Sismotettoniche: le prime sono caratterizzate da omogeneità strutturale, attività neotettonica prevalentemente di tipo areale, sismicità ridotta o sparsa; le seconde coincidono in genere con le aree di limite fra le unità strutturali in cui l'attività tettonica è di tipo lineare, quella sismica è concentrata e frequente.



Estratto dal "Modello Sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda e il Monte Grappa" (Panizza et. al. 1981).

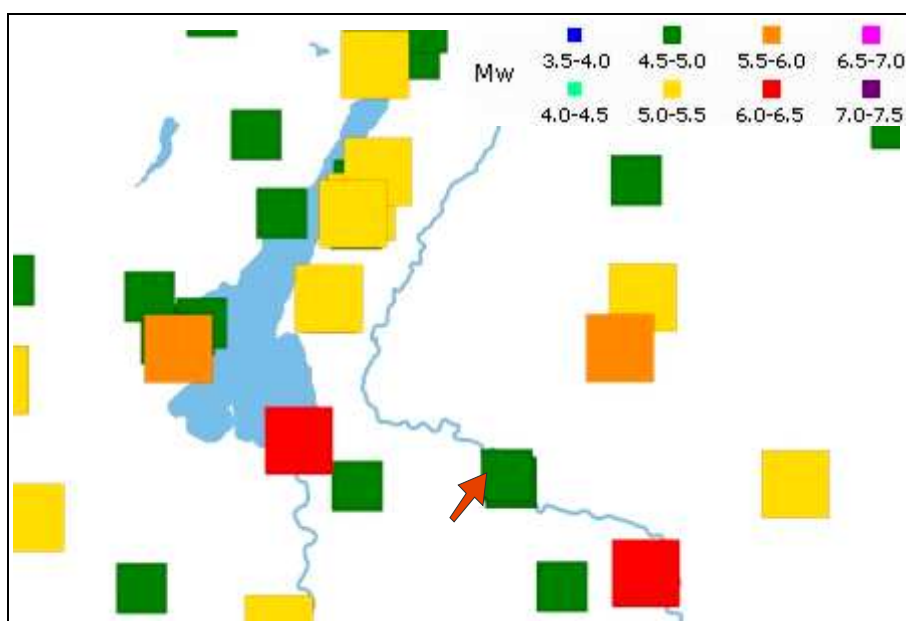
La zona d'indagine ricade nella fascia pedemontana veronese, al margine fra la zona lessinea e l'area della pianura mantovano veronese.

Dal punto di vista neotettonico l'area denuncia sollevamenti e deformazioni non accentuate con blando basculamento verso Sud.

Risultano in attività le faglie dirette.

La sismicità storica è concentrata soprattutto nel settore meridionale dell'area, al passaggio fra i Lessini e la pianura, nonché lungo le valli di Illasi e di Chiampe.

Analizzando il catalogo dei Forti Terremoti d'Italia redatto dall'I.N.G.V. (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), il quale riporta gli epicentri dei terremoti e le magnitudo (M_w), nelle vicinanze del territorio in esame sono stati registrati eventi con Magnitudo " M_w " compresa tra 4.5 e 5.0.



Intensità e magnitudo dei maggiori sismi registrati nella regione.

5 ANALISI DEL PIANO DI ASSETTO DEL TERRITORIO (P.A.T.)

In riferimento alle tematiche inerenti il presente studio, l'analisi del Piano di Assetto del Territorio del Comune di Verona ha evidenziato che nella “*Carta dei Vincoli e della Pianificazione Territoriale*” (Tav. 1) il sito d'indagine ricade nel seguente ambito:

- AREA DI RICARICA DEGLI ACQUIFERI (art. 32) (circostanza che comporta una prevenzione nei riguardi della falda freatica).



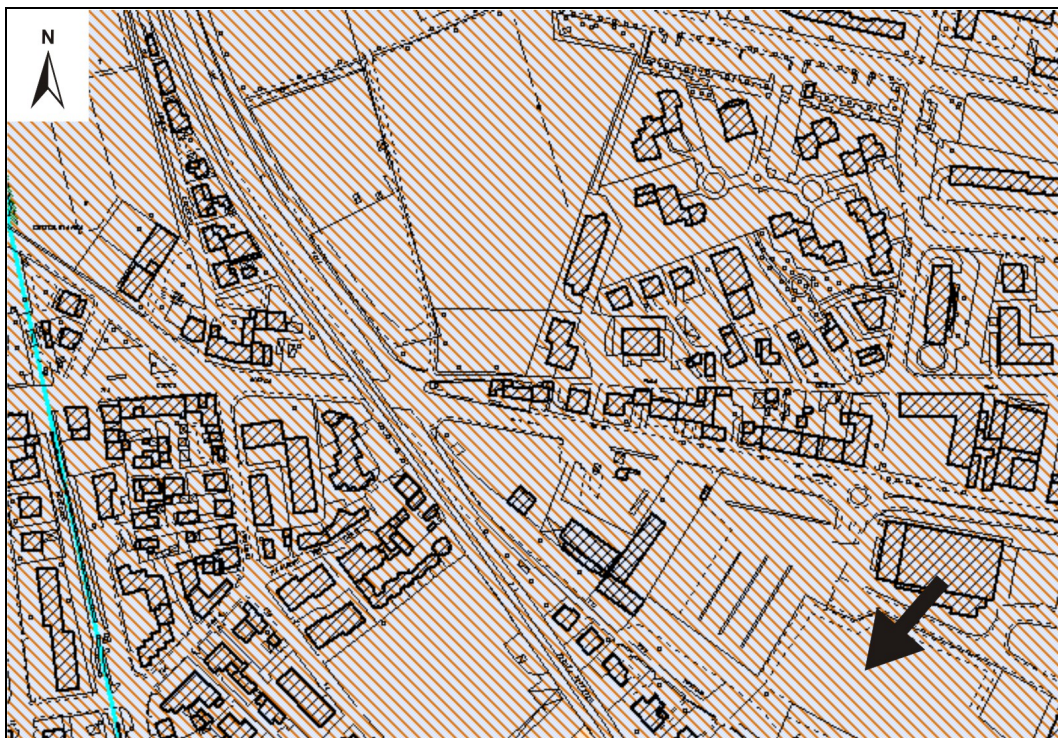
Estratto dalla “*Carta dei Vincoli e della Pianificazione Territoriale*” del P.A.T. di Verona (Tav. 1).

In riferimento alle opere in progetto e nel contesto idrogeologico (descritto in apposita relazione allegata alla presente) in cui queste andranno ad inserirsi, tale ambito non rappresenta un elemento tale da inibirne la realizzazione.

La “*Carta delle Invarianti*” (Tav. 2) nella zona d'interesse progettuale non evidenzia alcun tipo di vincolo legato alla presenza di ambiti territoriali caratterizzati da particolari evidenze ed unicità geologiche.

Nella “*Carta delle Fragilità*” (Tav. 3) il sito ricade nei seguenti ambiti:

- TERRENO OTTIMO SECONDO LE PENALITÀ AI FINI EDIFICATORI (art. 37);
- ZONA A VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI ALTA (UNITÀ “A”) (art. 38).



Estratto dalla "Carta delle Fragilità" del P.A.T. di Verona (Tav. 3)

In relazione alle Norme di Attuazione del P.A.T., all'interno delle aree caratterizzate da *terreno ottimo* (art. 37) non vi è alcun limite all'edificabilità.

Per quanto riguarda l'appartenenza ad ambiti caratterizzati da *vulnerabilità alta degli acquiferi* (art. 38) è necessario verificare la compatibilità di qualsiasi intervento urbanistico ed edilizio con il grado di vulnerabilità; inoltre tutti gli interventi devono rispettare le previsioni del Piano regionale di Tutela delle Acque (P.T.A.) adottato con D.G.R.V. n. 4453 del 29 Dicembre 2004 e successivamente approvato con D.G.R.V. n. 107 del 5 Novembre 2009.

6 CAMPAGNA D'INDAGINE

Allo scopo di definire un modello geologico – geotecnico utile per valutare l’impatto che gli interventi di progetto avranno nel sottosuolo, all’interno dell’area di progetto sono stati rilevati dei dati geologici, geotecnici, idrogeologici e sismici adottando la seguente metodologia d’indagine

acquisizione di informazioni bibliografiche relative all’inquadramento geologico dell’area
sopralluogo nell’area d’indagine e nelle zone circostanti
esecuzione di n. 4 prove sismiche attive con la tecnica della RIFRAZIONE per la determinazione delle velocità delle onde di compressione “Vp”
esecuzione di n. 2 prove sismiche attive con la tecnica MASW per la determinazione delle velocità delle onde di taglio “Vs”
esecuzione n. 2 prove sismiche passive HVSR per analisi dei microtremiti e la determinazione della frequenza di risonanza del sottosuolo
esecuzione di n. 1 sondaggio litostratigrafico a carotaggio continuo sino alla profondità di -35 m dal piano campagna
esecuzione di n. 5 prove penetrometriche dinamiche SPT all’interno del foro del sondaggio litostratigrafico per la determinazione di alcuni parametri di resistenza dei materiali
esecuzione di diverse trincee esplorative superficiali per la verifica qualitativa dei materiali
esecuzione di n. 3 prove di permeabilità in foro a carico variabile all’interno del foro del sondaggio litostratigrafico per la determinazione della permeabilità primaria per porosità
rilevamento del livello piezometrico statico della falda freatica all’interno di un piezometro inserito nel foro del sondaggio litostratigrafico
elaborazione ed analisi dei dati rilevati

La tabella successiva riassume le prove geognostiche eseguite e le profondità d’indagine raggiunta:

<i>Indagine geognostica</i>	<i>n. di prove</i>	<i>Profondità d’indagine</i>
Prove sismiche a Rifrazione	4	4.5 / 23 m
Prove sismiche MASW	2	30 m
Prova sismica HVSR	2	-
Sondaggio Litostratigrafico	1	35 m
Prove Penetrometriche SPT	5	1.5 / 8.5 m
Prove di Permeabilità	3	19 / 28 m
Trincee esplorative	14	1 / 1,5 m

6.1 Prove sismiche a Rifrazione

Le prove sismiche a Rifrazione sono state eseguite per determinare le velocità delle onde di compressione “Vp” che si propagano nel sottosuolo generate da una sorgente energizzante.

Tale tecnica d’indagine consente di caratterizzare la sismo-stratigrafia del sottosuolo, ovvero ricostruire un profilo di rigidezza dei materiali e lo sviluppo laterale delle varie unità sismo-stratigrafiche.

La ricostruzione del modello stratigrafico è bidimensionale.

Inoltre la combinazione dei parametri “Vp” e “Vs” (onde di taglio di seguito descritte) ha consentito di calcolare dei parametri geotecnici sismici utili per la parametrizzazione elasto-dinamica del sottosuolo.

La tecnica d’indagine si basa sul principio fisico della rifrazione e riflessione che avviene nel sottosuolo quando un’onda meccanica si propaga in materiali con caratteristiche meccaniche differenti.

Durante tale prova in corrispondenza di ricevitori molto sensibili (geofoni) collegati ad un sismografo con uno specifico cavo coassiale, vengono rilevati i tempi di arrivo delle onde meccaniche generate con l’energizzazione del sottosuolo.

I geofoni vengono opportunamente posizionati a delle distanze regolari lungo un allineamento stabilito (stendimento). Le distanze tra i geofoni e la lunghezza dello stendimento sono scelti in funzione della profondità da raggiungere e della definizione stratigrafica che si vuole conseguire.

L’elaborazione dei tempi di arrivo consente di calcolare la velocità media con cui l’onda si propaga nel materiale.

Il risultato del rilievo di campagna è un sismogramma che visualizza i tempi di arrivo delle onde ai singoli geofoni.

L’elaborazione dei dati rilevati è consistita nelle seguenti operazioni:

1. determinazione dei primi tempi di arrivo (“FBP”);
2. calcolo delle dromocrone (curve distanza - tempo);
3. elaborazione con il metodo G.R.M. (Generalized Reciprocal Method) della geometria dei rifrattori (interfaccia in cui si ha il cambiamento delle proprietà elastiche dei materiali) e della sezione sismica.

Le informazioni che si ottengono con questo tipo di prova consentono di verificare una sezione del sottosuolo (modello bidimensionale).

Strumentazione utilizzata e modalità operative:

- sismografo digitale ECHO 12-24 2002 prodotto dalla ditta AMBROGEO S.r.l. caratterizzato da 24 canali di acquisizione digitale con dinamica a 16 bit, velocità di campionamento del segnale 0.131 millisecondi e filtro analogico Low Pass a 50 Hz;

- n. 2 stendimenti con 24 geofoni verticali di frequenza propria 14 Hz; la distanza tra i geofoni è stata 5 m (lunghezza totale del singolo stendimento 115 m);
- n. 3 punti di energizzazione del sottosuolo di cui due esterni allo stendimento alla distanza di 5 m dai geofoni n. 1 e n. 24 e uno centrale tra i geofoni n. 12 e n. 13;
- n. 2 stendimenti con 12 geofoni verticali di frequenza propria 14 Hz; la distanza tra i geofoni è stata 5 m (lunghezza totale del singolo stendimento 60 m);
- n. 3 punti di energizzazione del sottosuolo di cui due esterni allo stendimento alla distanza di 5 m dai geofoni n. 1 e n. 12 e uno centrale tra i geofoni n. 6 e n. 7;
- sorgente energizzante con massa battente da 60 kg installa su una struttura metallica dotata di uno sgancio manuale e con lunghezza di volata di 1 m;
- tempo di acquisizione del segnale 400 millisecondi;
- acquisizione di n. 3 sismogrammi completi per ciascuno stendimento con somma di 2/3 “battute” (tale operazione si è resa necessaria per una migliore qualità del segnale);
- software Itersism 2.2 della ditta Geo&Soft International per l’elaborazione dei dati e la restituzione dei modelli.

6.2 Prove sismiche MASW

Le prove sismiche MASW hanno avuto lo scopo di determinare le velocità di propagazione nel sottosuolo delle onde meccaniche di taglio “Vs” generate da una sorgente energizzante.

La disponibilità del parametro “Vs” ha consentito di calcolare la “Vs30” (velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità) per la classificazione sismica del sottosuolo (così come raccomandato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018), verificare indirettamente la consistenza dei materiali e determinare il modulo di taglio dinamico (o rigidità) “G_{max}”.

Inoltre come precedentemente accennato la combinazione dei parametri “Vp” e “Vs” ha consentito di calcolare dei parametri geotecnici sismici utili per la parametrizzazione elasto-dinamica del sottosuolo.

La tecnica utilizzata per l’acquisizione delle onde “Vs” è attiva tipo MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves).

La tecnica MASW si basa sul fenomeno della “dispersione” delle onde superficiali, nella fattispecie onde di Rayleigh (hanno vibrazioni con un movimento complesso ellittico retrogrado con asse maggiore verticale), che avviene nei mezzi stratificati o eterogenei.

Il fenomeno della dispersione, ovvero la variazione della velocità di fase delle onde sismiche in funzione della frequenza e lunghezza d’onda, avviene a seguito della capacità d’investigare differenti profondità del sottosuolo in funzione delle lunghezze d’onda generate.

I parametri che condizionano le onde di Rayleigh sono: onde “Vs”, spessore del mezzo e in misura minore densità e onde “Vp”.

Le velocità delle onde di Rayleigh corrispondono circa alla velocità delle “Vs” (0.94 Vs).

L'esecuzione della prova MASW consiste nell'acquisire mediante un sismografo i tempi di arrivo ai geofoni delle onde meccaniche prodotte con l'energizzazione del sottosuolo. L'energizzazione del sottosuolo (battuta), ovvero la sorgente impulsiva in grado di produrre onde meccaniche con frequenze diverse, viene eseguita ad un'estremità dell'allineamento dei geofoni.

Il risultato del rilievo di campagna è un sismogramma che visualizza i tempi di arrivo.

Le fasi di elaborazione sono essenzialmente due:

1. elaborazione dello "spettro di velocità" (velocità di fase delle onde in funzione della loro frequenza; lo spettro rappresenta un'elaborazione oggettiva del segnale registrato) e determinazione della "curva di dispersione sperimentale" (rappresenta un'elaborazione soggettiva delle densità spettrali);
2. "inversione" della curva di dispersione mediante calcolo automatico con utilizzo di un algoritmo euristico per la definizione del modello sismico, ovvero spessore dei sismostrati e velocità delle onde Vs; la modellazione numerica della curva di dispersione prevede che alla base del modello sia posto un semispazio di spessore infinito.

Il risultato finale dell'elaborazione è il profilo verticale (centrale allo stendimento) delle velocità delle onde di taglio "Vs" in funzione della profondità.

Strumentazione utilizzata e modalità operative:

- sismografo digitale ECHO 12-24 2002 prodotto dalla ditta AMBROGEO S.r.l. caratterizzato da 24 canali di acquisizione digitale con dinamica a 16 bit, velocità di campionamento del segnale 0.131 millisecondi e filtro analogico Low Pass a 50 Hz;
- n. 1 stendimento con 24 geofoni verticali di frequenza propria 4.5 Hz; la distanza tra i geofoni è stata 1 m (lunghezza totale dello stendimento 23 m);
- n. 5 punti di energizzazione del sottosuolo in sequenza ed esterni allo stendimento, alla distanza di 1, 2, 3, 4, 5 m dal geofono n. 1;
- sismografo digitale multicanale Soilspy Rosina, prodotto dalla ditta Moho S.r.l. di Marghera, con frequenza di campionamento massima 32 kHz, conversione 24 bit, durata di registrazione illimitata, dinamica 142 dB;
- software Soilspy Rosina ver. 4.2.2 per l'impostazione dei parametri d'acquisizione, visualizzazione dei tracciati e analisi preliminari;
- n. 1 stendimento con 17 geofoni verticali modello Geospace di frequenza propria 4.5 Hz; la distanza tra i geofoni è stata 3 m (lunghezza totale dello stendimento 48 m);
- n. 3 punti di energizzazione del sottosuolo in sequenza ed esterni allo stendimento, alla distanza di 3, 6, 9 m dal geofono n. 1;
- sorgente energizzante con massa battente da 10 kg;
- tempo di acquisizione del segnale 1000 millisecondi;
- software EasyMasw 2023.28.6.1000 della ditta Geostru S.r.l. per l'elaborazione dei dati sismici (il programma restituisce lo spettro di velocità, il modello sperimentale medio della

“curva di dispersione” ed il profilo verticale della V_s avente i minori valori di errore percentuale e di disadattamento della “curva di dispersione teorica”).

Le informazioni contenute in ciascun elaborato sono:

- a) migliore sismogramma rilevato in sito,
- b) spettro delle velocità di fase delle onde di Rayleigh nel dominio trasformato “frequenze – velocità”,
- c) profilo verticale delle velocità V_s centrale allo stendimento,
- d) schema dei sismo-strati e descrizione di alcuni parametri geotecnici (densità, $G_{\max}$).

6.3 Prove sismiche HVSR

Le prove sismiche passive a stazione singola con metodologia H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) (o H/V) sono state eseguite per le seguenti finalità:

- rilevare le frequenze di vibrazione del sottosuolo in campo dinamico,
- rilevare la profondità dei contrasti d’impedenza sismica più significativi tra i materiali costituenti il sottosuolo.

La tecnica di analisi sismica H.V.S.R. consente di ottenere informazioni sulla caratterizzazione dinamica del sottosuolo sino a grande profondità e ciò è possibile utilizzando opportuni codici di calcolo relativi ai rapporti spettrali tra le componenti verticali ed orizzontali del moto sismico acquisite durante la registrazione (onde di Rayleigh, Love, ecc.).

Nello specifico sono state valutate le frequenze amplificate della funzione H/V vincolate con i dati stratigrafici e le velocità V_s rilevate con la prova Masw.

La tecnica d’indagine H/V consente di indicare l’autofrequenza verticale locale sensibile alle variazioni stratigrafiche. L’analisi è puntuale (1D), pertanto più prove consentono di verificare la continuità areale della risposta sismica.

La prova è stata eseguita con un sismometro digitale (o tromografo) che consente l’acquisizione e la registrazione del “rumore sismico ambientale” (microtremore), ossia vibrazioni nel terreno generate da sorgenti non controllate che provocano piccolissimi spostamenti e sono rilevabili in qualsiasi punto della superficie terrestre.

L’intervallo di frequenze che si può acquisire è molto ampio $<0.5 \text{ Hz} \div >10 \text{ Hz}$.

L’apparecchio utilizzato (nome commerciale “Tromino”) è portatile e dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticali (Up – Down).

Una buona acquisizione del segnale deve essere:

- sufficientemente lunga,
- il segnale sismico deve essere multidirezionale e multifrequenziale,

- lo strumento deve essere saldamente ancorato al terreno.

La presenza di sorgenti dominanti o il cattivo posizionamento dello strumento possono creare degli anomali rapporti H/V.

La qualità delle misure si basa su tre considerazioni:

- il risultato deve essere rappresentativo delle caratteristiche medie del campo di vibrazioni ambientali;
- non devono esistere sorgenti dominanti;
- non devono essere presenti disturbi non associati alle caratteristiche del campo di vibrazioni ambientali.

Operativamente sono state effettuate due acquisizioni del rumore sismico ambientale della durata di 20 minuti, con frequenza di campionamento 128 Hz, mentre l'elaborazione dei dati è stata eseguita con il software Grilla ver. 2023.9.8.5 in dotazione al Tromino.

Gli elaborati grafici inseriti in allegato per ciascuna prova riportano le seguenti informazioni:

- a) grafico del rapporto spettrale H/V;
- b) serie temporale e direzionalità del segnale registrato;
- c) spettri delle singole componenti E-W, N-S, Up-Down (l'analisi congiunta degli spettri delle singole componenti e del grafico del rapporto spettrale H/V ha consentito di determinare la/le frequenze di risonanza stratigrafica);
- d) tabella di sintesi dei criteri SESAME 2005 (criteri internazionali che consentono di valutare la qualità e la consistenza del segnale registrato).

6.4 Sondaggio Litostratigrafico

Il sondaggio litostratigrafico è stato eseguito con la tecnica del carotaggio continuo sino alla profondità di 35 m dal piano campagna e si è reso necessario per riconoscere direttamente le litologie caratterizzanti il sottosuolo.

Durante la perforazione, a delle quote stabilite, nel fondo foro sono state eseguite delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Il sondaggio è stato eseguito con un sistema d'avanzamento a rotazione con l'utilizzo di acqua e un carotiere "semplice" di diametro 101 mm e lunghezza 3 m.

Il foro di sondaggio è stato rivestito con delle "camice" metalliche di diametro 147 mm.

La strumentazione utilizzata è idraulica ed installata su un camion IVECO Trakker.

La sonda di perforazione è una Fraste FS-200 con coppia torcente da 1200 kg/m.

Le terre campionate durante il sondaggio sono state alloggiate in apposite cassette catalogatrici.

Le foto presenti in allegato sono relative a ciascuna cassetta contenente 5 m di sondaggio.

Terminato il sondaggio si è provveduto al riconoscimento litologico macroscopico con delle speditive prove di consistenza dei materiali.

La scheda allegata descrive la litostratigrafia rilevata e riporta le seguenti informazioni:

- a) profondità e spessore dei livelli rilevati;
- b) descrizione litologica;
- c) grafia rappresentativa di ciascun litotipo;
- d) valore medio della resistenza del Pocke Penetrometer e del Vane Test;
- e) numero dei colpi durante la prova SPT;
- f) eventuali note.

6.5 Prove Penetrometriche dinamiche SPT

Le prove penetrometriche dinamiche SPT consentono di determinare la resistenza che un terreno offre alla penetrazione di un campionatore, o punta conica, infisso a partire dal fondo foro di sondaggio.

La resistenza è in funzione delle caratteristiche meccaniche del terreno.

La prova consiste nel far cadere un maglio, di peso standard, su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste, alla cui estremità inferiore è avvitato un campionatore o punta conica.

Durante la prova è stato misurato il numero di colpi (N_p) necessari alla penetrazione di 3 tratti di 15 cm ciascuno.

Il valore N_{spt} relativo alla penetrazione di un tratto di 30 cm (normalizzato in funzione delle caratteristiche del sistema d'acquisizione) rappresenta l'indice della resistenza del terreno alla penetrazione dinamica ed è posto in correlazione con i principali parametri geotecnici che ne definiscono lo stato di addensamento – consistenza.

Lo strumento utilizzato ha le seguenti caratteristiche tecniche:

- peso del maglio 63 kg;
- volata del maglio 76 cm;
- punta conica di diametro 5.1 cm;
- angolo della punta 60°;
- aste di raccordo lunghe 3 m;
- dispositivo di sgancio automatico.

6.6 Analisi dei risultati

L'immagine successiva riporta la posizione delle prove eseguite.

- RF1 geofono n.1 angolo nord est, geofono n.24 angolo sud ovest (interasse 5 m)
- RF2 geofono n.1 angolo sud est, geofono n.24 angolo nord ovest (interasse 5 m)
- RF3 geofono n.1 lato sud, geofono n.12 lato nord (interasse 5 m)
- RF4 geofono n.1 lato sud, geofono n.12 lato nord (interasse 5 m)
- Mw1 geofono n.1 lato sud, geofono n.24 lato nord (interasse 1 m)
- Mw2 geofono n.1 lato nord, geofono n.17 lato sud (interasse 3 m)
- S1 centrale area d'indagine

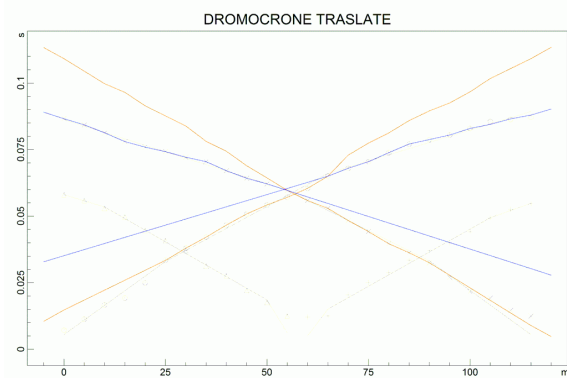
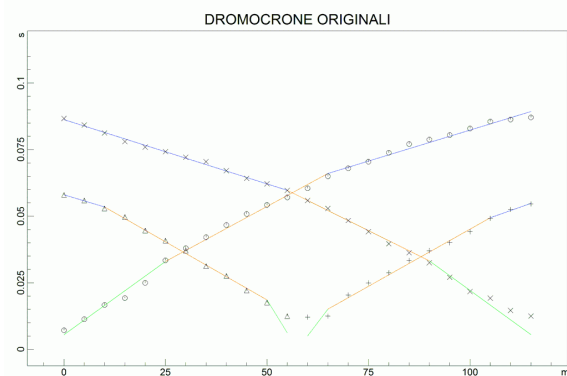
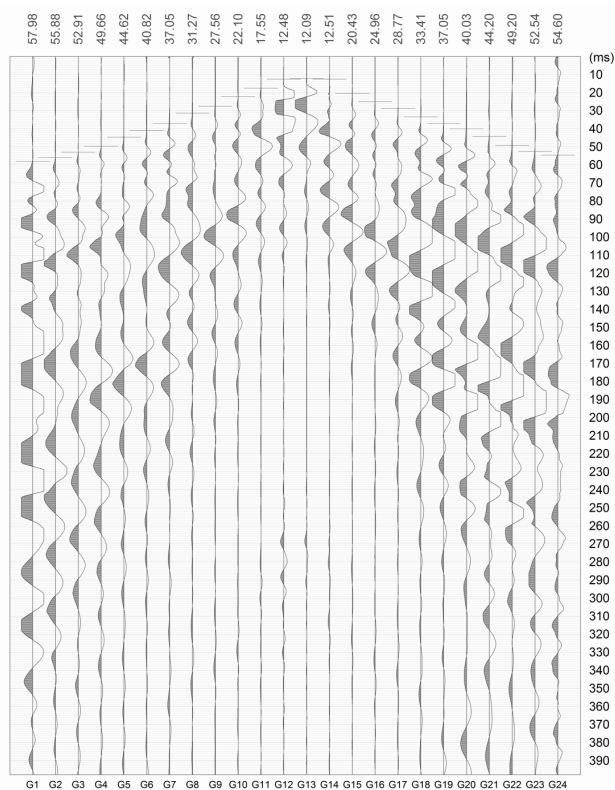
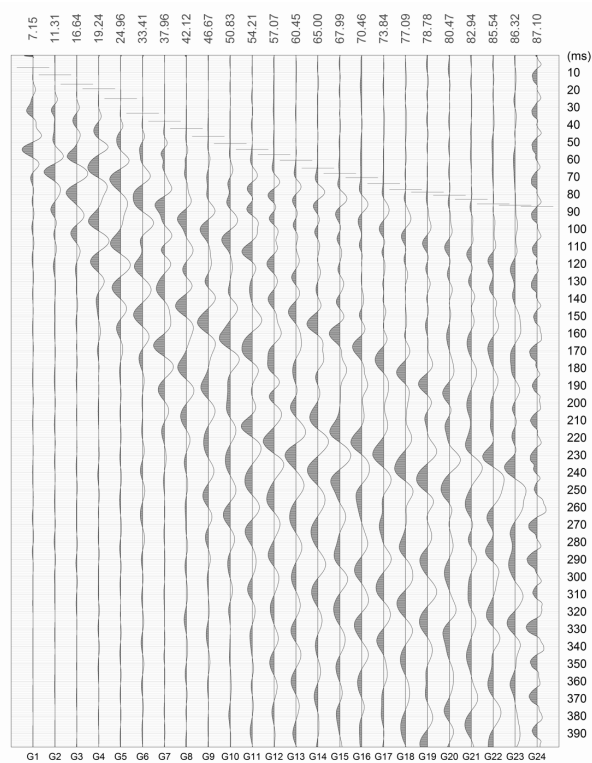
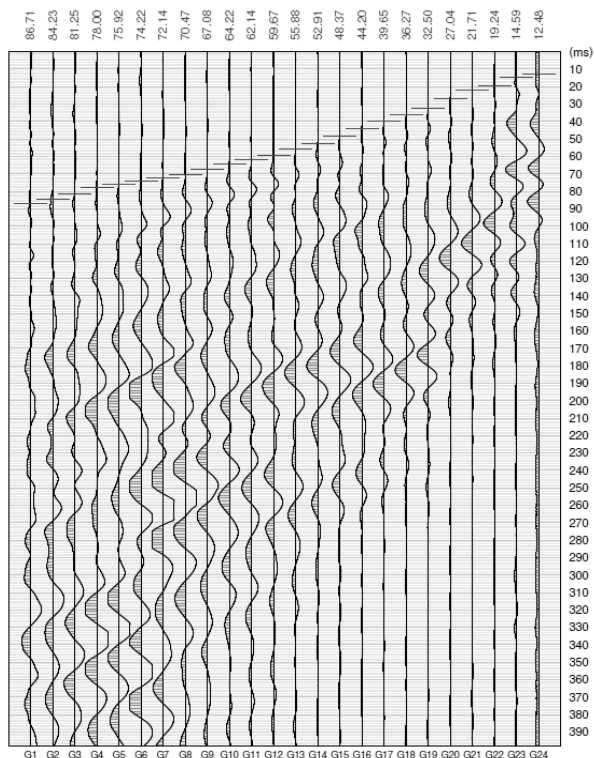


Posizione delle indagini geognostiche (base estratta dalle mappe di Google Maps)

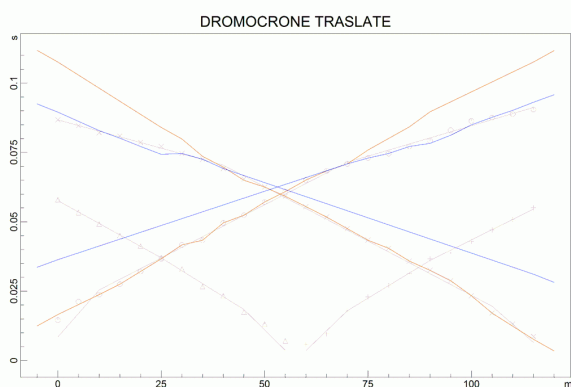
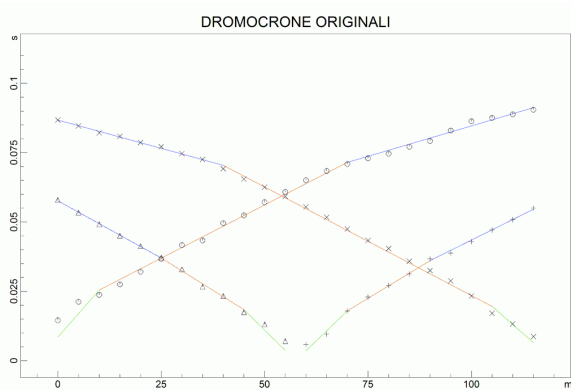
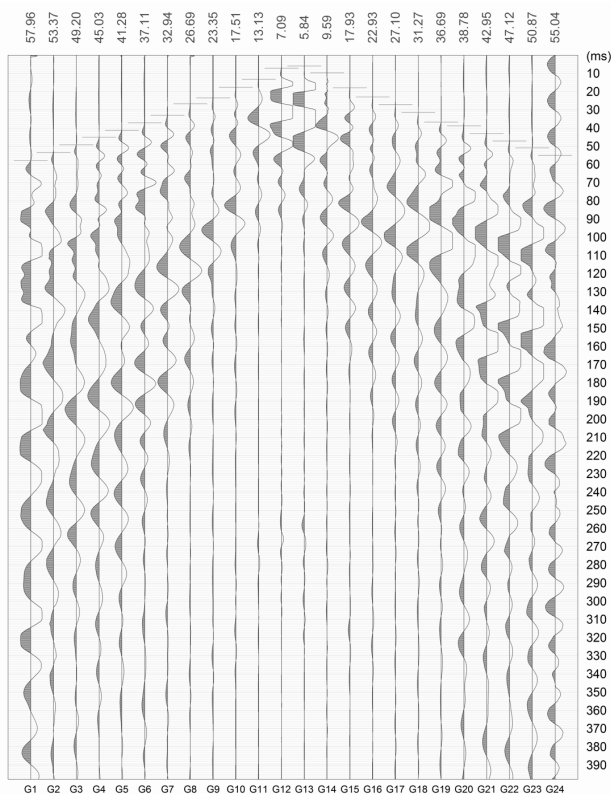
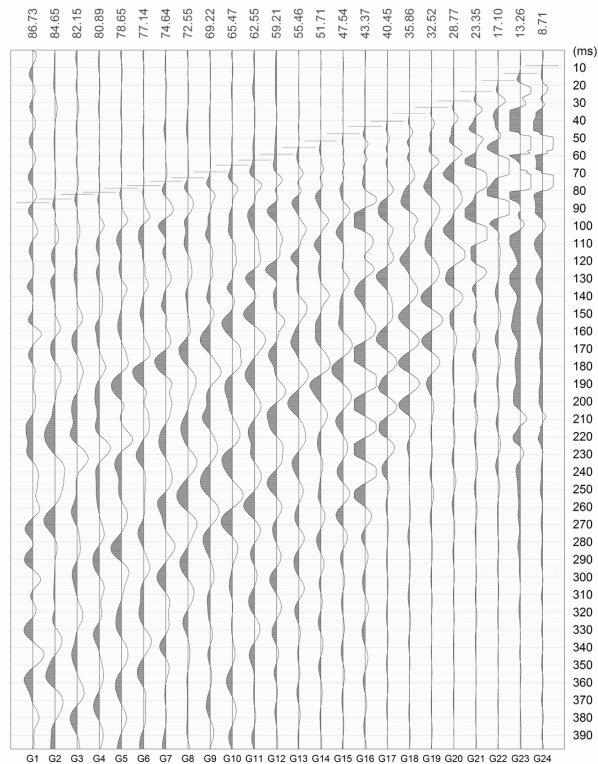
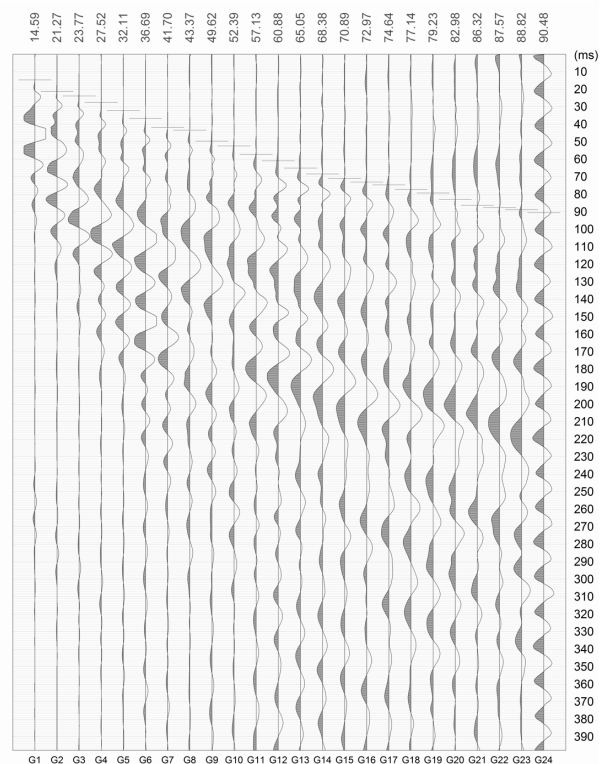
SISMICA A RIFRAZIONE

I successivi elaborati riportano per ciascuno stendimento i sismogrammi delle tre “energizzazioni” e il grafico delle dromocrone (curve distanza – tempo).

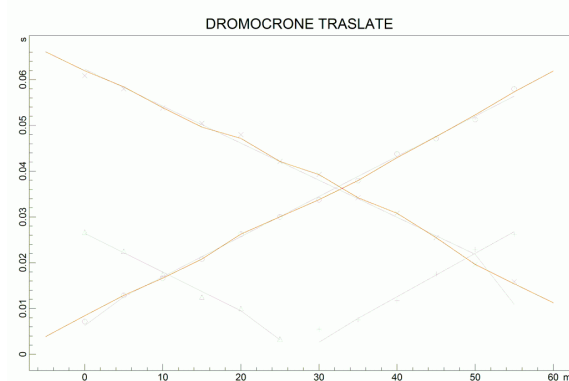
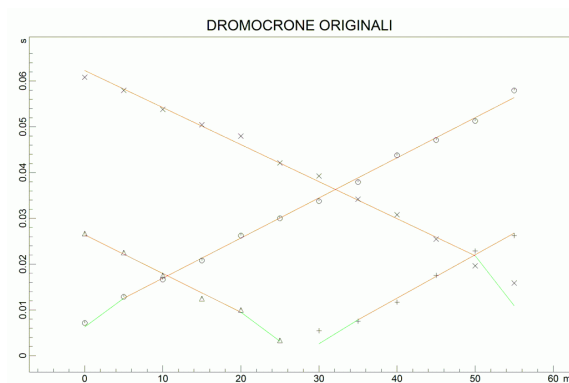
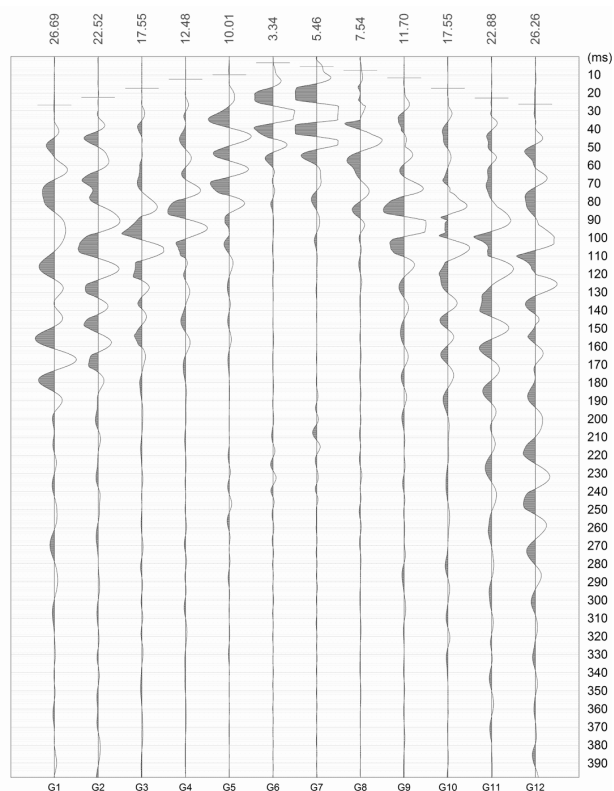
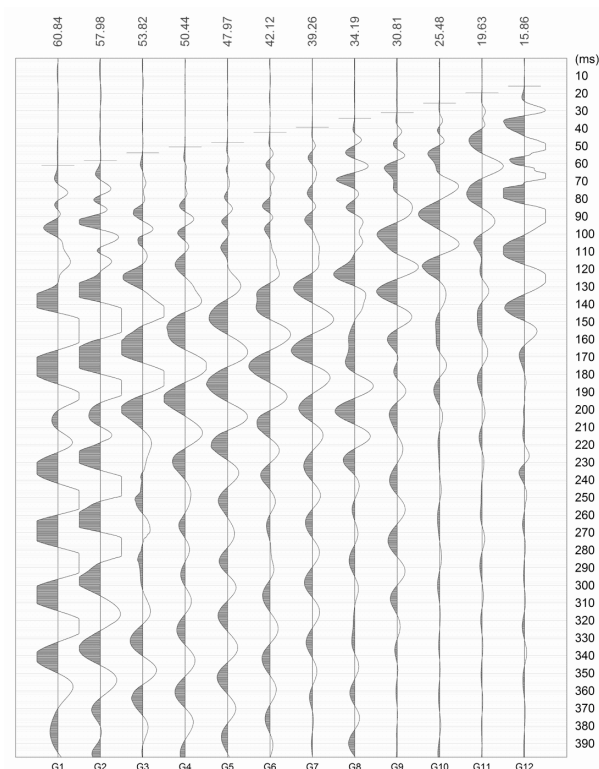
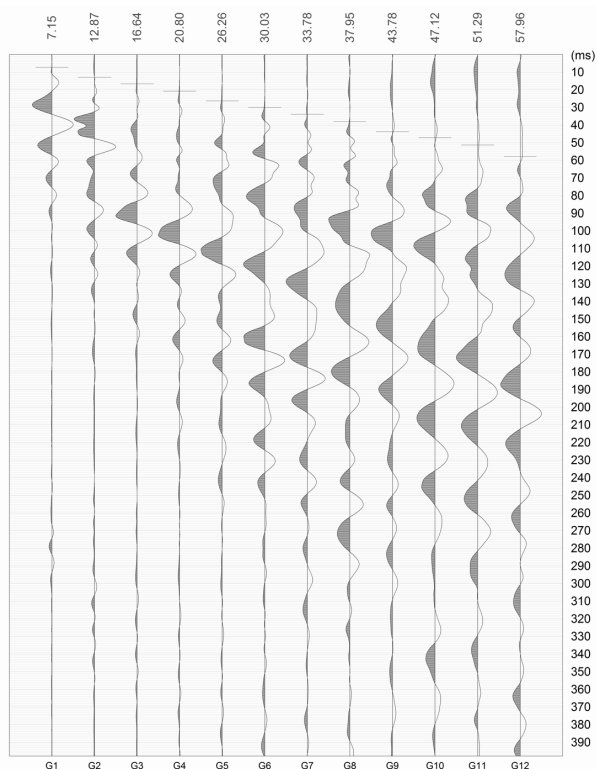
STENDIMENTO RF1



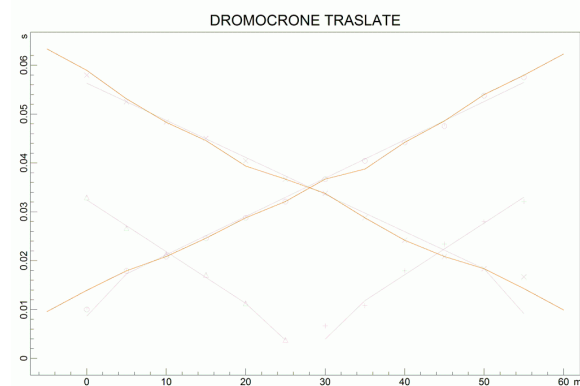
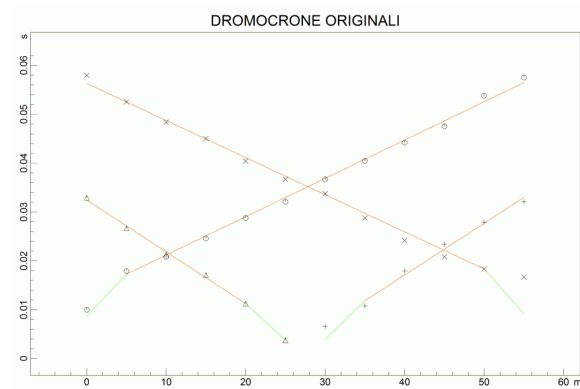
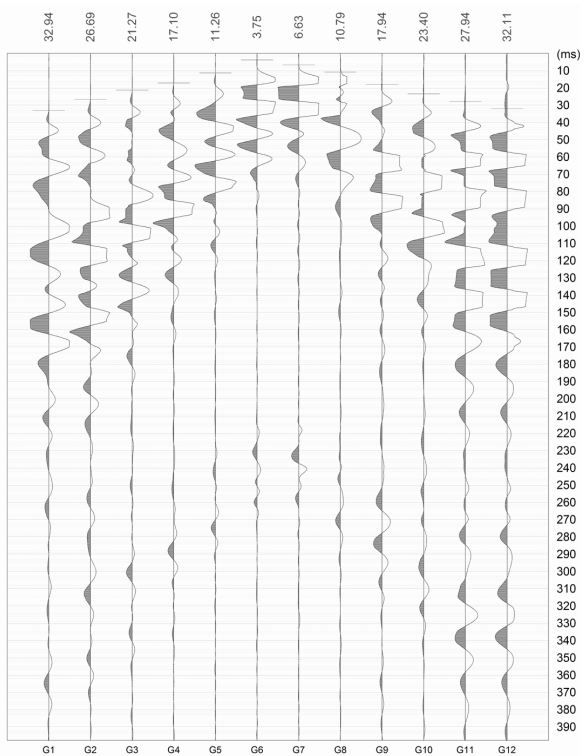
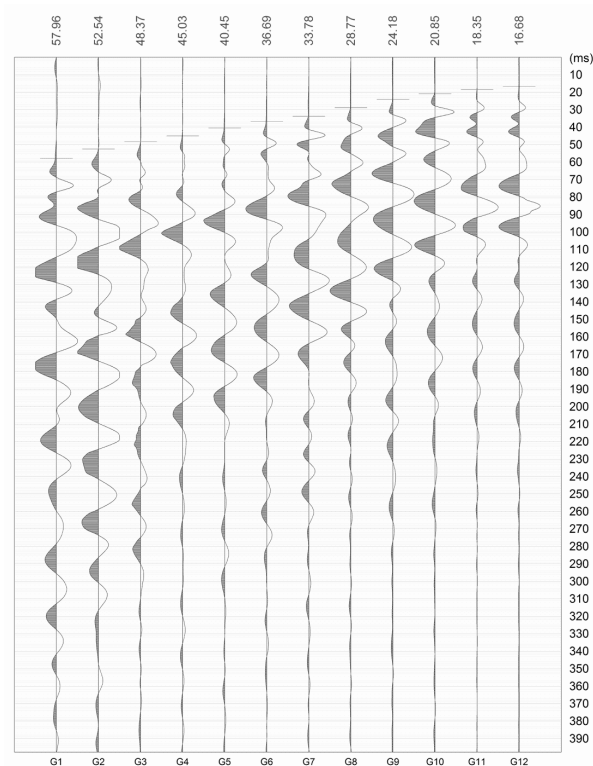
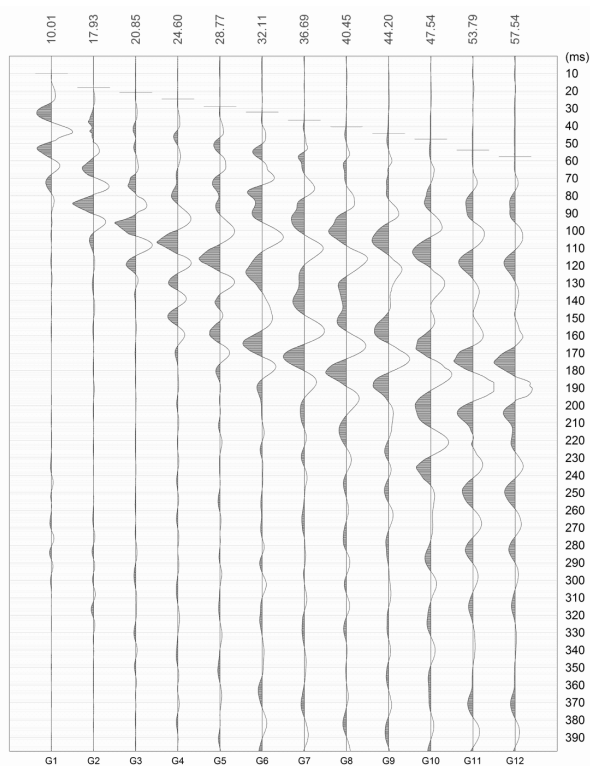
STENDIMENTO RF2



STENDIMENTO RF3



STENDIMENTO RF4



L'analisi dei sismogrammi dimostra una buona qualità del segnale acquisito, in cui i primi tempi di arrivo a ciascun geofono sono ben visibili.

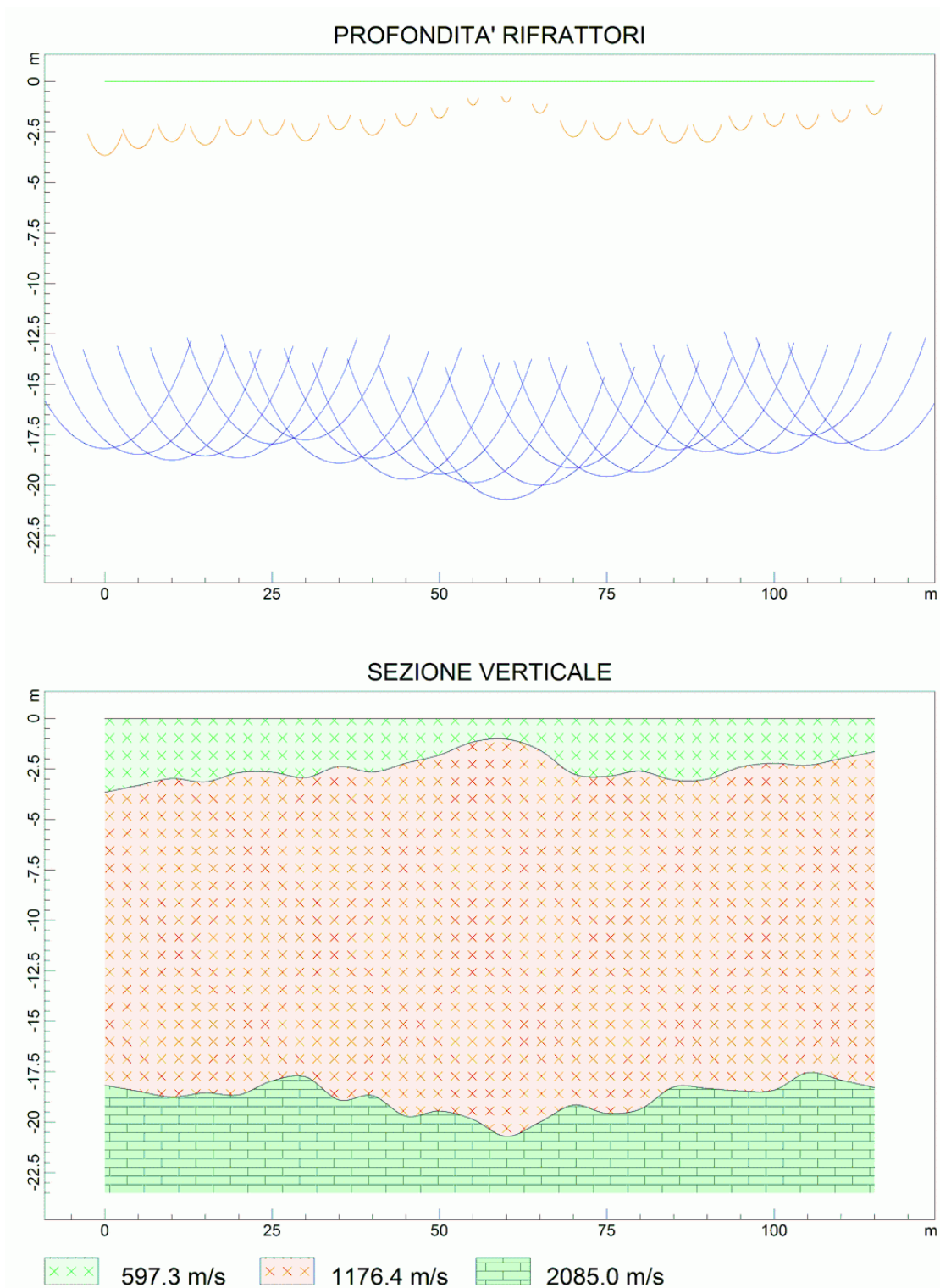
Le dromocrone degli stendimenti n. 1 e n. 2 consentono di riconoscere la presenza di tre rifrattori che determinano un sensibile cambio di pendenza delle curve “distanza – tempo”, mentre la lunghezza ridotta degli stendimenti n. 3 e n. 4 consente il riconoscimento di solo due rifrattori.

I tempi e le profondità dei rifrattori rilevati nei quattro stendimenti sono inseriti nelle tabelle allegate cui si rimanda per una lettura puntuale.

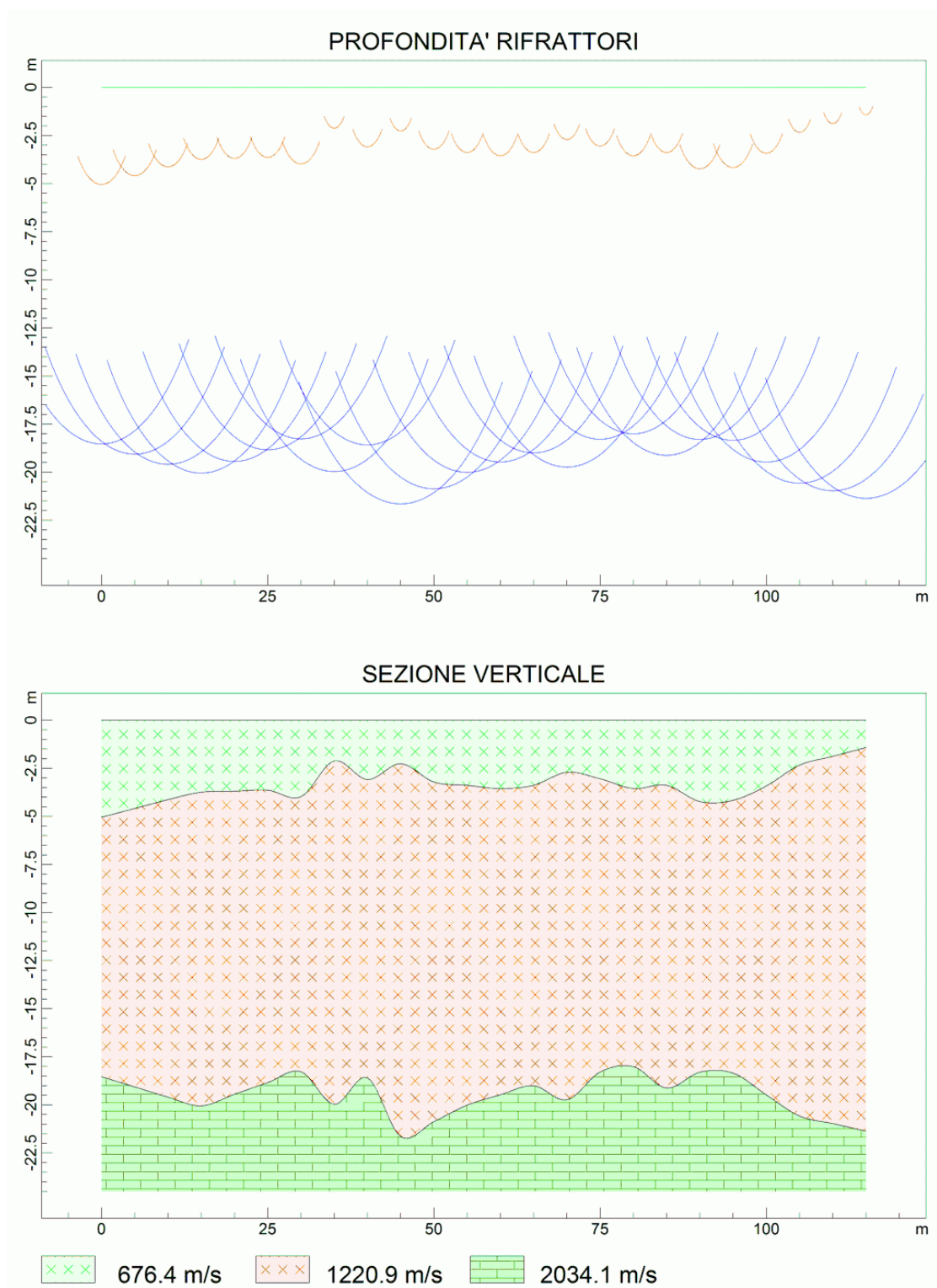
Le sezioni sismiche bidimensionali ottenute dall'elaborazione delle curve “distanza – tempo” sono di seguito riportate e per ciascuno stendimento si possono valutare le profondità dei rifrattori e le velocità medie dei sismo-strati.

Complessivamente sono evidenti 3 sismo-strati con velocità V_p crescenti in profondità e variabili da circa 600 m/s a circa 1200 m/s e a seguire circa 2100 m/s.

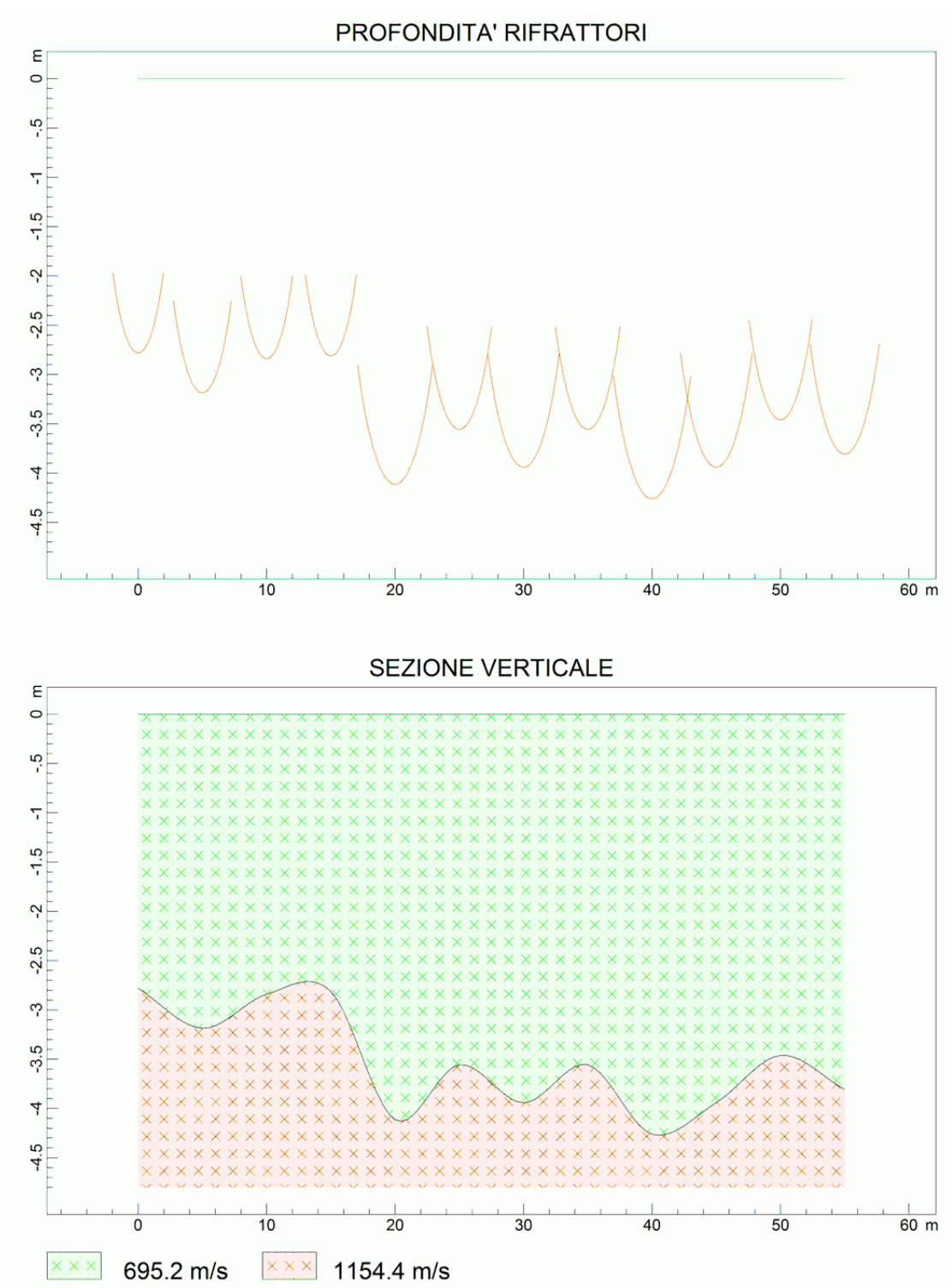
STENDIMENTO RF1



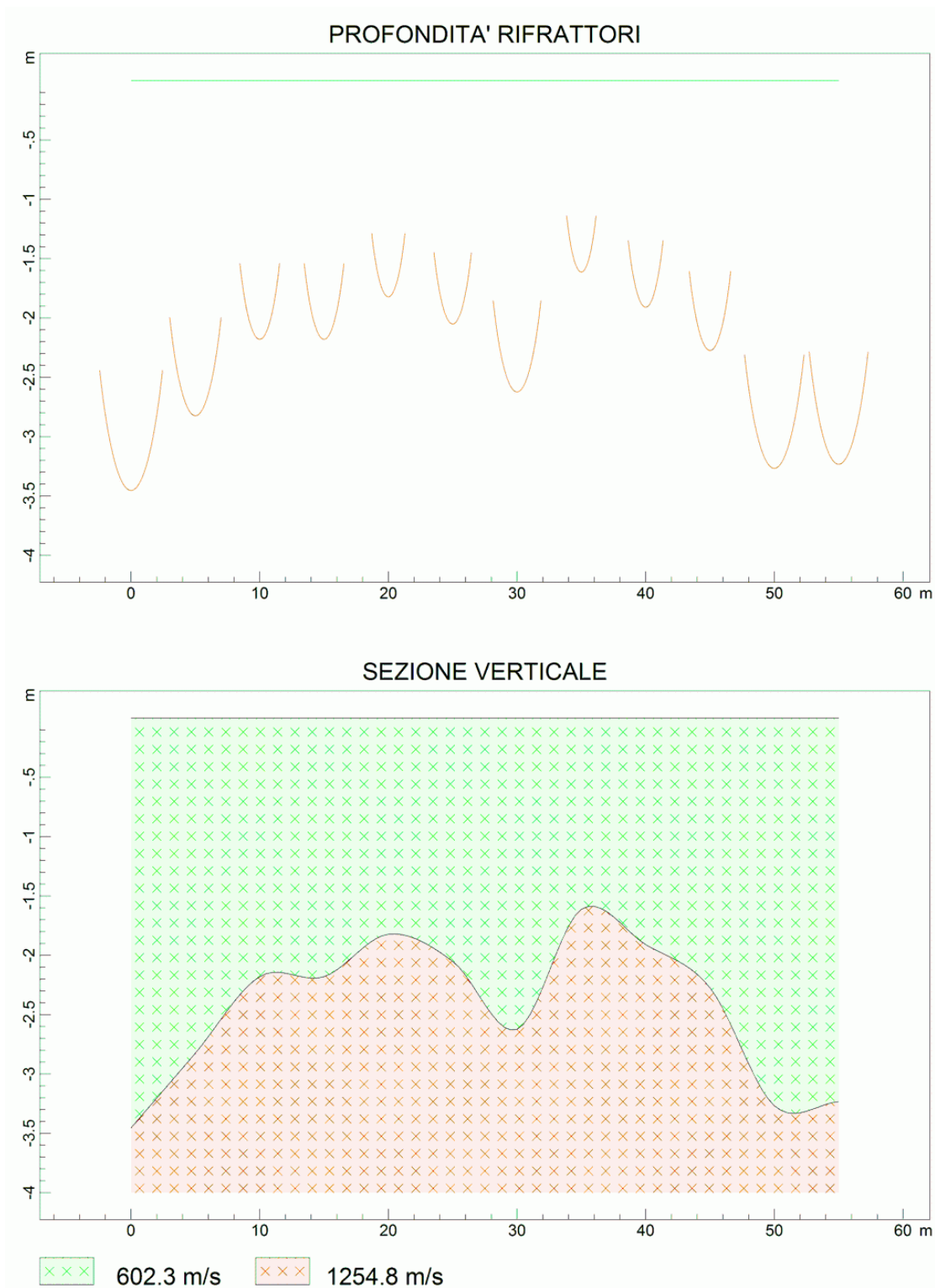
STENDIMENTO RF2



STENDIMENTO RF3

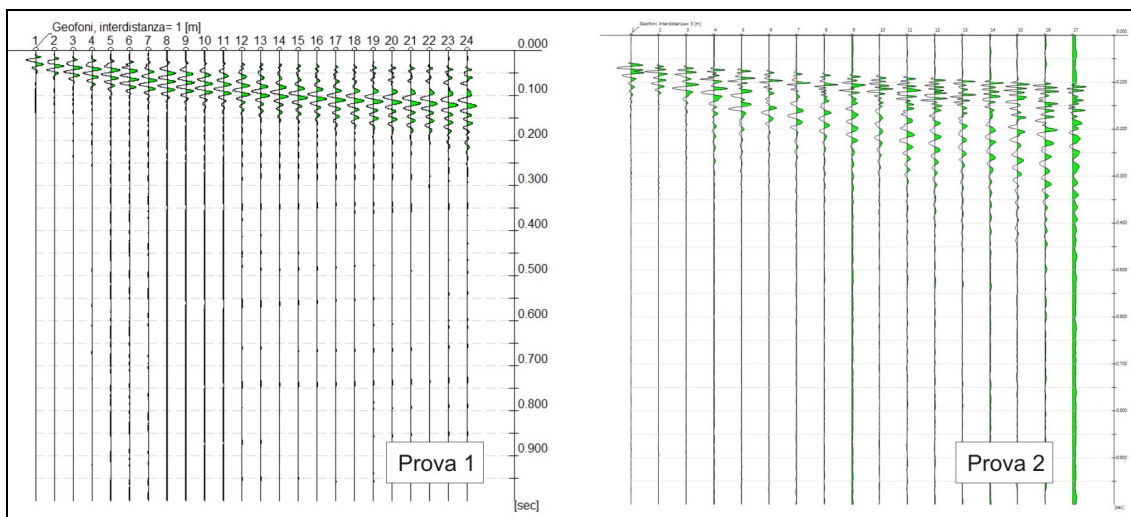


STENDIMENTO RF4



PROVE SISMICHE MASW

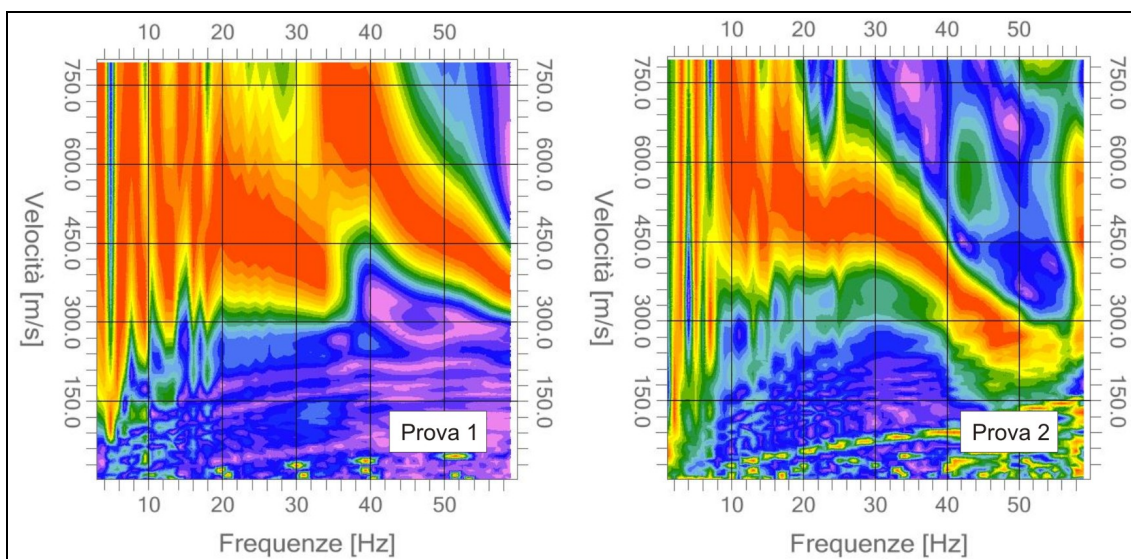
Le immagini che seguono rappresentano i migliori **sismogrammi** acquisiti in sito e consentono di verificare che tutte le componenti del segnale sismico sono state rilevate nel tempo d'acquisizione (1 secondo).



Le immagini successive rappresentano gli **spettri delle velocità di fase** delle onde di Rayleigh nel dominio trasformato “frequenza – velocità” e consentono di valutare le proprietà dispersive del segnale registrato.

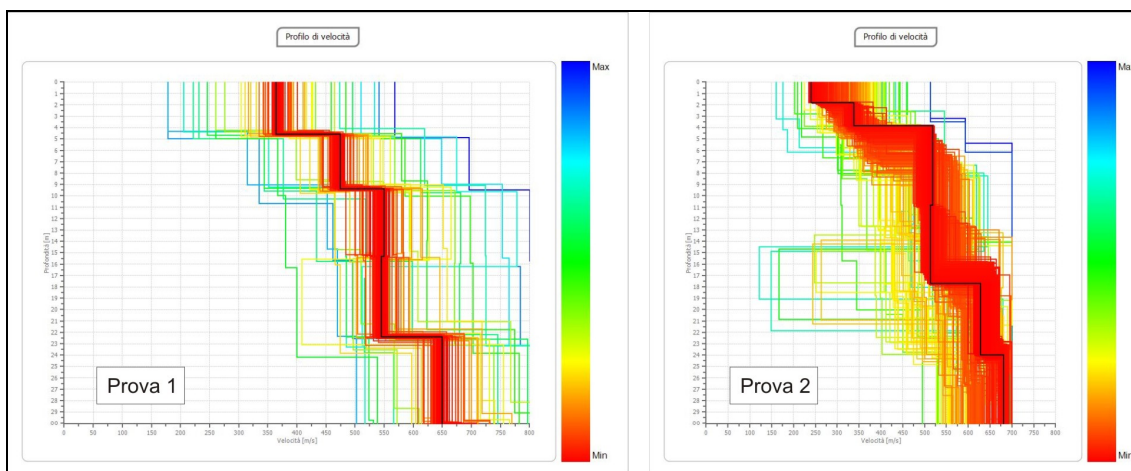
Le tonalità rosse corrispondono ai massimi di energia spettrale associati alle varie frequenze di vibrazione.

Nella fase di elaborazione a ciascuno spettro è stata sovrapposta la Curva di Dispersione Sperimentale del Modo Fondamentale di vibrazione che ha consentito di elaborare il modello sismo-stratigrafico.



Il processo d'inversione della curva sperimentale del Modo Fondamentale di vibrazione, ossia la procedura analitica numerica che associa il profilo di velocità ad una specifica sequenza sismo-stratigrafica in funzione di una Curva Teorica del Modo Fondamentale sovrapponibile alla Sperimentale, ha permesso di ottenere il profilo verticale delle velocità "Vs" sino alla quota -30 m dal piano campagna.

Le immagini che seguono riportano tutti i profili delle combinazioni di calcolo eseguite dal software per ottenere il profilo Vs (in nero) con i minori valori di errore percentuale e disadattamento della "curva di dispersione teorica".



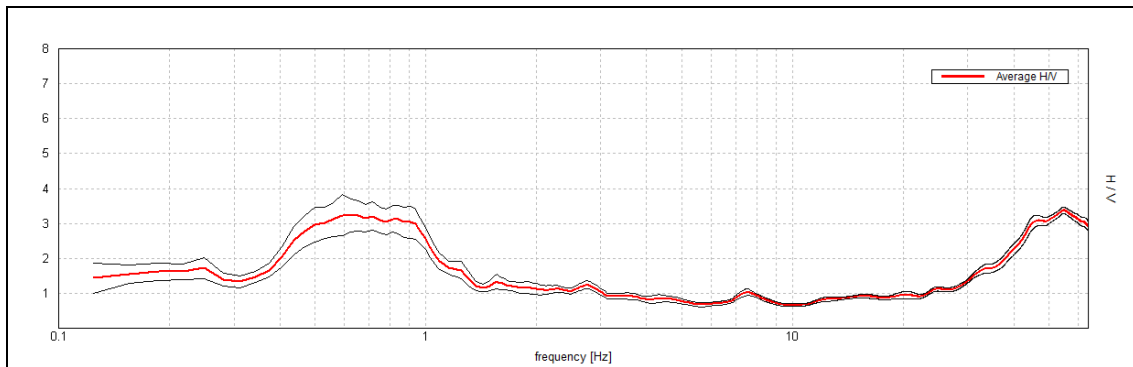
Le inversioni delle Curve di Dispersione Sperimentale ottenute dagli spettri delle velocità di fase delle onde di Raleigh hanno consentito di determinare la presenza di n. 6 sismo-strati con **velocità delle onde "Vs" variabili da circa 240 m/s a circa 680 m/s.**

Il profilo delle velocità è sostanzialmente crescente con la profondità.

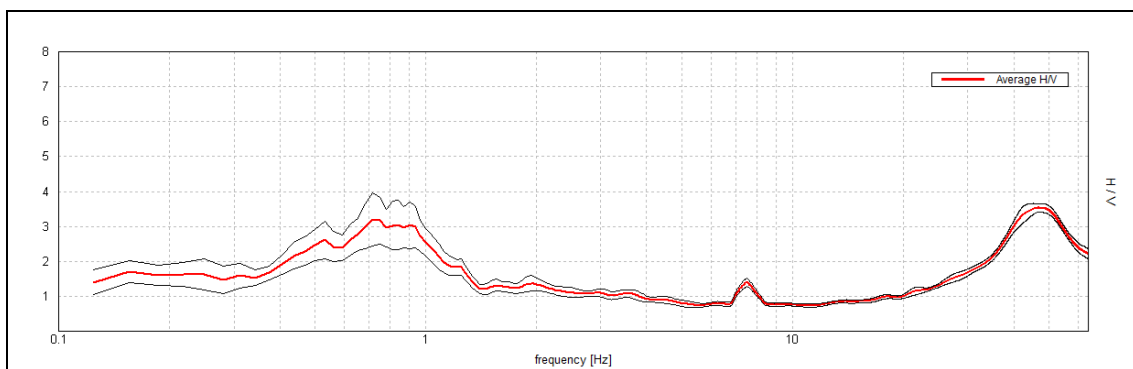
Le velocità si mantengono inferiori a 400 m/s sino alla profondità di circa 5 m, mentre sono superiori a 600 m/s dalla profondità di circa 18 m.

PROVE SISMICHE HVSR

Le elaborazioni dei dati acquisiti nelle prove HVSR hanno consentito di riconoscere delle frequenze amplificate del rapporto spettrale tra le componenti orizzontali H e verticali V del rumore sismico registrato, ciò conseguenti a dei significativi contrasti d'impedenza sismica nel sottosuolo (ovvero picchi del rapporto H/V di origine stratigrafica).



Prova n. 1, grafico delle amplificazioni del rapporto spettrale H/V in funzione della frequenza.



Prova n. 2, grafico delle amplificazioni del rapporto spettrale H/V in funzione della frequenza.

I grafici delle prove 1 e 2 sono sostanzialmente identici e confermano una risposta sismica omogenea del sottosuolo.

Il picco dell'amplificazione del rapporto spettrale H/V è compreso tra le frequenze di circa **0.7 ÷ 0.9 Hz** e rappresentano le **frequenze di risonanza del sito**.

In funzione della velocità media delle onde di taglio V_s , la profondità orientativa che ha generato l'elevato contrasto d'impedenza sismica è ≥ 160 m.

PROVE PENEROMETRICHE SPT

I dati acquisti sono riportati nell'allegata scheda litostratigrafica alla loro profondità di prova. La tabella successiva descrive quanto rilevato

<i>Prof. SPT (m)</i>	<i>Np</i>	<i>Litologia</i>
1.5	30 42 45	Ghiaia e ciottoli eterometrici in matrice sabbiosa
2.5	35 47 50	Ghiaia e ciottoli eterometrici in matrice sabbiosa
5.0	31 38 50	Ghiaia e ciottoli eterometrici in matrice sabbiosa
6.5	42 46 50	Ghiaia e ciottoli eterometrici in matrice sabbiosa
8.5	32 39 50	Ghiaia e ciottoli eterometrici in matrice sabbiosa

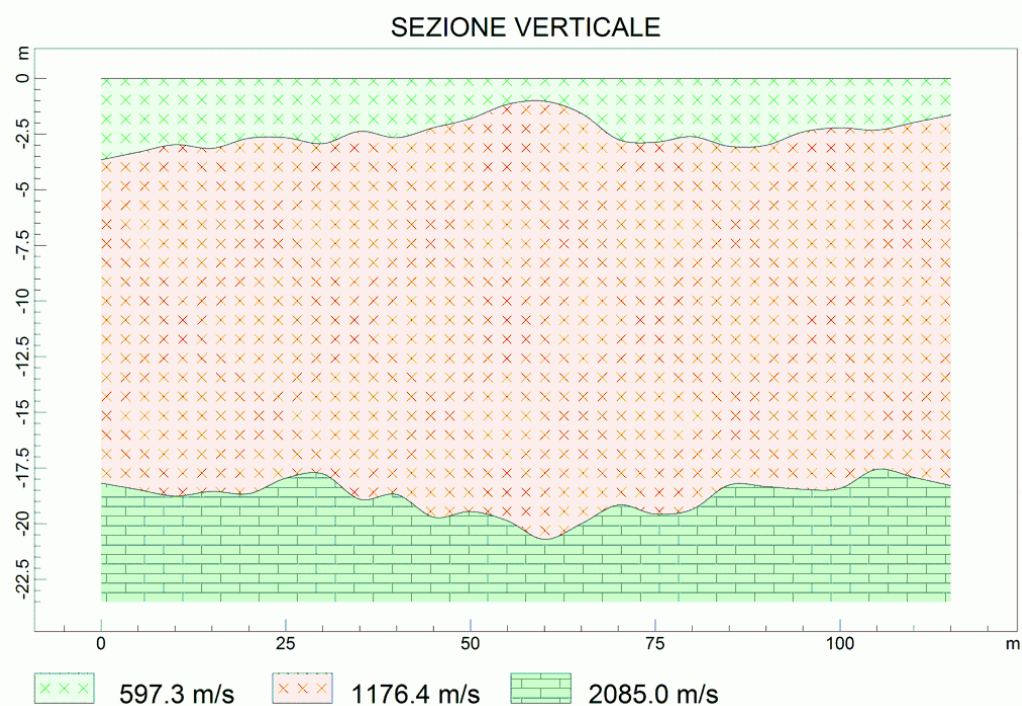
7 MODELLO GEOLOGICO

I dati rilevati con le indagini geognostiche descritte nei paragrafi precedenti hanno consentito di elaborare un modello geologico del sottosuolo descrittivo dei materiali presenti sino alla profondità di -35 m dal piano campagna, oltre ad una valutazione del loro sviluppo laterale.

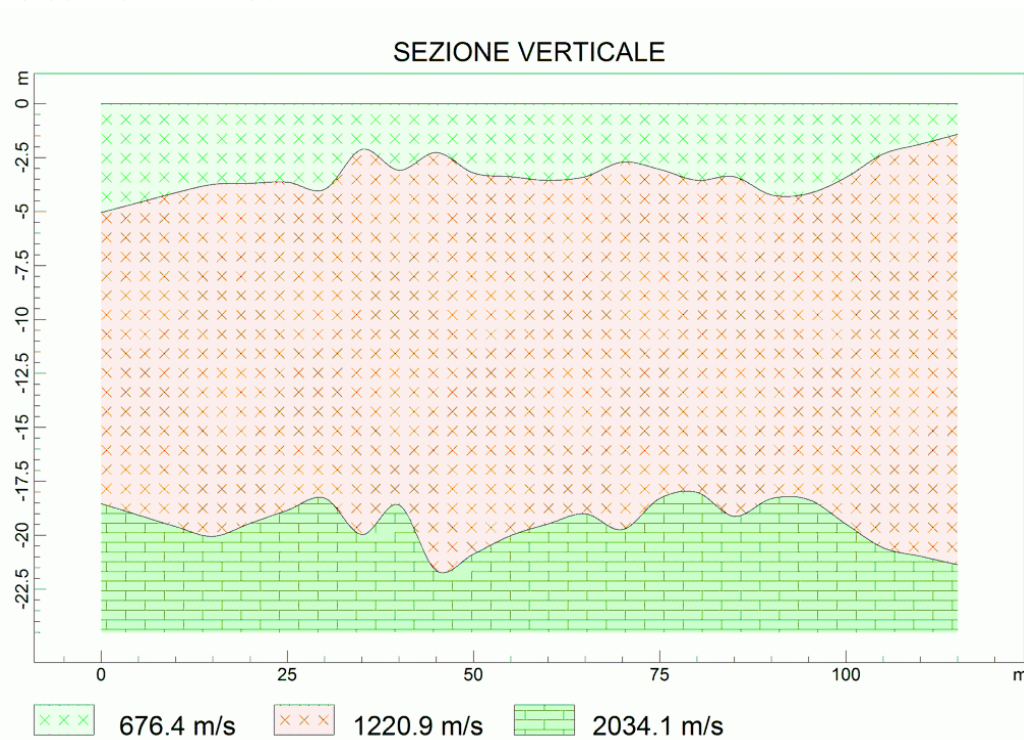
Di seguito saranno descritte le singole unità stratigrafiche litotecniche, ovvero “orizzonti” rappresentativi di spessori significativi di sottosuolo con analoghe caratteristiche litologiche e meccaniche.

Le immagini seguenti riprendono parte di ciò che è stato inserito nelle pagine precedenti e sono relative alle sezioni sismo-stratigrafiche ottenute con le elaborazioni delle prove sismiche a rifrazione per il rilievo delle onde di compressione “Vp”.

Stendimento RF1



Stendimento RF2

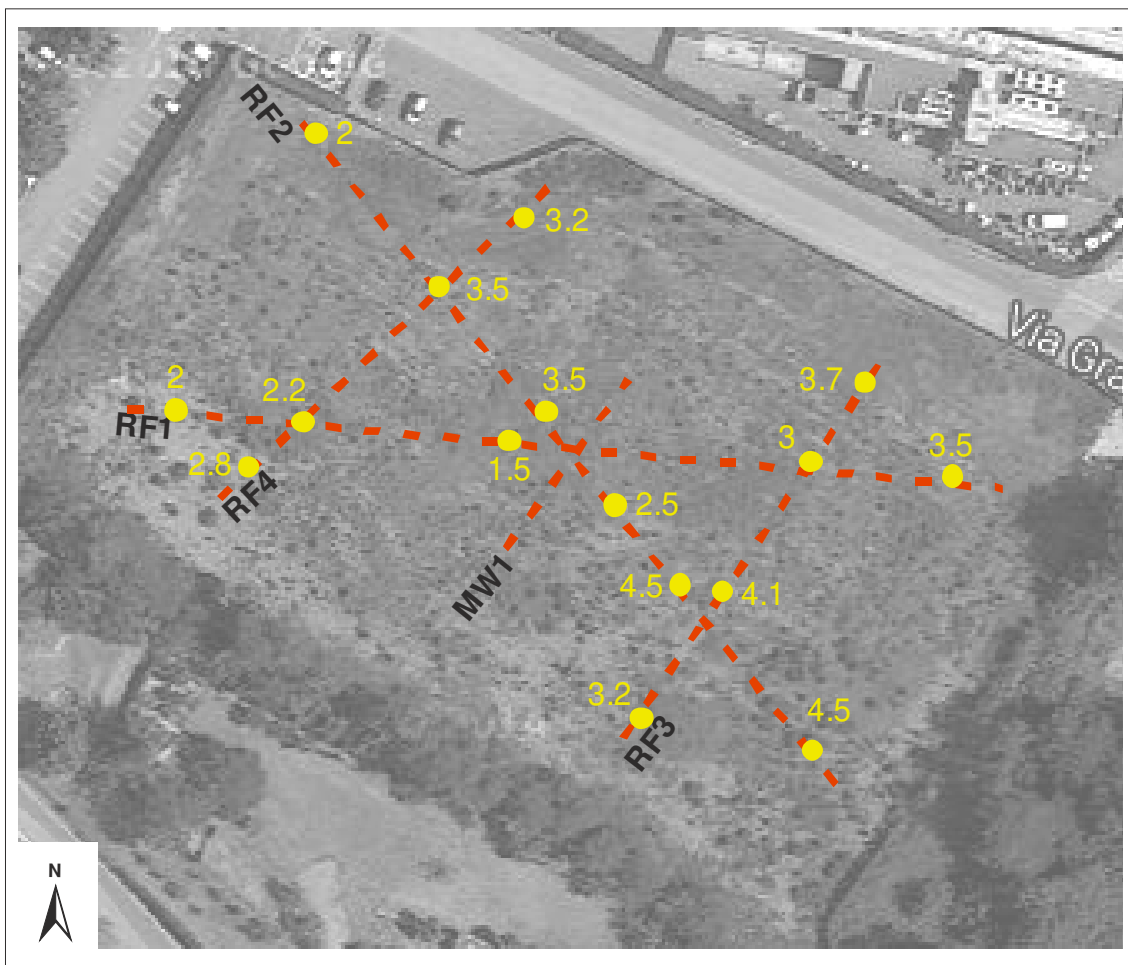


La tabella successiva riporta i sismo-strati rilevati, le loro profondità di “tetto” dal piano campagna, gli spessori e le velocità medie delle onde di compressione “Vp”.

<i>SISMOSTRATO</i>	<i>PROF. (m)</i>	<i>SPESSORE (m)</i>	<i>Vp (m/s)</i>
1	0	1.5 / 4.5	597 / 695
2	1.5 / 5	13 / 19	1154 / 1254
3	18 / 23	> 3	2034 / 2085

L'immagine successiva rappresenta la profondità (dal piano campagna interno all'area d'indagine) dell'interfaccia tra i sismo-strati 1 – 2 e consente di stimare la distribuzione degli spessori del primo sismo-strato (quello con i valori di velocità e rigidezza minore), il quale potrebbe essere a diretto contatto con le opere di fondazione dell'edificio di progetto.

Per comodità di valutazione l'area è stata suddivisa in quattro quadranti.



La distribuzione generale delle quote appare discontinua ed in particolare gli spessori del sismo-strato 1 sono generalmente maggiori procedendo da Nord Ovest verso Sud Est e dal margine Sud verso quello Nord.

L'interfaccia tra il sismo-strato 1 e 2 è più superficiale nel quadrante sud ovest, ed in generale nella zona centrale, mentre è più profonda nel quadrante sud est.

La tabella successiva descrive gli spessori rilevati per ogni quadrante in cui è stata suddivisa l'area d'indagine.

<i>Quadrante</i>	<i>Spessore (m) sismo-strato 1</i>
Nord Ovest	2 / 3.5
Nord Est	3 / 3.5
Sud Est	2.5 / 4.5
Sud Ovest	2 / 3

L'analisi congiunta dei dati sismici e di quanto rilevato direttamente con il sondaggio litostratigrafico (eseguito al centro dell'area di progetto) ha consentito di sintetizzare un modello geologico del sottosuolo che è stato schematizzato nella tabella che segue.

La tabella riportata la classificazione litologica e la descrizione dei singoli orizzonti litotecnici. Le profondità (dal piano campagna attuale interno alla proprietà) indicano le quote di "tetto" e di "base" di ciascun orizzonte.

<i>Prof. (m)</i>	<i>Orizzonte</i>	<i>Descrizione litologica</i>
0 – 2/4.5	A	Terre vegetali in superficie (primi decimetri di profondità) e ghiaie eterometriche in matrice sabbiosa o limoso sabbiosa. L'orizzonte è addensato con velocità delle onde Vp di circa 600 / 700 m/s e delle onde Vs variabili da circa 240 a circa 360 m/s. Lo spessore dell'orizzonte è discontinuo ed è minore nel settore Sud Ovest dell'area indagata e nella zona centrale, mentre è maggiore nel settore Sud Est. In generale la profondità dell'interfaccia tra l'orizzonte A e il sottostante B appare piuttosto discontinua.
2/4.5 – 18/20	B	Ghiaia e ciottoli eterometrici di varia forma con spigoli arrotondati o smussati in matrice sabbiosa; l'addensamento è molto alto. Le velocità delle onde Vp sono circa 1000 / 1200 m/s, mentre le Vs hanno valori di circa 470 / 550 m/s. L'orizzonte ha uno spessore variabile da 13 a 19 m con i valori maggiori nella zona centrale dell'area di progetto. In corrispondenza del sondaggio litostratigrafico alla base dell'orizzonte è presente una lente (spessore 1.4 m) eterogenea argillosa al tetto e limoso ghiaiosa alla base. L'orizzonte B è saturo d'acqua dalla profondità di -14.5 m.
18/20 – 28	C	Ghiaia e ciottoli di piccole dimensioni di varia forma con spigoli perlopiù arrotondati in matrice fine limoso sabbiosa. Le velocità delle onde Vp sono di circa 2000 / 2100 m/s. In corrispondenza del sondaggio litostratigrafico alla base è presente una sottile lente (spessore 0.4 m) di limi con ghiaia fine.
28 – 35	D	Ghiaia da fine a grossolana in matrice sabbiosa.

La falda freatica è stata rilevata all'interno del foro del sondaggio litostratigrafico alla profondità di -14.5 m dal piano campagna.

Valutazioni in merito al contesto idrogeologico dell'area sono descritte in una specifica relazione idrogeologica allegata alla presente relazione.

8 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

I parametri geotecnici caratterizzanti il comportamento meccanico del sottosuolo sono stati determinati indirettamente con l'elaborazione dei dati penetrometrici SPT in foro di sondaggio, indirettamente con l'elaborazione delle velocità delle onde di taglio “Vs” e in modo empirico con l'osservazione dei materiali rilevati durante l'esecuzione del sondaggio litostratigrafico e delle trincee esplorative.

I dati elaborati, e successivamente descritti, sono relativi ai primi 10 m di profondità, ovvero al volume di terreno più sensibile alle sollecitazioni statiche trasmesse dalle opere di fondazione dell'edificio in progetto.

Non essendo stati prelevati dei campioni di materiale per specifiche analisi di laboratorio, i parametri di seguito descritti sono da ritenersi una stima indicativa.

In considerazione delle litologie rilevate e descritte nel modello geologico, i parametri determinati con l'elaborazione dei dati disponibili sono stati:

- resistenza penetrometrica standardizzata e normalizzata N_{160} ;
- peso di volume “ γ ”;
- angolo d'attrito “ ϕ ” (valore di picco) della matrice sabbiosa;
- densità relativa “Dr” dei terreni ghiaiosi.

Come anticipato nel § 6.4 la resistenza penetrometrica è stata determinata con il numero di colpi necessario all'avanzamento di un tratto di 30 cm della punta conica del dispositivo “SPT”. L'equazione utilizzata per l'elaborazione del parametro N_{160} (numero di colpi normalizzato ad una pressione effettiva di confinamento di circa 100 kPa e standardizzato ad una energia del 60%) è la seguente:

$$N_{160} = N_{spt} \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \cdot C_N$$

N_{spt}	numero di colpi rilevato durante la prova SPT
C_E	fattore di correzione per il rapporto di energia
C_B	fattore di correzione per il diametro del foro di prova
C_R	fattore di correzione per la lunghezza delle aste
C_S	fattore di correzione per il tipo di campionatore
C_N	fattore di correzione della pressione

I fattori di correzione sono quelli proposti da Skempton 1986, Robertson e Wride 1998, Liao e Whitman 1986.

Il peso di volume “ γ ” è stato calcolato con l'equazione proposta da Dal Moro e al. 2007, la quale pone in relazione il peso di volume con la velocità delle onde di taglio “Vs”.

$$\gamma = 0.77 \cdot \log_{10} V_s + 0.15$$

L'angolo d'attrito " ϕ " è stato calcolato con l'equazione proposta da De Mello 1971, la quale pone in relazione l'angolo d'attrito delle sabbie (rappresenta la matrice dei depositi rilevati) con la resistenza penetrometrica normalizzata " N_{160} " e la pressione verticale efficace " σ'_v ".

$$\phi = 19 - (0.38 \cdot \sigma'_v) + 8.73 \cdot \log_{10}(N_{160})$$

Inoltre l'angolo d'attrito " ϕ " è stato anche valutato con il metodo osservazionale di Sanglerat, il quale consente di ottenere una stima dei materiali granulari in funzione dell'addensamento, della forma e rugosità dei grani, delle dimensioni e del fuso granulometrico. L'equazione per il calcolo è la seguente:

$$\phi = 36^\circ + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4$$

- ϕ_1 correzione per il grado di addensamento
- ϕ_2 correzione per la forma e rugosità dei grani
- ϕ_3 correzione per la dimensione dei grani
- ϕ_4 correzione per la granulometria

La tabella di riferimento per la definizione dei coefficienti di correzione è la seguente:

Addensamento	ϕ_1	molle	-6°
		media	0°
		serrata	+6°
Forma e rugosità	ϕ_2	spigolosa	+1°
		media	0°
		arrotondata	-3°
		molto arrotondata	-5°
Dimensione	ϕ_3	sabbia	0°
		ghiaia fine	+1°
		ghiaia grossa	+2°
Granulometria	ϕ_4	uniforme	-3°
		media	0°
		estesa	+3°

La densità relativa " Dr " è stata calcolata con l'equazione proposta da Yoshida e al. 1988, la quale pone in relazione la densità delle ghiaie alla resistenza penetrometrica standardizzata " N_{60} " e la pressione verticale efficace " σ'_v ".

$$Dr = 25 \cdot (N_{60} \cdot 0.77)^{0.46} \cdot (\sigma'_v)^{-0.12}$$

La tabella successiva riporta i dati puntuali elaborati.

Profondità (m)	Nspt	N1 ₆₀	γ (kg/m ³)	ϕ (°)	Dr (%)
1.5	87	97.6	2120	36.2	94.3
2.5	97	88.5	2120	35.8	93.2
5	88	63	2210	34.3	86.5
6.5	96	60.3	2210	34	87.2
8.5	89	54.6	2210	33.5	85.8

In riferimento al modello geologico descritto nel § 7, la tabella successiva riporta la valutazione dei parametri geotecnici caratteristici relativi agli orizzonti litotecnici sub-superficiali (A e B1, ovvero porzione medio alta dell'orizzonte B).

Profondità (m)	Unità	Comportamento meccanico	γ (kg/m ³)	Nspt	N1 ₆₀	ϕ (°)	Dr (%)
0 - 2/4,5	A	GRANULARE	1900	-	-	33	60 / 80
2/4,5 - 9	B1	GRANULARE	2180	91	55 / 97	34 / 36	85 / 94

La disponibilità dei parametri “Vp” e “Vs” rilevati con le prove sismiche descritte nei §§ 6.1 e 6.2 ha consentito l’elaborazione di altri parametri geotecnici utili nella modellazione sismica del sottosuolo.

Relazioni empiriche note in letteratura scientifica hanno consentito di calcolare i seguenti parametri:

- Vp velocità delle onde di compressione
- Vs velocità delle onde di taglio
- v coefficiente di Poisson (è in relazione al rapporto Vp/Vs)
- λ costante di Lamè (è in relazione alla densità del mezzo, alle Vs e alle Vp)
- k costante di Bulk (è in relazione alla densità del mezzo, alle Vs e alle Vp)
- E modulo di Young (è in relazione alla densità del mezzo, alle Vs e alle Vp)
- G_{max} modulo di taglio dinamico o rigidità del sottosuolo (è in relazione alla densità del mezzo e alle Vs)

Le tabelle successive riassumono i risultati ottenuti.

Strato	Spessore (m)	Prof. (m)	γ Ton/mc	Vs (m/s)	Vp (m/s)	ν Poisson	λ (MPa) Lamè	k (MPa) Bulk	E (MPa) Young	G (MPa) Rigidità
1	4.6	4.6	2.12	364	660	0.28	362	549	721	281
2	4.8	9.4	2.21	474	987	0.35	1160	1491	1341	497
3	5.9	15.3	2.26	550	1145	0.35	1596	2051	1846	684
4	7.1	22.4	2.26	544	1134	0.35	1566	2011	1804	668
5	7.8	30.2	2.32	649	2000	0.44	7311	7961	2811	975

Prova Masw n. 1.

Strato	Spessore (m)	Prof. (m)	γ Ton/mc	Vs (m/s)	Vp (m/s)	ν Poisson	λ (MPa) Lamè	k (MPa) Bulk	E (MPa) Young	G (MPa) Rigidità
1	1.8	1.8	1.94	241	600	0.40	474	549	317	113
2	2.1	3.9	2.05	338	750	0.37	686	843	644	235
3	6.9	10.8	2.19	518	1100	0.36	1477	1870	1598	589
4	6.9	17.7	2.19	514	1100	0.36	1494	1880	1575	579
5	6.4	24.1	2.26	628	2000	0.45	7247	7841	2573	890
6	5.9	30.0	2.28	681	2100	0.44	7952	8658	3052	1059

Prova Masw n. 2.

In merito alla scelta dei parametri geotecnici di progetto per il calcolo della stabilità delle opere di fondazione che si riterrà opportuno progettare, si riporta lo schema dei coefficienti parziali (γ_M) da applicare ai parametri caratteristici del sottosuolo in riferimento a quanto proposto dal D.M. 17 gennaio 2018 tab. 6.2.II

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_f	1,0	1,0

9 RESISTENZE DEL SOTTOSUOLO

Il progetto di edificazione prevede la realizzazione di un fabbricato che poggerà su delle fondazioni dirette.

La quota d'imposta del fabbricato sarà circa -2.5 m dal piano campagna attuale (depresso circa -3 m rispetto la viabilità di Via Spaziani), mentre le fondazioni sono ipotizzate alla quota di circa -3.5 / -4 m dal p.c..

A titolo orientativo al fine di favorire le scelte progettuali è stata valutata la resistenza del sistema geotecnico "terreno – fondazioni" allo Stato Limite Ultimo, nell'ipotesi di utilizzo di fondazioni isolate tipo PLINTO a base quadrata di variabili dimensioni (indicativamente 2.5x2.5 m e 3.5x3.5 m).

La verifica della sicurezza allo **Stato Limite Ultimo (SLU)** è stata effettuata con il "metodo dei coefficienti parziali" e dovrà verificare la seguente condizione (D.M. 17/01/2018, § 6.2.4.1)

$$E_d \leq R_d$$

E_d valore di progetto dell'azione o degli effetti dell'azione (carico di progetto)

R_d valore di progetto della resistenza del sottosuolo (carico limite)

$$R_d = 1/\gamma_R R [X_k/\gamma_M; a_d]$$

γ_R γ_M coefficienti parziali

R resistenza del sottosuolo

X_k parametri geotecnici caratteristici

a_d superficie

Lo scopo delle verifiche è stato determinare la **PRESSIONE LIMITE DI PROGETTO (R_d/A')** cui fare riferimento per ottenere la condizione suddetta imposta dalla vigente normativa.

In merito alla scelta dei parametri geotecnici di progetto per il calcolo della stabilità delle opere di fondazione si riporta lo schema dei coefficienti parziali (γ_M) da applicare ai parametri caratteristici del sottosuolo in riferimento a quanto proposto dal D.M. 17 gennaio 2018 tab. 6.2.II

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_f	1,0	1,0

In funzione del modello stratigrafico del sottosuolo e delle indicazioni progettuali relative alla quota di base del fabbricato, il piano d'appoggio delle fondazioni sarà nella zona di transizione tra i materiali dell'Orizzonte A e B1 (così come descritti nella parametrizzazione geotecnica nel § 8).

I parametri geotecnici più cautelativi dei materiali che descrivono la resistenza al taglio secondo il criterio di rottura di Mohr e Coulomb sono i seguenti

Analisi in condizione drenata ($\phi \neq 0$ Cu = 0)	Angolo d'attrito efficace ϕ 33° Coesione c 0.0 kg/cm ²	Peso di volume γ_n 1.90 Ton/m ³
--	---	--

Nelle elaborazioni si è proceduto al calcolo delle seguenti resistenze:

- resistenza unitaria di progetto “ R_d/A ” in condizioni statiche
- resistenza unitaria di progetto “ R_d/A ” in condizioni sismiche

In funzione del modello geologico-geotecnico del sottosuolo e degli attuali riferimenti normativi, le condizioni di calcolo sono state le seguenti:

- modello di calcolo Brinch – Hansen 1970 (EC7 – EC8) con coefficienti correttivi i cui valori sono in funzione del sistema geotecnico (caratteristiche del terreno + geometria della fondazione);
- verifica di tipo geotecnico (GEO) per collasso per carico limite dei terreni di fondazione con l'Approccio 2 (A1+M1+R3) (D.M. 17/01/2018);
- topografia orizzontale del piano di posa della fondazione;
- comportamento meccanico del terreno di fondazione di tipo granulare;
- coefficiente parziale di sicurezza (γ_R) 2.3 per il calcolo della resistenza di progetto “ R_d ” (D.M. 17/01/2018, § 6.4.2.1);
- calcolo in assenza di sollecitazioni dinamiche (condizione statica) e in presenza di sollecitazioni sismiche (condizione dinamica con analisi semplificata pseudo-statica);
- carico della struttura verticale applicato nel baricentro della fondazione;
- utilizzo delle azioni sismiche previste dalla vigente normativa per la condizione di calcolo SLV (Stato Limite per la salvaguardia della Vita) in riferimento alla categoria sismica del sottosuolo B, alla vita nominale della costruzione V_N 50 anni e alla classe d'uso III.

L'equazione utilizzata per di calcolo della resistenza unitaria del sottosuolo è stata

$$R/A' = (2 + \pi) c s_c d_c i_c h_{cf} + q N_q s_q d_q i_q h_{qf} + 0.5 \gamma' B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma h_{\gamma f}$$

R/A'	resistenza unitaria o pressione limite
A'	area efficace della fondazione
c	coesione
q	pressione litostatica sul piano di posa
B	larghezza della fondazione
γ'	peso di volume efficace sotto il piano di posa della fondazione
N_q, N_γ	fattori di capacità portante (Brich – Hansen 1970, EC7 – EC8)
s_c, s_q, s_γ	coefficienti di forma in funzione della larghezza e della lunghezza della fondazione (Brich – Hansen 1970, EC7 – EC8)
d_c, d_q, d_γ	coefficienti di profondità in funzione del piano di posa della fondazione e della sua larghezza (Hansen, 1970)
i_c, i_q, i_γ	coefficienti d'inclinazione in funzione della componente orizzontale e verticale dei carichi (Vesic, 1973)
$h_{cq\gamma f}$	coefficienti correttivi in campo sismico (Maugeri e Novità, 2004)

In riferimento a quanto prescritto dalla vigente normativa nelle condizioni di calcolo dinamiche le resistenze del sottosuolo sono state valutate inserendo nell'equazione suddetta i coefficienti correttivi “h”, i quali sono stati determinati con il metodo di Maugeri e Novità (2004). Essi consentono di portare in conto gli effetti cinematico – inerziali indotti dal sisma sul sistema “terreno – fondazione”.

h_{cf}	$D (k_h^2 f) + E (k_h f) + 1$
h_{qf}	$H (k_h^2 f) + I (k_h f) + 1$
$h_{\gamma f}$	$B (k_h^2 f) + C (k_h f) + 1$
k_h	coefficiente sismico orizzontale in funzione dell'accelerazione a_{max}
B, C, H, I, D, E	coefficienti in funzione dell'angolo d'attrito “ ϕ ”
f	coefficiente che tiene conto dell'effetto cinematico - inerziale indotto dal sisma (valore utilizzato 1)

SINTESI DELLE RESISTENZE R_d SLU - SLV		
Fondazione	R_d statica (kg/cm ²)	R_d dinamica (kg/cm ²)
PLINTO 2.5 x 2.5 m	6.03	4.95
PLINTO 3.5 x 3.5 m	6.87	5.58

Le tabelle successive riportano i parametri utilizzati e i risultati ottenuti.

RESISTENZA DEL SOTTOSUOLO SLU IN CONDIZIONI STATICHE

FONDAZIONE			
Tipologia	PLINTO	N carico normale (kg)	-
B larghezza (m)	2.50	H carico orizzontale (kg)	-
L lunghezza (m)	2.50	β inclinazione del p.c.	-
Df incastro nel suolo (m)	1	η inclinazione della base	-

PARAMETRI GEOTECNICI			
Cu_k (kg/cm ²)		Comportamento meccanico	GRANULARE
ϕ_k (°)	33	Condizione di calcolo	STATICA
γ sopra fondazione (kg/m ³)	1900		
γ sotto fondazione (kg/m ³)	1900		

PARAMETRI PER LA VERIFICA SLU			
Combinazione di calcolo A2			
γ_M coeff. parziale	1	i_c coeff. d'inclinazione	1.00
γ_R coeff. di sicurezza	2.3	i_q coeff. d'inclinazione	1.00
Cu_d (kg/cm ²)	0.00	i_γ coeff. d'inclinazione	1.00
ϕ_d (°)	33.0	s_c coeff. di forma	1.20
γ sopra fondazione (kg/m ³)	1900	s_q coeff. di forma	1.54
N_c fattore di portanza	38.55	s_γ coeff. di forma	0.70
N_q fattore di portanza	26.03		
N_γ fattore di portanza	32.50		
d_c coeff. di profondità	1.11		
d_q coeff. di profondità	1.11	R/A' pressione limite (kg/cm ²)	13.86
d_γ coeff. di profondità	1.00	Rd/A' pressione di progetto (kg/cm²)	6.03

RESISTENZA DEL SOTTOSUOLO SLU IN CONDIZIONI DINAMICHE

FONDAZIONE			
Tipologia	PLINTO	N carico normale (kg)	-
B larghezza (m)	2.50	H carico orizzontale (kg)	-
L lunghezza (m)	2.50	β inclinazione del p.c.	-
Df incastro nel suolo (m)	1	η inclinazione della base	-

PARAMETRI GEOTECNICI		PARAMETRI SISMICI	
Cu_k (kg/cm ²)	0	V_N vita nominale (anni)	50
ϕ_k (°)	33	C_U coeff. d'uso	1.5
γ sopra fondazione (kg/m ³)	1900	V_R periodo di riferimento (anni)	75
γ sotto fondazione (kg/m ³)	1900	Categoria sottosuolo	B
Comportamento meccanico	GRANULARE	a_{max} (g)	0.221
Condizione di calcolo	DINAMICA	k_h coeff. sismico orizzontale	0.062

PARAMETRI PER LA VERIFICA SLU			
Combinazione di calcolo A2			
γ_M coeff. parziale	1	i_c coeff. d'inclinazione	1.00
γ_R coeff. di sicurezza	2.3	i_q coeff. d'inclinazione	1.00
Cu_d (kg/cm ²)	0.00	i_γ coeff. d'inclinazione	1.00
ϕ_d (°)	33.0	B (coeff. Maugeri, Novità)	4.84
N_c fattore di portanza	38.55	C (coeff. Maugeri, Novità)	-4.07
N_q fattore di portanza	26.03	D (coeff. Maugeri, Novità)	1.79
N_γ fattore di portanza	32.50	E (coeff. Maugeri, Novità)	-1.89
d_c coeff. di profondità	1.11	H (coeff. Maugeri, Novità)	2.46
d_q coeff. di profondità	1.11	I (coeff. Maugeri, Novità)	-2.49
d_γ coeff. di profondità	1.00	f (coeff. cinematico - inerziale)	1
s_c coeff. di forma	1.20	h_{ct} coeff. correttivo sismico	0.89
s_q coeff. di forma	1.54	h_{qt} coeff. correttivo sismico	0.86
s_γ coeff. di forma	0.70	h_d coeff. correttivo sismico	0.77
R/A' pressione limite (kg/cm ²)	11.38	Rd/A' pressione di progetto (kg/cm²)	4.95

RESISTENZA DEL SOTTOSUOLO SLU IN CONDIZIONI STATICHE

FONDAZIONE			
Tipologia	PLINTO	N carico normale (kg)	-
B larghezza (m)	3.50	H carico ortizzontale (kg)	-
L lunghezza (m)	3.50	β inclinazione del p.c.	-
Df incastro nel suolo (m)	1	η inclinazione della base	-

PARAMETRI GEOTECNICI			
Cu_k (kg/cm ²)		Comportamento meccanico	GRANULARE
ϕ_k (°)	33	Condizione di calcolo	STATICA
γ sopra fondazione (kg/m ³)	1900		
γ sotto fondazione (kg/m ³)	1900		

PARAMETRI PER LA VERIFICA SLU			
Combinazione di calcolo A2			
γ_M coeff. parziale	1	i_c coeff. d'inclinazione	1.00
γ_R coeff. di sicurezza	2.3	i_q coeff. d'inclinazione	1.00
Cu_d (kg/cm ²)	0.00	i_γ coeff. d'inclinazione	1.00
ϕ_d (°)	33.0	s_c coeff. di forma	1.20
γ sopra fondazione (kg/m ³)	1900	s_q coeff. di forma	1.54
N_c fattore di portanza	38.55	s_γ coeff. di forma	0.70
N_q fattore di portanza	26.03		
N_γ fattore di portanza	32.50		
d_c coeff. di profondità	1.08		
d_q coeff. di profondità	1.08	R/A' pressione limite (kg/cm ²)	15.79
d_γ coeff. di profondità	1.00	Rd/A' pressione di progetto (kg/cm²)	6.87

RESISTENZA DEL SOTTOSUOLO SLU IN CONDIZIONI DINAMICHE

FONDAZIONE			
Tipologia	PLINTO	N carico normale (kg)	-
B larghezza (m)	3.50	H carico ortizzontale (kg)	-
L lunghezza (m)	3.50	β inclinazione del p.c.	-
Df incastro nel suolo (m)	1	η inclinazione della base	-

PARAMETRI GEOTECNICI	
Cu_k (kg/cm ²)	0
ϕ_k (°)	33
γ sopra fondazione (kg/m ³)	1900
γ sotto fondazione (kg/m ³)	1900
Comportamento meccanico	GRANULARE
Condizione di calcolo	DINAMICA

PARAMETRI SISMICI	
V_N vita nominale (anni)	50
C_U coeff. d'uso	1.5
V_R periodo di riferimento (anni)	75
Categoria sottosuolo	B
a_{max} (g)	0.221
k_h coeff. sismico orizzontale	0.062

PARAMETRI PER LA VERIFICA SLU			
Combinazione di calcolo A2			
γ_M coeff. parziale	1	i_c coeff. d'inclinazione	1.00
γ_R coeff. di sicurezza	2.3	i_q coeff. d'inclinazione	1.00
Cu_d (kg/cm ²)	0.00	i_γ coeff. d'inclinazione	1.00
ϕ_d (°)	33.0	B (coeff. Maugeri, Novità)	4.84
N_c fattore di portanza	38.55	C (coeff. Maugeri, Novità)	-4.07
N_q fattore di portanza	26.03	D (coeff. Maugeri, Novità)	1.79
N_γ fattore di portanza	32.50	E (coeff. Maugeri, Novità)	-1.89
d_c coeff. di profondità	1.08	H (coeff. Maugeri, Novità)	2.46
d_q coeff. di profondità	1.08	I (coeff. Maugeri, Novità)	-2.49
d_γ coeff. di profondità	1.00	f (coeff. cinematico - inerziale)	1
s_c coeff. di forma	1.20	h_{ct} coeff. correttivo sismico	0.89
s_q coeff. di forma	1.54	h_{qt} coeff. correttivo sismico	0.86
s_γ coeff. di forma	0.70	$h_{\gamma t}$ coeff. correttivo sismico	0.77
R/A' pressione limite (kg/cm ²)	12.83	Rd/A' pressione di progetto (kg/cm²)	5.58

La verifica allo **Stato Limite di Esercizio (SLE)** del sistema “terreno – opera di fondazione” è relativa alla verifica delle “tensioni – deformazioni compatibili del sottosuolo” affinché non risulti pregiudicata o limitata la funzionalità e/o integrità delle opere.

La normativa ritiene verificato lo stato limite se risulta

$$E_d \leq C_d$$

E_d carico di progetto della struttura nello stato limite

C_d carico che determina il max cedimento tollerabile in condizioni statiche

Nel caso specifico il sottosuolo di fondazione è caratterizzato dalla presenza di materiali con grado di deformabilità MOLTO BASSO.

Gli eventuali assestamenti potrebbero essere immediati con l'applicazione dei carichi o esaurirsi in un tempo molto limitato.

L'analisi di verifica degli eventuali cedimenti del terreno di fondazione dovrà tenere conto delle pressioni permanenti esercitate dalla struttura e del detensionamento subito dal sottosuolo in considerazione della quota di scavo per il piano di appoggio del fabbricato.

10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio geologico di un'area situata in Via Spaziani in prossimità di C.so Milano a Verona, ha avuto lo scopo di verificare, ai sensi della vigente normativa, le caratteristiche geologiche, geotecniche, idrogeologiche, sismiche, del sottosuolo sul quale si prevede di realizzare un nuovo edificio commerciale.

L'area d'indagine ha una superficie di circa 8.000 m² e allo attuale è depressa alcuni metri rispetto la viabilità di Via Spaziani.

La presente relazione descrive le indagini geognostiche eseguite, i risultati ottenuti, il modello geologico, la parametrizzazione geotecnica del sottosuolo e la portanza del sottosuolo di fondazione.

L'analisi della pericolosità sismica è stata descritta in una specifica relazione dedicata.

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza continua, sino alla profondità di 35 m, ma fonti bibliografiche consentono di stimare profondità molto maggiori, di litologie incoerenti costituite da ghiaie e ciottoli eterometriche in matrice sabbiosa o limoso sabbiosa appartenenti al materasso alluvionale di origine fluviale e fluvioglaciale generato dall'attività idrodinamica del fiume Adige.

Lo stato di addensamento dei materiali è elevato in superficie e molto elevato oltre la profondità di 1.5 / 4.5 m.

La rigidità degli stessi materiali è crescente con la profondità, mentre la compressibilità può essere considerata molto bassa.

In riferimento ai parametri litologici, geotecnici e sismici rilevati con le indagini geognostiche eseguite in sito, sono stati descritti quattro Orizzonti litotecnici (A, B, C, D), di cui il primo con spessore discontinuo: minore nella zona centrale dell'area d'indagine e nel quadrante sud-ovest (spessore 2 / 3 m); maggiore nel quadrante sud-est (spessore 2.5 / 4.5 m).

Nell'area d'indagine non sono state rilevate penalità di tipo geologico o geotecnico per la realizzazione delle opere edili, mentre ai fini urbanistici esiste un vincolo di tutela idrogeologica in quanto l'area d'indagine rientra nell'area di ricarica degli acquiferi.

La falda freatica è stata rilevata alla profondità di -14.5 m e non interferirà con le opere strutturali previste nel progetto.

In merito al progetto di fondazione a titolo orientativo è stata calcolata la resistenza del terreno di fondazione allo Stato Limite Ultimo, simulando l'utilizzo di una fondazione diretta isolata tipo plinto quadrato di lato variabile 2.5 / 3.5 m.

Nelle simulazioni di calcolo il carico che graverà sulla fondazione è stato considerato centrato con analisi in condizioni statiche e dinamiche, osservando l'approccio di calcolo A2 previsto dalla normativa (D.M. 17/01/2018).

I valori di resistenza di progetto del sottosuolo " R_d/A " sono risultati variabili da 6.0 kg/cm^2 a 6.8 kg/cm^2 per le condizioni statiche e da 4.9 kg/cm^2 a 5.5 kg/cm^2 per le condizioni dinamiche.

Lì, ottobre 2023



Dott. Geol. Enrico Nucci

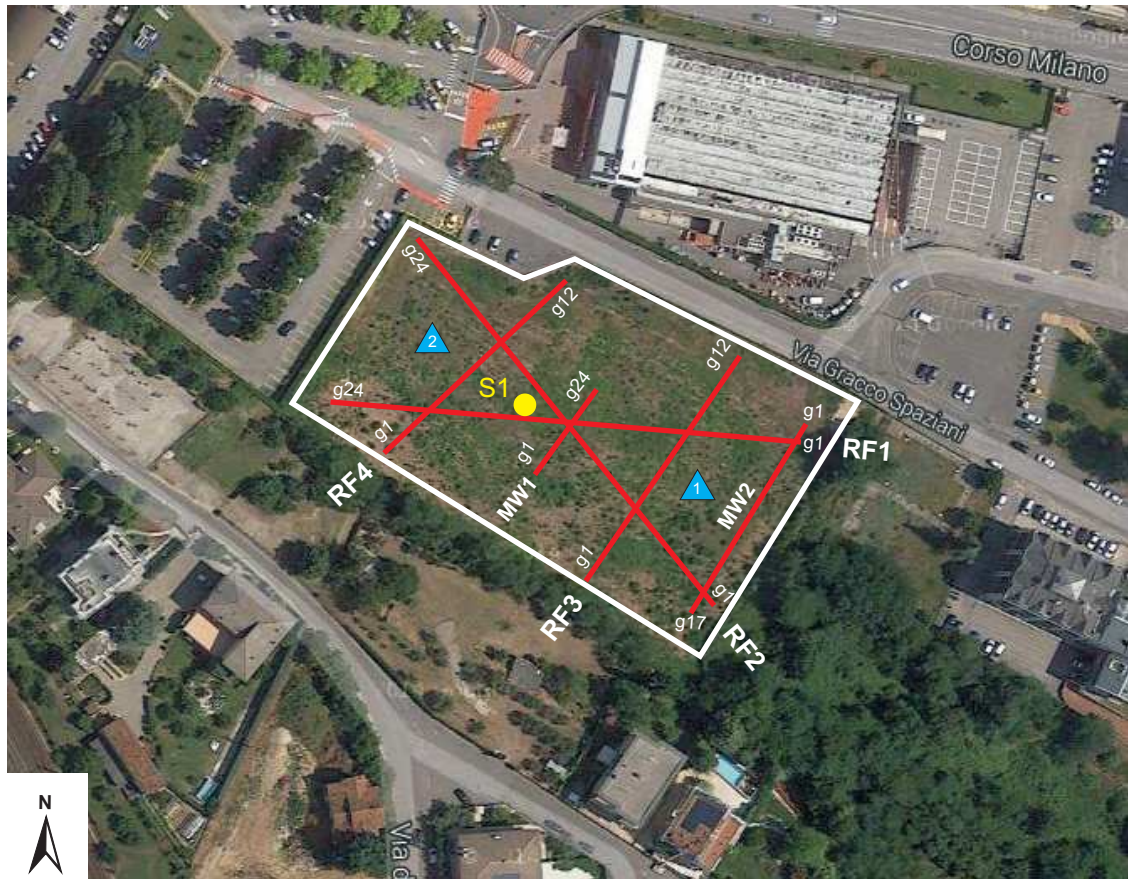


Dott. Geol. Andrea Garbellini

Posizione delle prove geognostiche

Estratto dalle mappe di Google Maps
(scala 1:2.000)

Comm.te: Imm. Cinquerre S.p.A.
Comune: Verona
Località: Via Gracco Spaziani
Data: settembre 2023



RF prova sismica a rifrazione

MW prova sismica masw

● S1 sondaggio litostatigrafico

g1 - g24, posizione dei geofoni 1 e 24

▲ prova HVSR

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Committente: Immobiliare Cinquerre S.p.A.

Comune: Verona

Località: Via Spaziani

STUDIO NUCCI
SOCIETA' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA
Via Albere n.132, 37137 Verona
tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com



Area d'indagine vista in direzione ovest



Strumentazione utilizzata per la sismica

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Committente: Immobiliare Cinquerre S.p.A.

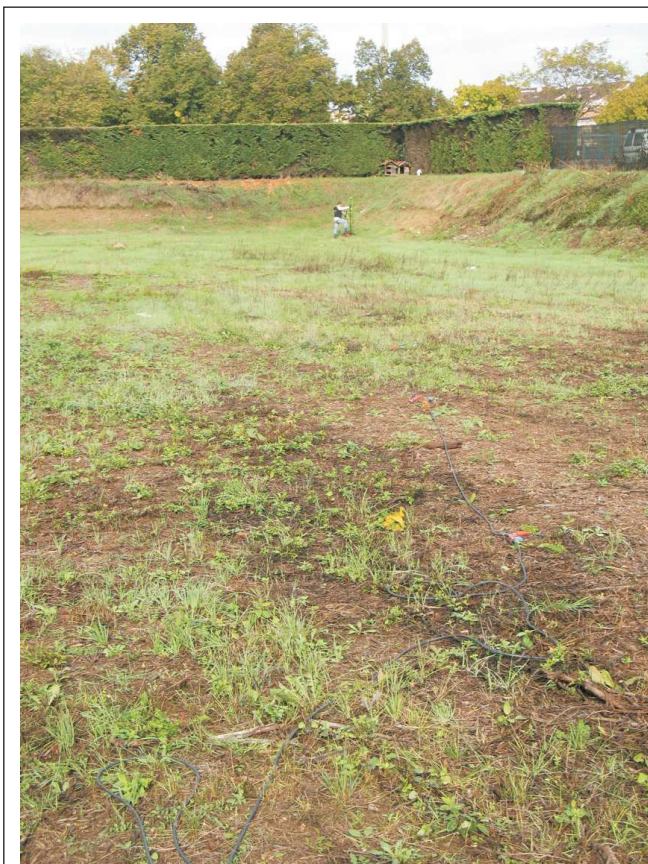
Comune: Verona

Località: Via Spaziani

STUDIO NUCCI
SOCIETA' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA
Via Albere n.132, 37137 Verona
tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com



Allineamento dello stendimento a RIFRAZIONE
n.1; vista in direzione ovest



Allineamento dello stendimento a RIFRAZIONE
n.2; vista in direzione nord ovest



Allineamento dello stendimento a RIFRAZIONE
n.3; vista in direzione sud

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Committente: Immobiliare Cinquerre S.p.A.

Comune: Verona

Località: Via Spaziani

STUDIO NUCCI
SOCIETA' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA
Via Albere n.132, 37137 Verona
tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com



Allineamento dello stendimento a RIFRAZIONE
n.4; vista in direzione nord



Allineamento dello stendimento MASW n.1; vista in
direzione nord



Struttura di supporto della massa battente da 60 kg
per l'energizzazione del sottosuolo

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Committente: Immobiliare Cinquerre S.p.A.

Comune: Verona

Località: Via Spaziani

STUDIO NUCCI
SOCIETA' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA
Via Albere n.132, 37137 Verona
tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com



Posizione del sondaggio litostratigrafico; vista in direzione nord



Esecuzione della prova SPT in foro

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Committente: Immobiliare Cinquerre S.p.A.

Comune: Verona

Località: Via Spaziani

STUDIO NUCCI
SOCIETÀ DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA
Via Albere n.132, 37137 Verona
tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com



Sondaggio S1 prof. 0.0 - 5.0 m



Sondaggio S1 prof. 5.0 - 10.0 m



Sondaggio S1 prof. 10.0 - 15.0 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Committente: Immobiliare Cinquerre S.p.A.

Comune: Verona

Località: Via Spaziani

STUDIO NUCCI
SOCIETA' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA
Via Albere n.132, 37137 Verona
tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com



Sondaggio S1 prof. 15.0 - 20.0 m



Sondaggio S1 prof. 20.0 - 25.0 m



Sondaggio S1 prof. 25.0 - 30.0 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Committente: Immobiliare Cinquerre S.p.A.

Comune: Verona

Località: Via Spaziani

STUDIO NUCCI
SOCIETA' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA
Via Albere n.132, 37137 Verona
tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com



Sondaggio S1 prof. 30.0 - 35.0 m



Rilievo della quota freatica all'interno del piezometro installato nel foro di sondaggio



Allineamento dello stendimento MASW n.2; vista in direzione sud

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Committente: Immobiliare Cinquerre S.p.A.

Comune: Verona

Località: Via Spaziani

STUDIO NUCCI
SOCIETA' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA
Via Albere n.132, 37137 Verona
tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com



Posizione della prova HVSR-1; vista verso ovest



Posizione della prova HVSR-2; vista verso nord

 SOCIETÀ' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA Via Albere, 132 - 37137 Verona tel / fax 045.8622408 email studionuccisrl@gmail.com STUDIO NUCCI					COMMITTENTE: IMMOBILIARE CINQUERRE S.p.A.		SONDAGGIO		N° 1			
							SCALA	1:100	FOTO			
					LOCALITA': Via Spaziani - Verona		OPERATORE: INTERGEO S.R.L.		PERFORAZIONE: rotazione c.c. con H ₂ O, D101 mm DATA INIZIO: 16/10/2014 DATA FINE : 16/10/2014			
CAMPIONI: carotiere semplice (CS); Osterberg (OT); shelby (SH)												
Quote (m)		Spessore (m)	Scala (m)	Schema Stratigrafico	Descrizione litologica e stratigrafica	Pocket q _u kg/cm ²	colpi N _{SPT}	Falda	Campioni			Note
s.l.m	p.c.								Tipo	n.	prof.	
	0.0 0.7	0.7			Terreno vegetale di colore brunastro con ghiaia e ciottoli							
			2		Ghiaia e ciottoli eterometrici di varia forma con spigoli arrotondati o smussati in matrice sabbiosa; la componente ciottolosa appare diminuire di dimensioni oltre la profondità di 9.5 m		30 42 45	14.5				Rivestimento D 147 mm su tutta la lunghezza del foro
			4				35 47 50					
			6				31 38 50					
			8				42 46 50					
			10				32 39 50					
			12									
			14									
			16									
			18									
	19	18.3										
	20.4	1.4	20		Argilla limosa di colore grigio nero di consistenza mediamente compatta di spessore 50 cm; alla base (profondità 19.5 m) graduale transizione verso un contenuto granulometrico di maggiori dimensioni (ghiaia con ciottoli di ridotte dimensioni); dalla profondità di 20 m sino 20.4 m presenza di una lente prevalentemente limosa di colore nocciola con basso contenuto di ghiaia e ciottoli	1.8	V.T. 1.0 kg/cm ²					
			22		Ghiaia e ciottoli di piccole dimensioni di varia forma con spigoli perlopiù arrotondati in matrice fine limoso sabbiosa							
			24									
			26									
	27.6	7.2										
	28	0.4	28		Limo con ghiaia fine							
			30		Ghiaia da fine a grossolana con sporadici ciottoli di forma arrotondata di piccole dimensioni in matrice sabbiosa							
			32									
			34									
												

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE RF1

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-5.00	0.00	1.dta
57.50	0.00	2.dta
120.00	0.00	3.dta

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da -5 [ms]	FBP da 57.5 [ms]	FBP da 120 [ms]
1	0.00	0.00	7.15	57.98	86.71
2	5.00	0.00	11.31	55.88	84.23
3	10.00	0.00	16.64	52.91	81.25
4	15.00	0.00	19.24	49.66	78.00
5	20.00	0.00	24.96	44.62	75.92
6	25.00	0.00	33.41	40.82	74.22
7	30.00	0.00	37.96	37.05	72.14
8	35.00	0.00	42.12	31.27	70.47
9	40.00	0.00	46.67	27.56	67.08
10	45.00	0.00	50.83	22.10	64.22
11	50.00	0.00	54.21	17.55	62.14
12	55.00	0.00	57.07	12.48	59.67
13	60.00	0.00	60.45	12.09	55.88
14	65.00	0.00	65.00	12.51	52.91
15	70.00	0.00	67.99	20.43	48.37
16	75.00	0.00	70.46	24.96	44.20
17	80.00	0.00	73.84	28.77	39.65
18	85.00	0.00	77.09	33.41	36.27
19	90.00	0.00	78.78	37.05	32.50
20	95.00	0.00	80.47	40.03	27.04
21	100.00	0.00	82.94	44.20	21.71
22	105.00	0.00	85.54	49.20	19.24
23	110.00	0.00	86.32	52.54	14.59
24	115.00	0.00	87.10	54.60	12.48

DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI

N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 2 [m]
1	3.7	18.2
2	3.3	18.5
3	3.0	18.8
4	3.1	18.5
5	2.7	18.7
6	2.7	18.0
7	2.9	17.8
8	2.4	18.9

9	2.7	18.7
10	2.2	19.7
11	1.8	19.5
12	1.2	19.9
13	1.0	20.7
14	1.6	20.0
15	2.7	19.2
16	2.9	19.6
17	2.6	19.4
18	3.1	18.3
19	3.0	18.3
20	2.4	18.5
21	2.2	18.4
22	2.3	17.6
23	2.0	17.9
24	1.6	18.3

VELOCITA' DEGLI STRATI

N. Strato	Velocità [m/s]
1	597.3
2	1176.4
3	2085.0

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE RF2

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-5.00	0.00	1.dta
57.50	0.00	2.dta
120.00	0.00	3.dta

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da -5 [ms]	FBP da 57.5 [ms]	FBP da 120 [ms]
1	0.00	0.00	14.59	57.96	86.73
2	5.00	0.00	21.27	53.37	84.65
3	10.00	0.00	23.77	49.20	82.15
4	15.00	0.00	27.52	45.03	80.89
5	20.00	0.00	32.11	41.28	78.65
6	25.00	0.00	36.69	37.11	77.14
7	30.00	0.00	41.70	32.94	74.64
8	35.00	0.00	43.37	26.69	72.55
9	40.00	0.00	49.62	23.35	69.22
10	45.00	0.00	52.39	17.51	65.47
11	50.00	0.00	57.13	13.13	62.55
12	55.00	0.00	60.88	7.09	59.21
13	60.00	0.00	65.05	5.84	55.46
14	65.00	0.00	68.38	9.59	51.71
15	70.00	0.00	70.89	17.93	47.54
16	75.00	0.00	72.97	22.93	43.37
17	80.00	0.00	74.64	27.10	40.45
18	85.00	0.00	77.14	31.27	35.86
19	90.00	0.00	79.23	36.69	32.52
20	95.00	0.00	82.98	38.78	28.77
21	100.00	0.00	86.32	42.95	23.35
22	105.00	0.00	87.57	47.12	17.10
23	110.00	0.00	88.82	50.87	13.26
24	115.00	0.00	90.48	55.04	8.71

DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI

N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 2 [m]
1	5.0	18.5
2	4.6	19.1
3	4.1	19.6
4	3.7	20.1
5	3.7	19.4
6	3.6	18.8
7	4.0	18.3
8	2.1	20.0

9	3.1	18.6
10	2.3	21.7
11	3.2	20.9
12	3.4	20.0
13	3.6	19.5
14	3.4	19.0
15	2.7	19.7
16	3.0	18.3
17	3.6	18.0
18	3.4	19.1
19	4.2	18.3
20	4.2	18.3
21	3.4	19.5
22	2.3	20.6
23	1.9	21.0
24	1.4	21.4

VELOCITA' DEGLI STRATI

N. Strato	Velocità [m/s]
1	676.4
2	1220.9
3	2034.1

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE RF3

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-5.00	0.00	1.dta
27.50	0.00	2.dta
60.00	0.00	3.dta

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da -5 [ms]	FBP da 27.5 [ms]	FBP da 60 [ms]
1	0.00	0.00	7.15	26.69	60.84
2	5.00	0.00	12.87	22.52	57.98
3	10.00	0.00	16.64	17.55	53.82
4	15.00	0.00	20.80	12.48	50.44
5	20.00	0.00	26.26	10.01	47.97
6	25.00	0.00	30.03	3.34	42.12
7	30.00	0.00	33.78	5.46	39.26
8	35.00	0.00	37.95	7.54	34.19
9	40.00	0.00	43.78	11.70	30.81
10	45.00	0.00	47.12	17.55	25.48
11	50.00	0.00	51.29	22.88	19.63
12	55.00	0.00	57.96	26.26	15.86

DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI

N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]
1	2.8
2	3.2
3	2.8
4	2.8
5	4.1
6	3.6
7	3.9
8	3.6
9	4.3
10	3.9
11	3.5
12	3.8

VELOCITA' DEGLI STRATI

N. Strato	Velocità [m/s]
1	695.2
2	1154.4

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE RF4

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-5.00	0.00	1.dta
27.50	0.00	2.dta
60.00	0.00	3.dta

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da -5 [ms]	FBP da 27.5 [ms]	FBP da 60 [ms]
1	0.00	0.00	10.01	32.94	57.96
2	5.00	0.00	17.93	26.69	52.54
3	10.00	0.00	20.85	21.27	48.37
4	15.00	0.00	24.60	17.10	45.03
5	20.00	0.00	28.77	11.26	40.45
6	25.00	0.00	32.11	3.75	36.69
7	30.00	0.00	36.69	6.63	33.78
8	35.00	0.00	40.45	10.79	28.77
9	40.00	0.00	44.20	17.94	24.18
10	45.00	0.00	47.54	23.40	20.85
11	50.00	0.00	53.79	27.94	18.35
12	55.00	0.00	57.54	32.11	16.68

DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI

N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]
1	3.5
2	2.8
3	2.2
4	2.2
5	1.8
6	2.1
7	2.6
8	1.6
9	1.9
10	2.3
11	3.3
12	3.2

VELOCITA' DEGLI STRATI

N. Strato	Velocità [m/s]
1	602.3
2	1254.8

PROFILO SISMICO MASW 01

Comm.te: Imm. Cinquerre S.p.A.

Località: Verona

Indirizzo: Via Spaziani

Data: 14/10/2014

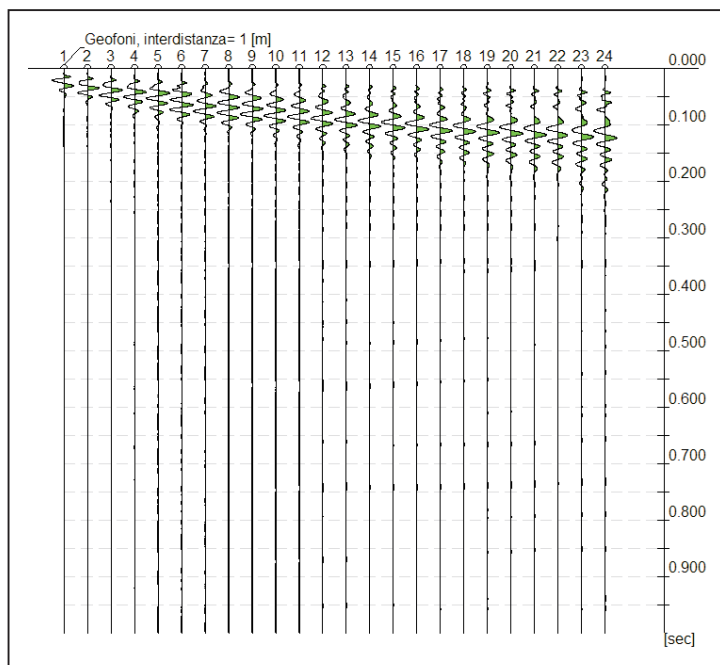
STUDIO NUCCI

SOCIETÀ DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA

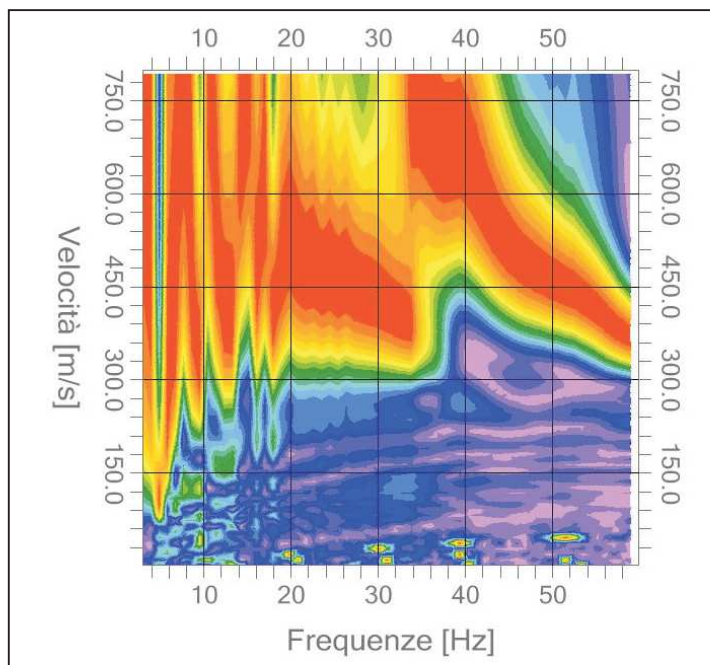
Via Albere n.132, 37137 Verona

tel 045.8622408, email studionuccisrl@tiscali.it

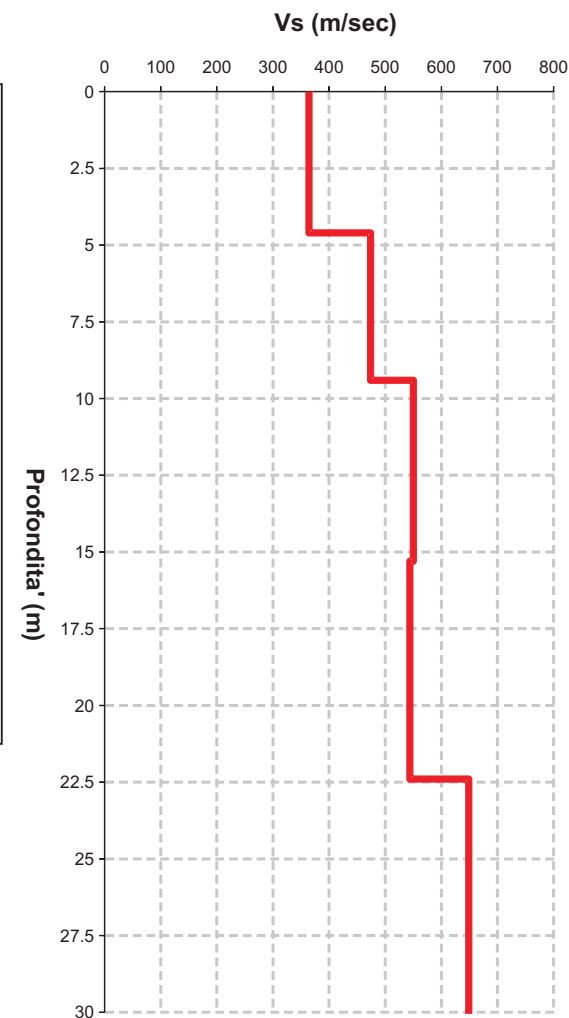
SISMOGRAMMA



SPETTRO VELOCITÀ DI FASE



Profilo verticale onde S



Valore calcolato Vs30 = 515 m/sec

Strato	Spessore (m)	Prof. (m)	γ Ton/mc	Vs (m/s)	G (MPa) Rigidità
1	4.6	4.6	2.12	364	281
2	4.8	9.4	2.21	474	497
3	5.9	15.3	2.26	550	684
4	7.1	22.4	2.26	544	668
5	7.8	30.2	2.32	649	975

PROFILO SISMICO MASW 02

Comm.te: Imm. Cinquerre S.p.A.

Località: Verona

Indirizzo: Via Spaziani

Data: 01/09/2023

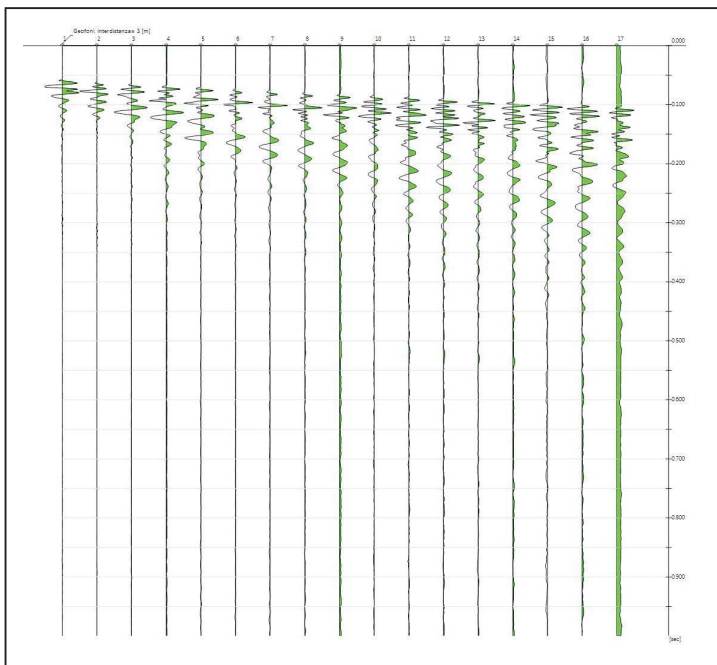
STUDIO NUCCI

SOCIETÀ DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA

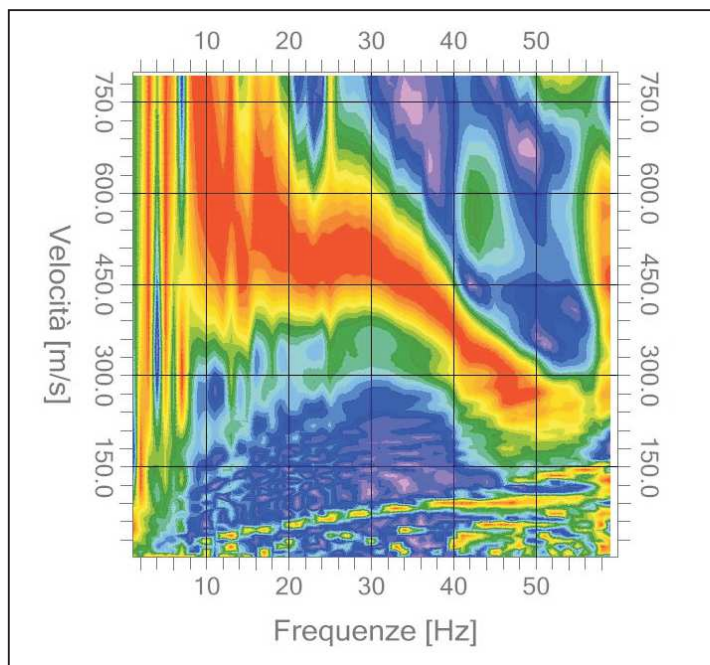
Via Albere n.132, 37137 Verona

tel 045.8622408, email studionuccisrl@gmail.com

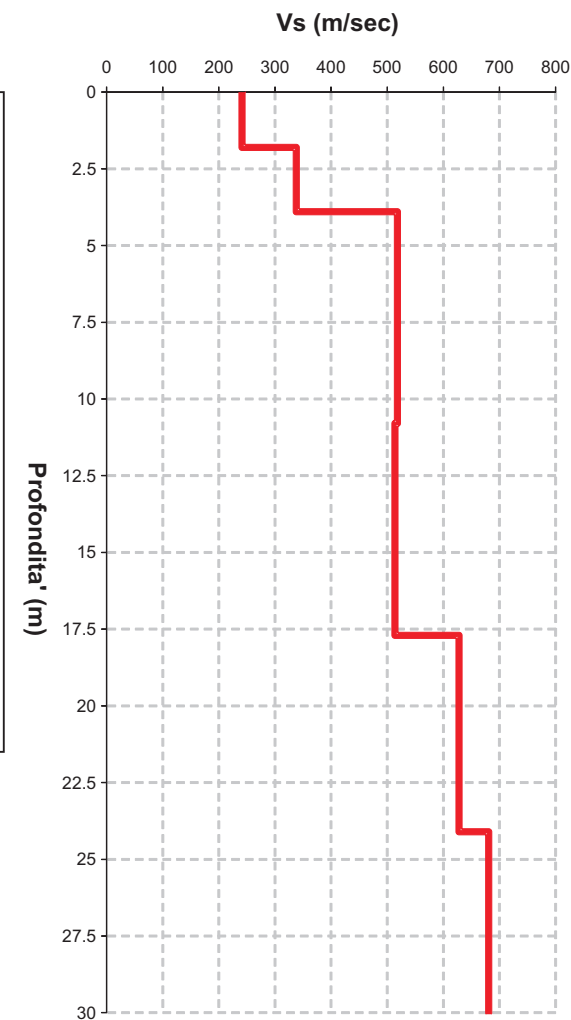
SISMOGRAMMA



SPETTRO VELOCITÀ DI FASE



Profilo verticale onde S



Strato	Spessore (m)	Prof. (m)	γ Ton/mc	Vs (m/s)	G (MPa) Rigidità
1	1.8	1.8	1.94	241	113
2	2.1	3.9	2.05	338	235
3	6.9	10.8	2.19	518	589
4	6.9	17.7	2.19	514	579
5	6.4	24.1	2.26	628	890
6	5.9	30.0	2.28	681	1059

Valore calcolato Vs30 = 506 m/sec

PROVA HVSR – 2 Via Spaziani, Verona

Instrument: TZ3-0070/02-18

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 01/09/2023 10:05:16 End recording: 01/09/2023 10:25:16

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 47% trace (manual window selection)

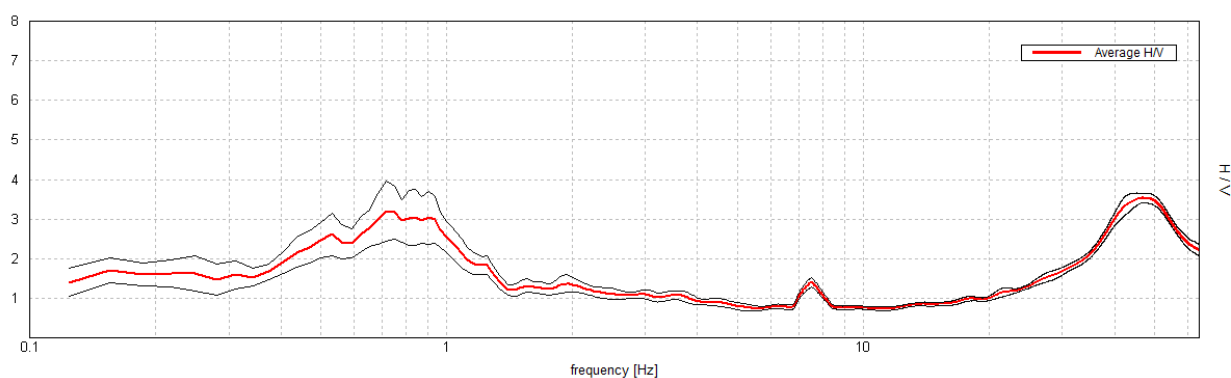
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

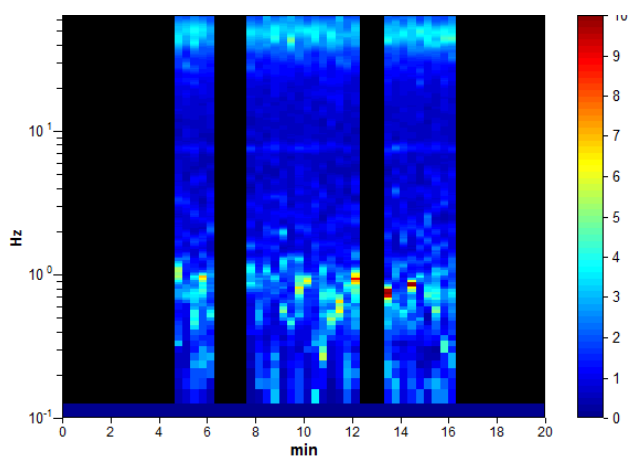
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

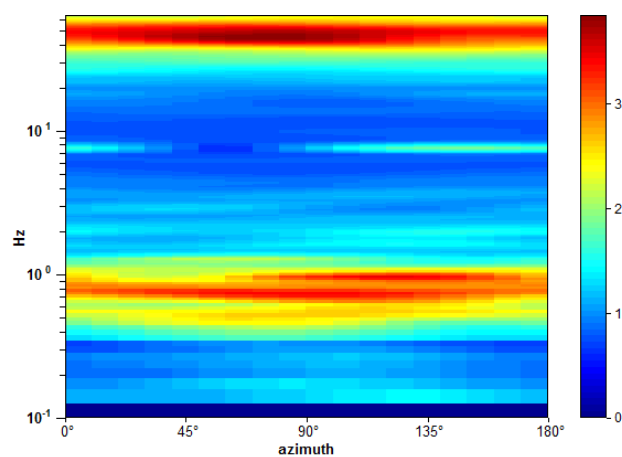
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



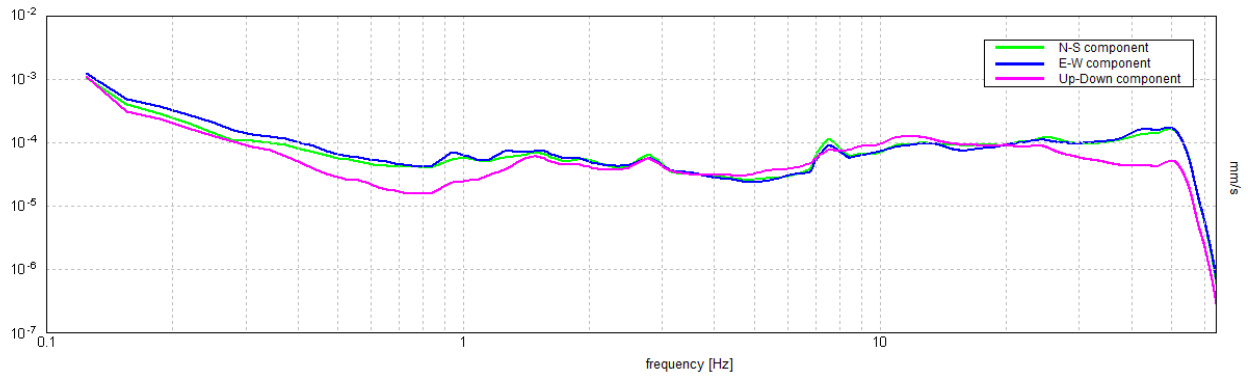
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines.]

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	$46.50 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$26040.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1305 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	30.906 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			
$A_0 > 2$	$3.53 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.52468 < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$24.39753 < 2.325$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1239 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	$0.2 - 0.5$	$0.5 - 1.0$	$1.0 - 2.0$	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

PROVA HVSR – 1 **Via Spaziani, Verona**

Instrument: TZ3-0070/02-18

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 01/09/2023 09:41:56 End recording: 01/09/2023 10:01:56

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 57% trace (manual window selection)

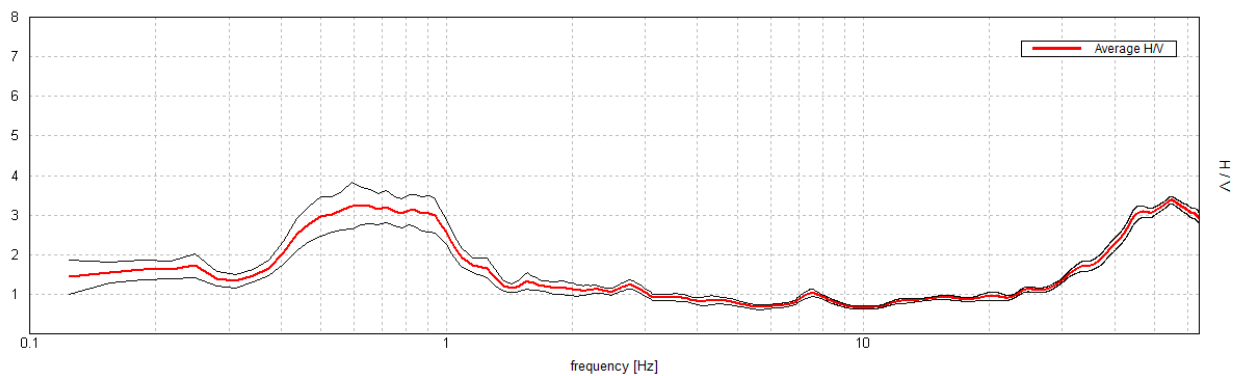
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

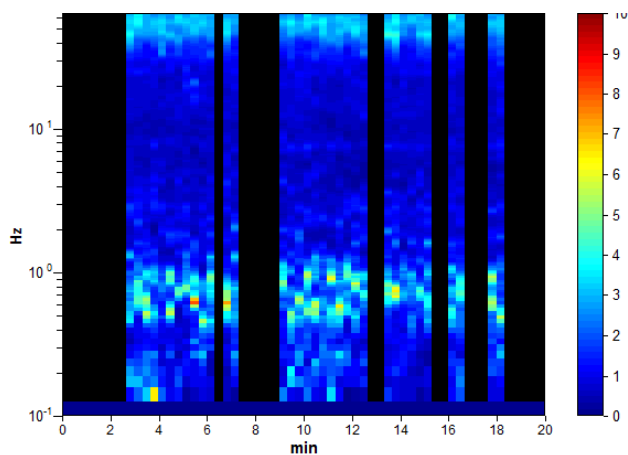
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

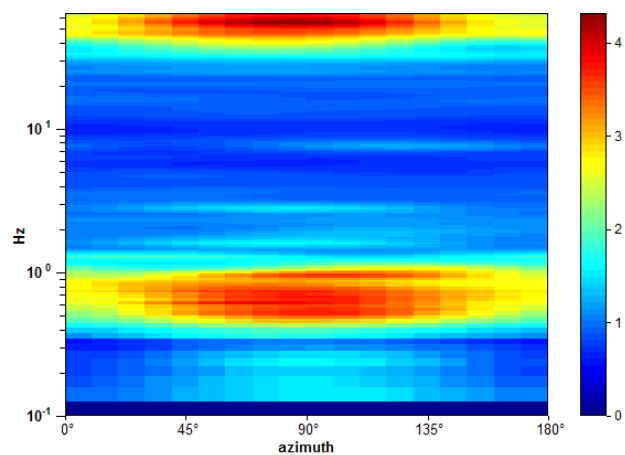
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



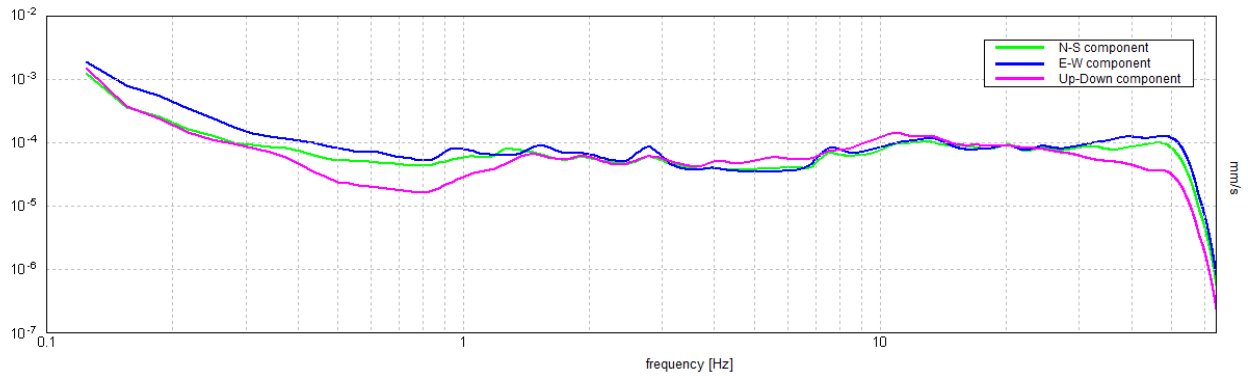
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines.]

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$54.66 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$37166.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1175 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	33.031 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			
$A_0 > 2$	$3.38 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.53743 < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$29.37407 < 2.73281$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.0946 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

Regione Veneto - Provincia di Verona

COMUNE DI VERONA

**PROGETTO PER L'AMPLIAMENTO DI UN
SUPERMERCATO IN PROSSIMITA' DI CORSO MILANO**

RELAZIONE IDROGEOLOGICA

(AI SENSI DELL'ART. 38 DELLE NA DEL PAT DEL COMUNE DI VERONA)



*Dott. Geol Enrico Nucci
Dott. Ing. Elena Nucci
Dott. Ing. Francesca Nucci*

**SOCIETA' DI INGEGNERIA E
GEOLOGIA APPLICATA**

*Via Albere 132 - 37137 Verona
tel / fax 045/8622408
cell +039 335.7597710
email studionuccisrl@gmail.com*

Dott. Geol. Enrico Nucci



Dott. Geol. Andrea Garbellini



Committente:

IMMOBILIARE CINQUERRE S.P.A.

Cod. Rif.

Data: settembre 2023

INDICE

1) PREMESSA.....	3
2) INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	5
3) MODELLO IDROGEOLOGICO LOCALE.....	9
4) CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	11

Codice di Rif.:

Verona, settembre 2023

1) PREMESSA

La presente relazione integra lo studio geologico – geotecnico – sismico realizzato in merito al progetto di ampliamento di un supermercato ubicato in prossimità di C.so Milano a Verona.

In riferimento a quanto prescritto dalle Norme di Attuazione del Piano di Assetto del Territorio (PAT) del Comune di Verona, lo studio idrogeologico ha avuto i seguenti obiettivi:

- analizzare le caratteristiche idrogeologiche del contesto territoriale,
- rilevare alcuni parametri idrogeologici puntuali in grado di caratterizzare nello specifico il sottosuolo sul quale sono previsti degli interventi edificatori,
- valutare la vulnerabilità degli acquiferi in relazione agli interventi di progetto.

L'area d'indagine è ubicata in Via Spaziani in adiacenza a C.so Milano.

La superficie coinvolta dagli interventi è circa 8.000 m² e allo stato attuale risulta depressa circa 3 metri rispetto la quota altimetrica della viabilità di Via Spaziani.

Le coordinate geografiche centrali all'area sono (sistema di riferimento WGS84 in gradi decimali): latitudine 45,44507N longitudine 10,95203E.

Il progetto d'intervento prevede la realizzazione di un nuovo edificio che poggerà su delle fondazioni dirette, probabilmente tipo plinto quadrato di dimensioni variabili da circa 2 a circa 4 m circa.

Si prevede un piano d'imposta delle fondazioni alla profondità indicativa di -3.5 / -4 m dall'attuale piano campagna, ovvero circa -6.5 / -7 m dalla quota di Via Spaziani.



Inquadramento della zona d'indagine (estratto dalle mappe di Google Maps)

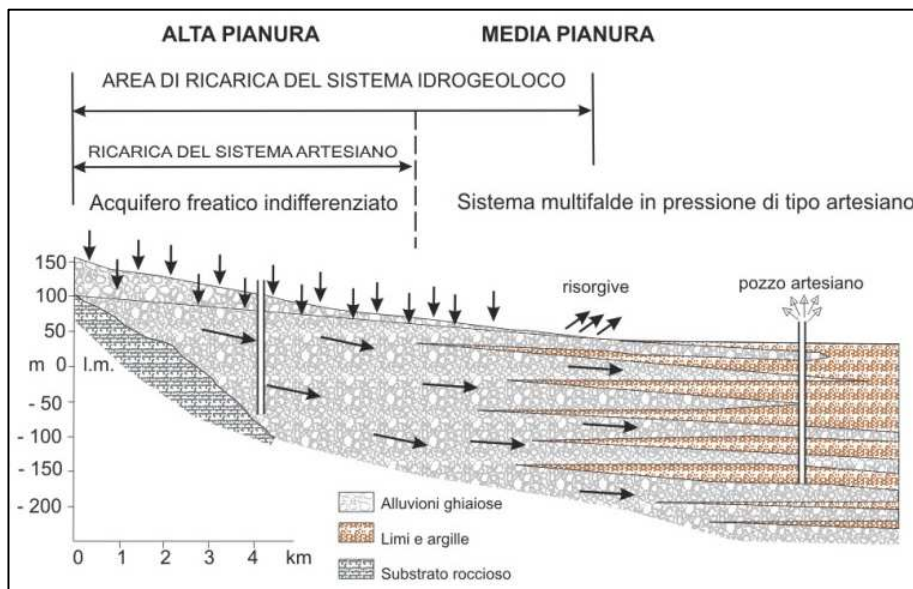


Panoramica dell'area d'indagine vista in direzione ovest

2) INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il presente capitolo riprende parte di quanto descritto nella relazione geologica di cui si è accennato in premessa, contestualizzando però quanto emerge dalla lettura della documentazione allegata al PAT del Comune di Verona.

Il contesto idrogeologico della provincia di Verona può essere schematizzato in tre distinti settori rappresentati nella successiva immagine.



Schema idrogeologico della pianura veronese

- a) **SETTORE COLLINARE – MONTUOSO**; la natura prevalentemente calcarea unitamente all'assetto strutturale ha favorito l'instaurarsi di un ben sviluppato carsismo. In tal senso i fenomeni carsici e di fratturazione sono talmente numerosi ed importanti che la circolazione idrica superficiale è presente solo in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi.
- b) **ALTA PIANURA**; tale unità (compresa fra i monti Lessini a nord, le colline moreniche dell'anfiteatro gardesano ad ovest e la fascia delle risorgive a sud) rappresenta una delle più cospicue riserve idriche sotterranee del Veneto. L'Alta Pianura è infatti sede di un acquifero freatico indifferenziato con direzione di deflusso approssimativamente Nord Ovest – Sud Est. L'elevata permeabilità e l'omogeneità del sottosuolo permettono

l'infiltrazione delle acque superficiali e fanno di questo territorio "area di ricarica" degli acquiferi.

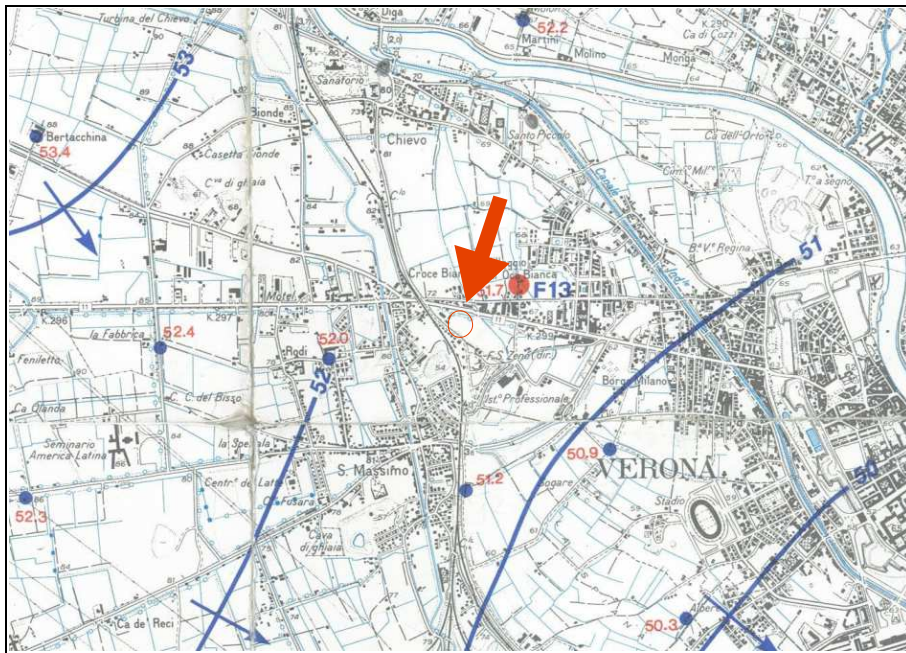
- c) **MEDIO - BASSA PIANURA**; a partire dal limite inferiore della fascia delle risorgive prende inizio il tipico ambiente di bassa pianura caratterizzato da litotipi di natura granulometrica fine e molto fine. Il sottosuolo è costituito da alternanze di orizzonti continui limo - argillosi e strati permeabili sabbiosi o ghiaioso sabbiosi; caratteristica è la sovrapposizione di *acquiclude* e di falde acquifere in pressione. In questa porzione di territorio prevalgono pertanto depositi a permeabilità medio bassa, utili alla protezione delle acque di qualità profonde.

Fra l'Alta e la Medio - Bassa Pianura vi è una fascia (detta "*delle risorgive*") ove il livello della superficie freatica interseca la superficie topografica con conseguente venuta a giorno della falda in una serie di fosse o risorgive di origine naturale.

I depositi ghiaioso - sabbiosi che costituiscono il sottosuolo dell'Alta Pianura (nello specifico anche dell'area d'indagine) rappresentano un importante acquifero freatico indifferenziato con direzione di deflusso da NW a SE, che ospita una falda di elevata potenzialità e la cui tavola d'acqua si trova a profondità variabile dal piano campagna in ragione della topografia dei luoghi e del gradiente della falda stessa. In linea generale la profondità della falda diminuisce da nord verso la porzione sud - orientale della città.

La "Carta idrogeologica dell'Alta Pianura dell'Adige", di cui un estratto è riportata nell'immagine seguente, colloca la falda in periodo di morbida ad una quota compresa tra 51 e 52 m s.l.m.. Considerando l'altezza topografica media del sito in oggetto, circa 66 m s.l.m., si evince che la falda freatica si attesta ad una profondità minima compresa tra 15 e 17 m dal piano campagna.

Come descritto nel capitolo successivo la falda freatica è stata rilevata all'interno di un piezometro installato in un foro di sondaggio eseguito centralmente all'area di progetto. Il livello piezometrico statico nel periodo d'indagine si è attestato alla profondità di 14.5 m dal piano campagna.



Estratto dalla "Carta Idrogeologica dell'Alta Pianura dell'Adige"
(da Dal Prà e De Rossi)

Nella "Carta delle particolarità idrogeologiche" allegata al P.T.P. della Provincia di Verona si osserva che nell'ambito della pianura, in cui è ubicata l'area in esame, è presente una permeabilità primaria per porosità generalmente alta, dovuta alla natura prevalentemente grossolana dei depositi presenti nel sottosuolo; tuttavia è possibile vi siano livelli più o meno continui dotati di permeabilità minore in funzione delle caratteristiche granulometriche, tessiturali ed del grado di cementazione dei depositi.



LEGENDA

-  Permeabilità generalmente alta per porosità.
-  Permeabilità medio bassa per porosità.
-  Ambiti di pianura ad elevata vulnerabilità idrogeologica.
-  Pozzo freatico principale e/o sondaggio (prof. falda (m) / prof. pozzo sondaggio (m)).

Estratto dalla "Carta delle particolarità Idrogeologiche"
allegata al P.T.P. della Provincia di Verona

In riferimento alle tematiche inerenti il presente studio, l'analisi del Piano di Assetto del Territorio del Comune di Verona ha evidenziato che nella “*Carta dei Vincoli e della Pianificazione Territoriale*” (Tav. 1) il sito d'indagine ricade nel seguente ambito:

- AREA DI RICARICA DEGLI ACQUIFERI (art. 32) (circostanza che comporta una prevenzione nei riguardi della falda freatica).

Nella “*Carta delle Fragilità*” (Tav. 3) il sito ricade nel seguente ambito:

- ZONA A VULNERABILITÀ INTRINSECA DEGLI ACQUIFERI ALTA (art. 38).

Nello specifico la vulnerabilità intrinseca degli acquiferi è riferita alle diverse unità geoambientali in cui è stato suddiviso il territorio che per l'area in esame ricade nell'unità “A” (unità delle aree di pianura e di fondovalle).

L'unità “A” è stata caratterizzata per la presenza di alluvioni fluviali e fluvioglaciali a composizione prevalentemente ghiaiosa ad elevata permeabilità primaria; presenza di strati di alterazione superficiale di scarsa potenza; morfologia pianeggiante con cigli e scarpate di terrazzi alluvionali, alvei e paleoalvei; dinamica geomorfologica fluviale e fluvioglaciale; presenza di falda libera a profondità maggiore di 10 m dal piano campagna.

Ai sensi dell'art. 38 delle Norme di Attuazione del PAT, è necessario verificare la compatibilità di qualsiasi intervento urbanistico ed edilizio con il grado di vulnerabilità.

Da un punto di vista “idrografico – amministrativo”, il sito in esame rientra nell'ambito dell'Autorità di Bacino del Fiume Adige e dall'analisi della cartografia allegata al P.A.I. (Piano di Assetto Idrogeologico) non ricade fra le aree soggette al rischio idraulico.

3) MODELLO IDROGEOLOGICO LOCALE

Le caratteristiche idrogeologiche dell'area d'indagine sono state definite analizzando le caratteristiche idrauliche del modello geologico descritto nella relazione geologica relativa all'opera in progetto, analizzando le informazioni relative al contesto idrogeologico generale in cui l'area si inserisce, rilevando direttamente in sito la permeabilità primaria per porosità "K" di alcuni livelli e rilevando in sito la quota piezometrica statica del livello freatico.

Le valutazioni idrauliche dei litotipi caratterizzanti il sottosuolo hanno fatto riferimento a delle tabelle note in letteratura geologica, in cui si associa la permeabilità primaria per porosità "K" alla granulometria del deposito.

Le tabelle utilizzate sono le seguenti:

G. Castany, 1982

K (cm/s)		10 ²	10 ¹	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Granulometria	omogenea	Ghiaia		Sabbia			Sabbia molto fine			Silt		Argilla	
	varia	Ghiaia grossa e media	Ghiaia e sabbia	Sabbia e argilla - Limi									
Gradi di permeabilità		ELEVATA					BASSA					NULLA	
Tipi di formazione		PERMEABILI					SEMI - PERMEABILI					IMPER.	

P. Colombo, 1974

Grado di permeabilità	Valori di K (cm/sec)
Alto	$> 10^{-1}$
Medio	$10^{-1} - 10^{-3}$
Basso	$10^{-3} - 10^{-5}$
Molto basso	$10^{-5} - 10^{-7}$
Impermeabile	$< 10^{-7}$

CLASSI DI PERMEABILITA' (D.G.R.V. 615/96)

> 1 cm/s	$1 - 10^{-04}$ cm/s	$10^{-04} - 10^{-06}$ cm/s	$< 10^{-06}$ cm/s
Terreni molto permeabili	Terreni mediamente permeabili	Terreni poco permeabili	Terreni praticamente impermeabili

In alcuni livelli rilevati durante l'esecuzione di un sondaggio litostratigrafico eseguito centralmente all'area in esame, sono state eseguite delle prove di permeabilità a fondo foro a carico variabile (prova in abbassamento, A.G.I. 1977), le quali hanno consentito di determinare sperimentalmente la permeabilità "K".

La tabella che segue descrive la quota di prova, la natura litologica dei materiali, il loro spessore, la "K" calcolata.

<i>MISURE DI PERMEABILITA'</i>				
<i>Quota da p.c. (m)</i>	<i>Litologia</i>	<i>K (cm/s)</i>	<i>Spessore (m)</i>	<i>Grado</i>
-19.0	Argilla limosa	10^{-06}	0.5	BASSO / MOLTO BASSO
-20.3	Limo con ghiaia	10^{-05}	0.1	BASSO
-27.6	Limo con ghiaia	10^{-05}	0.4	BASSO

L'installazione di un tubo piezometrico all'interno del foro di sondaggio ha consentito di rilevare, dopo un adeguato tempo di assestamento, la quota piezometrica statica del livello di falda, la quale si è attestata alla **profondità di -14.5 m dal piano campagna**, ovvero alla quota assoluta di circa **50.5 m s.l.m.**.

L'area nel suo insieme è caratterizzata da un potente acquifero freatico indifferenziato, il cui spessore è parecchie decine di metri, costituito da litologie ghiaiose – ciottolose in matrice sabbiosa o limoso sabbiosa con permeabilità primaria per porosità qualitativamente di grado **ALTO** ("K" $>10^{-02}$ cm/s).

Localmente la continuità verticale dell'acquifero risulta interrotta dalla presenza di tre lenti di terre fini argillose / limose di ridotto spessore (≤ 0.5 m) alla profondità variabile da -19 a -28 m dal p.c. con grado di permeabilità "K" **BASSO** o **MOLTO BASSO**.

La direzione di deflusso della falda freatica ha un'orientazione da Nord Ovest verso Sud Est.

4) CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio idrogeologico descritto nella presente relazione integra quanto descritto nella relazione geologica – geotecnica – sismica relativa al progetto di ampliamento di un supermercato all'interno di un'area ubicata in Via Spaziani in prossimità di C.so Milano a Verona.

In riferimento all'art. 38 delle Norme di Attuazione del Piano di Assetto del Territorio del Comune di Verona lo studio idrogeologico ha avuto l'obiettivo di valutare la compatibilità degli interventi di progetto rispetto alla vulnerabilità dell'acquifero caratterizzante il sottosuolo dell'area di progetto.

In riferimento al modello idrogeologico locale e di quanto previsto dagli interventi di progetto si ritiene che quanto sarà realizzato non andrà ad incidere sulla vulnerabilità dell'acquifero, poiché gli interventi non interferiranno con il regime delle acque sotterranee (tra le strutture di fondazione e la falda freatica esiste un franco di circa 7 / 8 m) e non saranno realizzati sistemi di smaltimento dei reflui nel suolo che possano alterare le condizioni idrochimiche delle acque stesse.

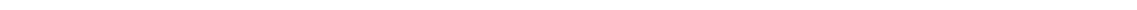
Lì, settembre 2023

Dott. Geol. Enrico Nucci



Dott. Geol. Andrea Garbelli





PROVINCIA DI VERONA

COMUNE DI VERONA

PROGETTO PER L'AMPLIAMENTO DI UN
SUPERMERCATO IN PROSSIMITA' DI CORSO MILANO

VALUTAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

(ai sensi delle D.G.R. n. 1322/2006 e n. 2948/2009)

Committente:
IMMOBILIARE CINQUERRE S.P.A.

Dott. Ing. Elena Nucci

Località d'indagine:

Corso Milano

Comune di Verona

Data: 21 giugno 2024



ENRICO NUCCI – Geologo
ELENA NUCCI - Ingegnere
FRANCESCA NUCCI -Ingegnere
Via Albere 132 - 37137 Verona
Via Gardesana 48 - 37010 Torri
tel e fax 045/8622408
cell +039 335.7597710



Dott. Geol. Enrico Nucci



INDICE

1. PREMESSA.....	3
1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO e GEOMORFOLOGICO	5
3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO e idrografico	8
4. ANALISI DEI VINCOLI.....	10
5. DESCRIZIONE DEL PROGETTO E DELLA NUOVA DESTINAZIONE D'USO DEL SUOLO ...	13
6. ANALISI IDROLOGICA	14
6.1 Stima del coefficiente di deflusso	15
7. ANALISI DEL VOLUME DI PIOGGIA	16
7.1 Analisi del volume di dilavamento da superfici carrabili	19
8. PROPOSTA DI GESTIONE DEI VOLUMI METEORICI	19
9. CONCLUSIONI.....	22

1. PREMESSA

Nell'ambito del progetto di ampliamento di un edificio a uso commerciale in cui trova sede un supermercato con altre attività collaterali, viene redatto il presente studio in conformità a quanto indicato dalla Delibera della Giunta Regionale 13 dicembre 2002 n. 3637 successivamente integrata e aggiornata dalla Delibera Regionale n. 1322 del 10 maggio 2006, poi modificata dalla D.G.R. n. 2948 del 6 ottobre 2009, la quale prevede che per tutti gli strumenti urbanistici generali e le varianti, generali o parziali o che, comunque, possano recare trasformazioni del territorio tali da modificare il regime idraulico esistente, sia presentata una "Valutazione di compatibilità idraulica".



Immagine dell'intervento progettuale.

Il progetto prevede la realizzazione di un nuovo edificio limitrofo all'esistente, la sistemazione delle aree di parcheggio e la modifica della viabilità interna alla proprietà. La superficie complessiva dell'area indagata su cui sorgerà il nuovo edificio è circa 8.000 mq ed è ubicata in Via Gracco Spaziani, parallela di Corso Milano a Verona. Le coordinate geografiche centrali all'area sono (sistema di riferimento WGS84 in gradi decimali): Latitudine 45,44507 N, longitudine 10,95203 E.

Scopo del presente elaborato è di fornire il volume di pioggia da gestire nell'area di progetto in relazione all'assetto idraulico dell'area verificando le possibili interazioni e interferenze e prospettando soluzioni atte a

garantire il corretto regime idraulico. Le valutazioni idrauliche di seguito riportate sono state ponderate, sulla base di quanto indicato dalla normativa di riferimento.

1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata redatta in ottemperanza alla seguente Normativa di riferimento e alle seguenti raccomandazioni:

Legge 03.08.1998, n°267 Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e idrogeologico. Indicazioni per la formazione di nuovi strumenti urbanistici.

Legge 179 31.07.2002 Disposizioni in materia ambientale.

D.G.R.V. 13.12.2002 n° 3637 Disposizioni per la VCI

L.R. 23.04.2004 n° 11 e s.m.i. Modifica l'approccio alla VCI

D.Lgs. 03.04.2006 n° 152 e s.m.i. Norme in materia ambientale.

D.G.R.V. 10.05.2006 n° 1322 Modalità operative e indicazioni tecniche VCI

Allegato A alla D.G.R.V. 10.05.2006 n° 1322 VCI idraulica per la redazione degli strumenti urbanistici. Modalità operative e indicazioni tecniche.

D.G.R.V. 24.07.2007 n° 2267 Piano di Tutela delle Acque. Approvazione delle norme di salvaguardia.

D.G.R.V. 06.10.2009 n° 2948 Nuove indicazioni per la formazione degli strumenti urbanistici. Modifica delle delibere n. 1322/2006 e n. 1841/2007.

Allegato A alla D.G.R.V. 06.10.2009 n° 2948 VCI per la redazione degli strumenti urbanistici. Modalità operative e indicazioni tecniche.

D.G.R.V. 05.11.2009 n° 107 Piano di tutela delle acque (P.T.A.). Norme per il governo del territorio.

D.G.R.V. 27/01/2011 n° 80 Norme tecniche di attuazione del Piano di Tutela delle Acque - Linee guida applicative.

D.G.R.V. 15/05/2012 n° 842 Modifica e approvazione del testo integrato delle norme tecniche di attuazione del Piano di Tutela delle Acque.

D.G.R.V. 28/08/2012 n° 1770 Piano di Tutela delle Acque. Precisazioni.

D.G.R.V. 03/11/2015 n° 1534 Allegato A Piano di Tutela delle Acque. Modifiche.

Direttiva Europea 2007/60/CE – PGRI 2021-2027 Piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico delle Alpi orientali.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

La zona d'indagine da un punto di vista geologico - geomorfologico generale s'inserisce nell'ambito deposizionale dell'Alta Pianura veronese tra le ultime propaggini lessinee a nord e la linea delle risorgive a sud. In generale l'intero territorio della Provincia di Verona è schematizzato in tre differenti contesti geomorfologici e geolitologici:

- A. **SETTORE COLLINARE – MONTUOSO**; zona del territorio veronese caratterizzata dalle ultime propaggini dei Monti Lessini, costituiti da un tavolato roccioso prevalentemente calcareo che, proteso verso Sud, degrada progressivamente fino ad immergere sotto i depositi alluvionali dell'Alta Pianura.
- B. **ALTA PIANURA**; tale zona si estende verso sud dai Monti Lessini fino alla fascia dei fontanili. L'evoluzione geomorfologica e geologica della pianura veronese è legata principalmente all'interferenza fra il Fiume Adige (agente morfogenetico), le variazioni climatiche che si sono succedute durante il Quaternario e le conseguenti variazioni di portata del corso d'acqua a carattere fluvioglaciale. L'alternanza di fasi di espansione e di ritiro glaciale, con le conseguenti variazioni del flusso idrico e del trasporto solido, hanno determinato la costruzione dello spesso materasso alluvionale che si estende, con forma a ventaglio (conoide), dallo sbocco della Val d'Adige fino a Legnago. Fra la parte apicale del conoide, caratterizzata da granulometrie prevalentemente grossolane (Alta Pianura), e la parte più distale del conoide (Media e Bassa Pianura) si determina una progressiva diminuzione granulometrica dei depositi. Il passaggio dall'Alta alla Bassa Pianura è segnato dal limite superiore della fascia delle risorgive, zona entro cui la superficie piezometrica intercetta quella topografica con conseguente venuta a giorno della falda.
- C. **BASSA PIANURA**; tale zona rappresenta la parte distale del conoide dell'Adige dove l'energia idrodinamica a disposizione per il trasporto, essendo minore, ha determinato l'accumulo di sedimenti a granulometria prevalentemente fine.

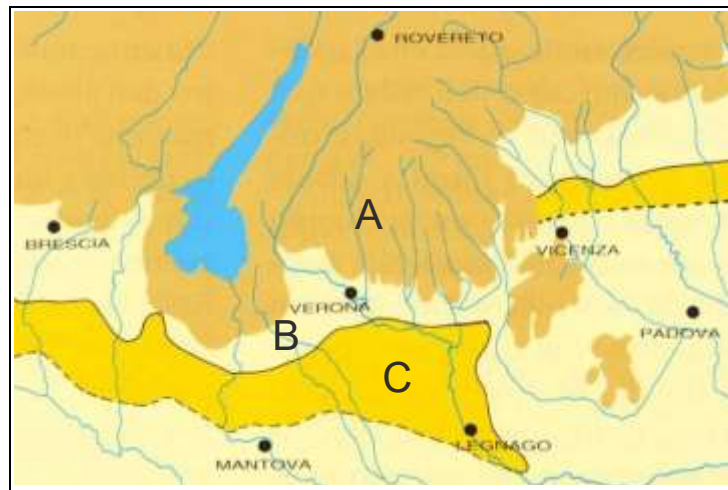
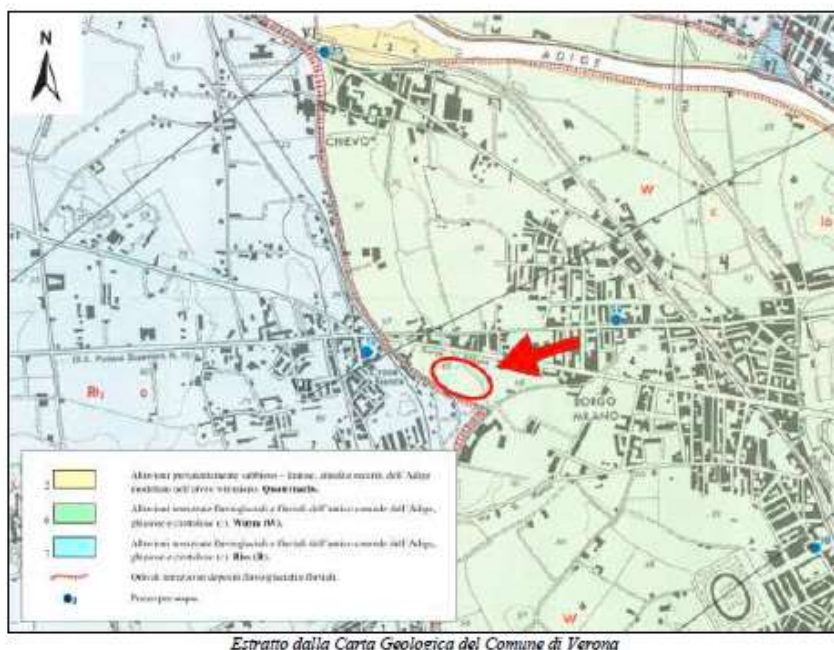


Fig. 2.1: Posizione dei tre contesti geomorfologici
(estratto da Etsch Adige – Il fiume gli uomini la storia, 1997)

Le litologie dell'Alta Pianura veronese derivano dall'accumulo di grandi quantitativi di materiali granulari (ghiaie, ciottoli, sabbie e limi) la cui successione stratigrafica riflette le variazioni climatiche e capacità di trasporto della rete idrografica. Nel periodo quaternario lo scioglimento delle coltri glaciali atesine, dovuto all'incremento di temperatura post-glaciale, potenziò enormemente la capacità di trasporto della rete idrografica permettendo così l'accumulo d'ingenti quantità di sedimenti prevalentemente grossolani. L'eterogeneità granulometrica dei depositi è da porre in relazione con le variazioni del regime idrico: deposizione di ciottoli e ghiaie è espressione di alta energia idrodinamica, mentre sabbie e limi sono espressione di bassa energia idrodinamica.

La successiva immagine riporta un estratto della "Carta Geologica del territorio del Comune di Verona" (V. De Zanche et al.; 1977).



La carta geologica consente di verificare la presenza di depositi sedimentari e strutture geomorfologiche di età differente, riconducibili all'evoluzione idrografica attuale e pregressa del fiume Adige. Le principali morfologie, laddove non obliterate da antropizzazione ed urbanizzazione, sono riconducibili a dinamiche fluviali e sono evidenziate da ampie superfici terrazzate, poste a quote altimetriche differenti e delimitate da scarpate di erosione fluviale. Nello specifico l'area d'indagine è delimitata nel margine sud-ovest da una scarpata di un terrazzo morfologico di origine fluvio-glaciale / fluviale, di altezza pari a circa 8 / 10 m. L'area studio è inserita nel contesto geolitologico delle "ALLUVIONI TERRAZZATE FLUVIOGLACIALI E FLUVIALI DELL'ANTICO CONOIDE DELL'ADIGE, GHIAIOSE E CIOTTOLOSE DI ETÀ WURMIANA". Tali accumuli sedimentari sono rinvenibili sino a parecchie decine di metri di profondità dal piano campagna. La dominanza delle litologie granulari (salvo occasionali intercalazioni lentiformi coesive e talora conglomeratiche) risulta confermata dalle successioni stratigrafiche relative ai pozzi per acqua ubicati nelle vicinanze dell'area d'indagine. In particolare i pozzi denominati "12" e "14" riportati nell'estratto della carta geologica hanno la seguente stratigrafia:

<u>POZZO 12</u>	<u>PROFONDITÀ (m da p.c.)</u>	<u>LITOLOGIA</u>
	0,0 ÷ 12,0	Ghiaia e ciottoli
	12,0 ÷ 54,0	Ghiaia e sabbia
	54,0 ÷ 65,0	Ghiaia e ciottoli, conglomerato.
	65,0 ÷ 90,0	Ghiaia e sabbia

Pozzo 14	PROFONDITÀ (m da p.c.)	LITOLOGIA
	0,0 ÷ 20,0	Ghiaia e sabbia
	20,0 ÷ 23,0	Argilla
	23,0 ÷ 48,0	Ghiaia e sabbia

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza continua, sino alla profondità di 35 m, ma le fonti bibliografiche consentono di stimare profondità molto maggiori, di litologie incoerenti costituite da ghiaie e ciottoli eterometriche in matrice sabbiosa o limoso sabbiosa appartenenti al materasso alluvionale di origine fluviale e fluvioglaciale generato dall'attività idrodinamica del fiume Adige.

Lo stato di addensamento dei materiali è elevato in superficie e molto elevato oltre la profondità di 1.5 / 4.5 m.

In riferimento ai parametri litologici, geotecnici e sismici rilevati con le indagini geognostiche eseguite in sito, sono stati descritti quattro Orizzonti litotecnici (A, B, C, D), di cui il primo con spessore discontinuo: minore nella zona centrale dell'area d'indagine e nel quadrante sud-ovest (spessore 2 / 3 m); maggiore nel quadrante sud-est (spessore 2.5 / 4.5 m).

3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO

Dal punto di vista idrogeologico la provincia di Verona può essere schematizzata in tre distinti settori che riprendono quanto descritto nel contesto geolitologico - geomorfologico:

- A. **SETTORE COLLINARE – MONTUOSO**; la natura prevalentemente calcarea unitamente all'assetto strutturale ha favorito l'instaurarsi di un ben sviluppato carsismo. In tal senso i fenomeni carsici e di fratturazione sono talmente numerosi e importanti che la circolazione idrica superficiale è presente solo in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi.
- B. **ALTA PIANURA**; compresa fra i monti Lessini a nord, le colline moreniche dell'anfiteatro gardesano ad ovest e la fascia delle risorgive a sud, rappresenta una delle più cospicue riserve idriche sotterranee del Veneto. L'Alta Pianura è infatti sede di un acquifero freatico indifferenziato con direzione di deflusso approssimativamente Nord Ovest – Sud Est. L'elevata permeabilità e l'omogeneità del sottosuolo permettono l'infiltrazione delle acque superficiali e fanno di questo territorio "area di ricarica" degli acquiferi.

C. **MEDIO - BASSA PIANURA**; a partire dal limite inferiore della fascia delle risorgive prende inizio il tipico ambiente di bassa pianura caratterizzato da litotipi di natura granulometrica fine e molto fine. Il sottosuolo è costituito da alternanze di orizzonti continui limo - argillosi e strati permeabili sabbiosi o ghiaioso sabbiosi; caratteristica è la sovrapposizione di *acquiclude* e di falde acquifere in pressione.

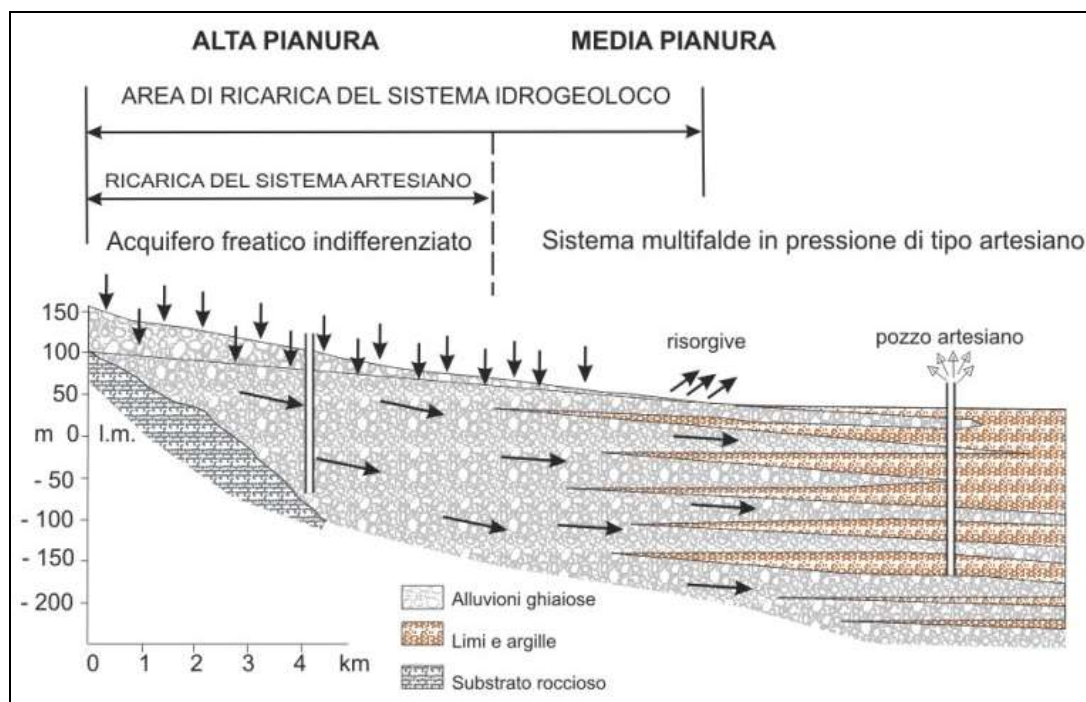


Fig. 3.1: Schema idrogeologico della pianura veronese

Fra l'Alta e la Medio - Bassa Pianura, vi è una fascia (detta "delle risorgive") ove il livello della superficie freatica interseca la superficie topografica con conseguente venuta a giorno della falda in una serie di fosse o risorgive di origine naturale.

I depositi ghiaioso - sabbiosi che costituiscono il sottosuolo dell'Alta Pianura (nello specifico anche dell'area d'indagine) rappresentano un importante acquifero freatico indifferenziato con direzione di deflusso da NW a SE, che ospita una falda di elevata potenzialità e la cui tavola d'acqua si trova a profondità variabile dal piano campagna in ragione della topografia dei luoghi e del gradiente della falda stessa. In linea generale la profondità della falda diminuisce da nord verso la porzione sud - orientale della città.

Nell'area d'indagine non sono state rilevate penalità di tipo geologico o geotecnico per la realizzazione delle opere edili, mentre ai fini urbanistici esiste un vincolo di tutela idrogeologica in quanto l'area d'indagine rientra nell'area di ricarica degli acquiferi.

La falda freatica è stata rilevata alla profondità di -14.5 m e non interferirà con le opere strutturali previste nel progetto.

4. ANALISI DEI VINCOLI

In riferimento alle tematiche inerenti il presente studio, l'analisi del Piano di Assetto del Territorio del Comune di Verona ha evidenziato che nella "Carta dei Vincoli e della Pianificazione Territoriale" (Tav. 1) il sito d'indagine ricade nel seguente ambito:

- AREA DI RICARICA DEGLI ACQUIFERI (art. 32) (circostanza che comporta una prevenzione nei riguardi della falda freatica).

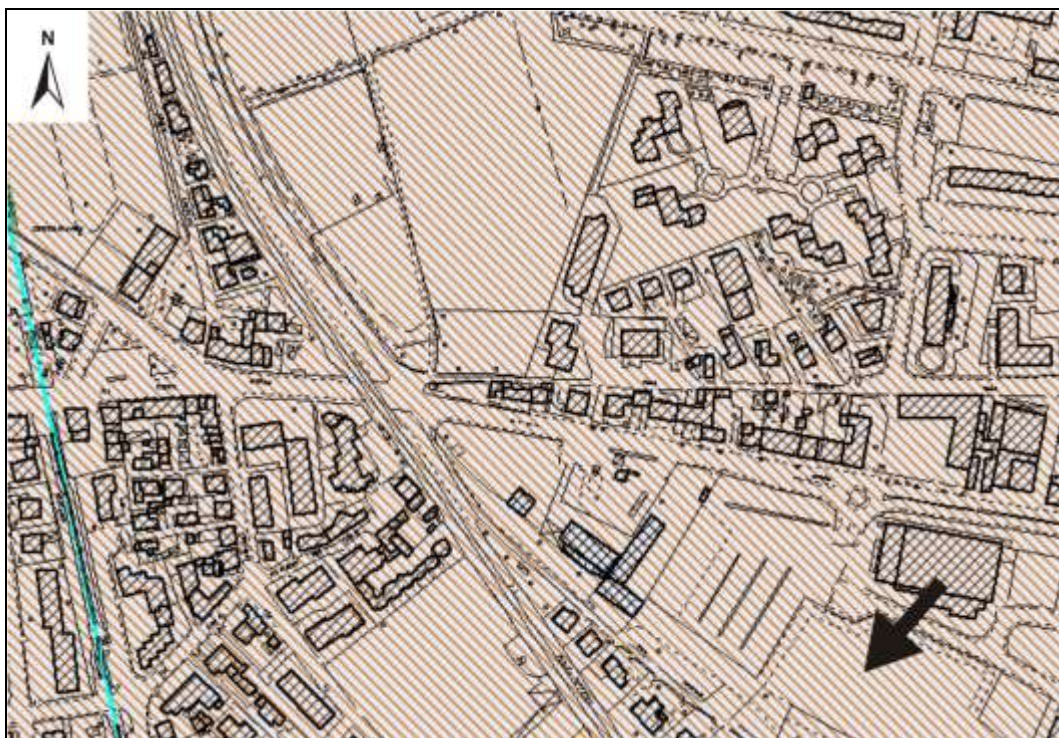


Estratto dalla "Carta dei Vincoli e della Pianificazione Territoriale" del P.A.T. di Verona (Tav. 1).

In riferimento alle opere in progetto e nel contesto idrogeologico (descritto in apposita relazione allegata alla presente) in cui queste andranno ad inserirsi, tale ambito non rappresenta un elemento tale da inibirne la realizzazione. La "Carta delle Invarianti" (Tav. 2) nella zona d'interesse progettuale non evidenzia alcun tipo di vincolo legato alla presenza di ambiti territoriali caratterizzati da particolari evidenze ed unicità geologiche.

Nella "Carta delle Fragilità" (Tav. 3) il sito ricade nei seguenti ambiti:

- TERRENO OTTIMO SECONDO LE PENALITÀ AI FINI EDIFICATORI (art. 37);
- ZONA A VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI ALTA (UNITÀ "A") (art. 38).



Estratto dalla “Carta delle Fragilità” del P.A.T. di Verona (Tav. 3)

In relazione alle Norme di Attuazione del P.A.T., all’interno delle aree caratterizzate da *terreno ottimo* (art. 37) non vi è alcun limite all’edificabilità.

Per quanto riguarda l’appartenenza ad ambiti caratterizzati da *vulnerabilità alta degli acquiferi* (art. 38) è necessario verificare la compatibilità di qualsiasi intervento urbanistico ed edilizio con il grado di vulnerabilità; inoltre tutti gli interventi devono rispettare le previsioni del Piano regionale di Tutela delle Acque (P.T.A.) adottato con D.G.R.V. n. 4453 del 29 dicembre 2004 e successivamente approvato con D.G.R.V. n. 107 del 5 novembre 2009.

Infine, da un punto di vista “idrografico – amministrativo”, il sito oggetto di studio rientra nell’ambito dell’Autorità del Distretto delle Alpi Orientali e dall’analisi della cartografia allegata al P.G.R.A. (Piano Generale del Rischio Alluvioni), tale area ricade in aree non mappate



Fig. 4.4: mappa della pericolosità idraulica con evidenziata l'area di intervento



Fig. 4.5: mappa del rischio idraulico con evidenziata l'area di intervento

5. DESCRIZIONE DEL PROGETTO E DELLA NUOVA DESTINAZIONE D'USO DEL SUOLO

L'intervento a progetto riguarda la realizzazione di un ampliamento del supermercato Rossetto di Corso Milano di Verona, con rifacimento del piazzale adibito a parcheggio, la riqualificazione della viabilità di accesso, sia carrabile che ciclo-pedonale e il ripristino di alcune aree verdi.

Nello specifico l'intero ambito di intervento riguarda 3.6 ha di cui circa 1.15 ha destinati a verde pubblico e privato, 0.33 ha saranno destinati a parcheggi realizzati con pavimentazione semipermeabile, 0.73 ha saranno destinati alla viabilità e i restanti 1.39 ha a coperture, di cui 0.3 ha riguardano l'edificio già esistente.



Immagine dell'intervento progettuale.

Tabella 5.1: tipologie di superfici a progetto

Tipologia di superfici		mq
permeabili	verde pubblico e privato	11513.00
semipermeabili	pavimentato semipermeabile	3291.00
impermeabili	coperture	13942.57
	pavimentato carrabile	7338.43
totale		36085.00

Per il seguente dimensionamento si assume che:

- le aree verdi siano in grado di assorbire i relativi volumi di pioggia pertanto non vengono

considerate nei calcoli dei sistemi di raccolta e smaltimento;

- le reti di raccolte delle acque meteoriche dovranno essere distinte tra quelle relative alle coperture, poiché l'acqua che cade su queste superfici è considerata pulita e può essere riutilizzata ad esempio a scopi irrigui e comunque dispersa nell'immediato sottosuolo, dalle acque delle aree carrabili, che saranno separate in acque di prima pioggia, che va trattata prima del recapito finale, e acque di seconda pioggia che non necessitano di trattamento;
- per le aree a parcheggio realizzate con pavimentazione drenante si suggerisce di realizzare un sistema di trattamento delle acque di prima pioggia.

Data la presenza di un terreno in sito caratterizzato da elevata permeabilità e di una falda superficiale profonda, posta ad una quota superiore ai 10 m dal piano campagna, si può considerare che i volumi di pioggia che cadranno sulle superfici drenanti a progetto, ovvero le aree a verde profondo e quelle con pavimentazione drenante, verranno disperse direttamente per filtrazione nel terreno.

Nel seguito si effettuerà l'analisi del volume generato da un evento estremo del luogo e di alcune proposte per garantire una corretta gestione dei volumi di pioggia individuati.

6. ANALISI IDROLOGICA

Un'adeguata conoscenza del regime delle piogge intense costituisce un elemento di fondamentale importanza per un'esauriente definizione delle caratteristiche climatiche del territorio ed è requisito essenziale per la valutazione del rischio idraulico e idrogeologico.

Le curve di possibilità pluviometrica descrivono le piogge caratteristiche per diversi tempi di ritorno di ogni zona, e la loro definizione dipende da solo due parametri detti a e n . Per ottenere questi parametri si elaborano statisticamente i dati dalle serie storiche dei massimi annuali delle altezze di precipitazione per le durate brevi ovvero gli scrosci di 15, 20, 45 minuti e le piogge orarie di 1, 3, 6, 12, 24 ore registrate dal pluviografo. I dati misurati possono essere rappresentati dalle leggi teoriche di distribuzione (LogNormale, Gumbel). In seguito all'elaborazione statistica i valori ottenuti sono stati utilizzati per costruire la curva di possibilità pluviometrica della forma:

$$h = a t_p^n$$

L'analisi è stata effettuata a partire dai dati pluviometrici della stazione pluviometrica di Verona Parco

dell'Adige e disponibili sul sito ARPAV¹ che sono distinti tra valori per gli scrosci e per le piogge orarie:

Parametri delle curve di possibilità pluviometriche con durata <1h (espressa in ore)			Parametri delle curve di possibilità pluviometriche con durata 1-24h (espressa in ore)		
Tempo di ritorno	a	n	Tempo di ritorno	a	n
2 anni	39.538	0.531	2 anni	33.686	0.176
5 anni	57.476	0.550	5 anni	46.346	0.154
10 anni	69.364	0.558	10 anni	54.731	0.145
20 anni	80.773	0.563	20 anni	62.775	0.138
50 anni	95.546	0.568	50 anni	73.188	0.131

La norma prevede di prendere i parametri riferiti al tempo di ritorno di 50 anni e di scegliere tra i parametri per gli scrosci o per le piogge orarie sulla base del tempo critico di pioggia. Poiché la definizione del tempo critico non è univoca e spesso si utilizzano relazioni parametriche per il presente dimensionamento si andrà a valutare l'idrogramma di pioggia e si faranno successivamente considerazioni sul tempo di pioggia critico.

Un punto nodale delle analisi idrologiche concerne la relazione fra la scala caratteristica dei bacini chiusi alla sezione in cui deve essere valutata la portata di piena e la scala caratteristica delle precipitazioni critiche per quel bacino. Data la limitata estensione dell'area si assume una pioggia costante distribuita nello spazio.

6.1 Stima del coefficiente di deflusso

Il livello di permeabilità delle superfici viene espresso attraverso il coefficiente di deflusso ϕ , indice del volume meteorico efficace ai fini del deflusso. I valori di ϕ vengono convenzionalmente assunti come indicato dall'allegato alla D.G.R. 2948 e come di seguito esposto:

Tabella 6.1: valori di ϕ vengono convenzionalmente assunti come indicato dall'allegato alla D.G.R. 2948

Superficie	ϕ
Aree agricole	0,10
Superfici permeabili (aree verdi)	0,20
Superfici semipermeabili (grigliati drenanti, strade in terra battuta, ecc.)	0,60
Superfici impermeabili (tetti, terrazze, strade, piazzali, ecc.)	0,90

L'influenza delle singole superfici in funzione della specifica destinazione d'uso viene computata attraverso

¹ https://wwwold.arpa.veneto.it/bollettini/storico/precmax/0452_pmax.htm

una media ponderata dei coefficienti di deflusso φ_i :

$$\varphi = \sum_i \varphi_i S_i / S_{tot}$$

Il coefficiente di deflusso ponderato sull'intero ambito risulta pari a 0.6. Considerando solo le superfici per cui viene dimensionato il sistema di raccolta e smaltimento delle meteoriche, ovvero le aree impermeabili e semipermeabili, il coefficiente di deflusso ponderato risulta pari a 0.9, poiché, come spiegato anche al paragrafo precedente, si considera che i volumi di pioggia che cadono sulle superfici permeabili vengano dispersi direttamente nel terreno per filtrazione.

7. ANALISI DEL VOLUME DI PIOGGIA

Il deflusso superficiale dipende quasi esclusivamente dall'intensità di pioggia, dalla capacità d'infiltrazione e dalla morfologia del bacino imbrifero. La portata del colmo dell'onda di piena può essere stimata in modo semplificato con la formula razionale, sviluppata nell'ipotesi che la pioggia sia costante.

Il calcolo quindi della massima portata, partendo da un'analisi della linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP) riferita alla stazione pluviometrica di riferimento. Il calcolo della portata defluente viene effettuato attraverso la formula razionale:

$$Q_p = \frac{I \cdot A \cdot \varphi}{3.6} [m^3 / s]$$

con:

I = intensità di pioggia in mm/ora

A = superficie scolante in kmq

φ = coefficiente di deflusso in questo caso risulta pari a 0.9.

3.6 = valore di conversione metrica

dove l'intensità di pioggia, I , si ricava dalla curva di possibilità pluviometrica ed è pari a:

$$I = a t_p^{n-1}$$

Per ottenere l'andamento del volume di pioggia nel tempo si moltiplica la portata calcolata con il metodo razionale per il tempo di pioggia, per ogni tempo di pioggia: con il seguente approccio il volume di pioggia non è limitato ma cresce per tutta la durata variabile della pioggia con una curva rappresentativa della superficie in esame, ovvero dell'uso del suolo, e delle caratteristiche di piovosità della zona. Si vuole specificare che il volume di pioggia così calcolato rappresenta l'integrale della portata di pioggia nel tempo.

$$V_{pioggia} = Q_p t_p$$

con $V_{pioggia}$ espresso in mq.

Il volume di pioggia che interessa tutta la superficie impermeabile a progetto per un evento di pioggia con tempo di ritorno 50 anni, e utilizzando i parametri relativi alle piogge orarie che rappresentano lo scenario più gravoso, è riportato in grafico 7.1:

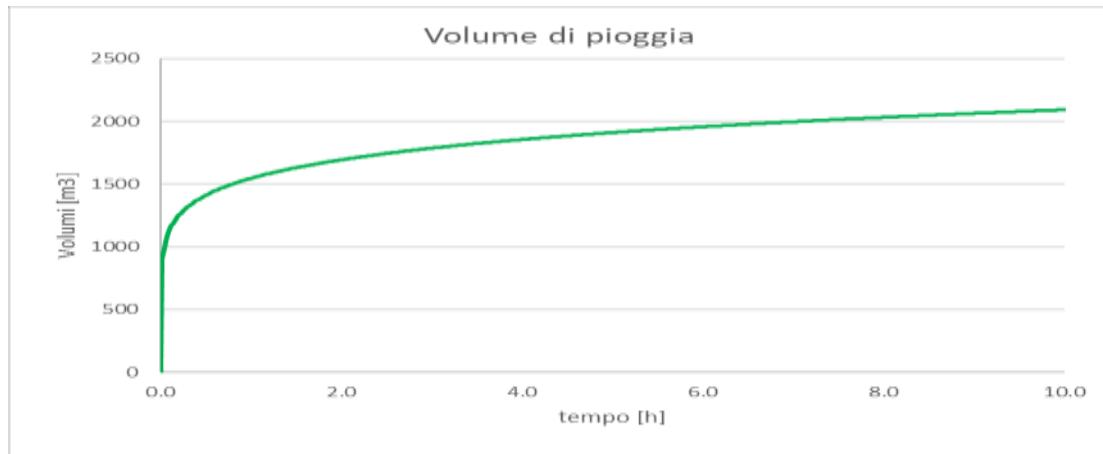


Grafico 7.1: Volume di pioggia per un evento con tempo di ritorno 50 anni.

Ipoteticamente la pioggia con tempo di ritorno 50 anni potrebbe continuare nel tempo con la stessa intensità all'infinito anche se nel grafico 7.1 è stata interrotta dopo 10 ore intendendo questo un periodo infinito.

Per avere un'indicazione di massima sul volume da gestire sull'area si può ipotizzare che l'evento di tale intensità duri circa un'ora, ovvero circa 1550 mc come risulta dal grafico 7.2:

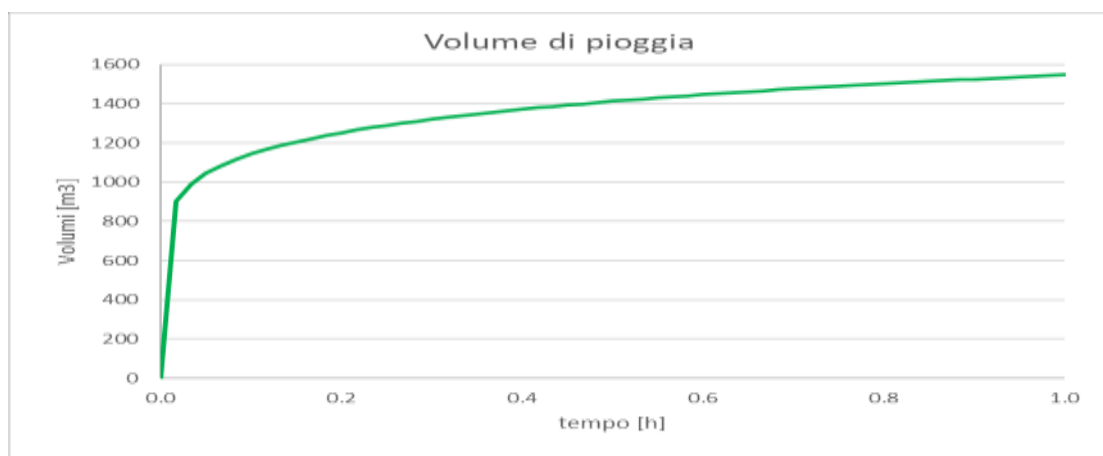


Grafico 7.2: Volume di pioggia per un evento di un'ora con tempo di ritorno 50 anni.

Per gestire questo volume di pioggia, date le caratteristiche molto favorevoli del sito ovvero la presenza di un terreno con elevata permeabilità e di una falda profonda, è stato pensato un sistema di raccolta che porti le

acque in dispersione sul suolo. Per il dimensionamento della rete di raccolta conviene distinguere le superfici in:

- coperture poiché l'acqua che cade su queste superfici è considerata pulita e non necessita di trattamento prima dello scarico e è adatta al riuso irriguo o sanitario;
- superfici carrabili, le cui acque meteoriche, per normativa, sono distinte in acque di prima pioggia, che viene trattata prima del recapito finale, e acque di seconda pioggia che non necessitano di trattamento.

Si riportano nel seguito i contributi delle superfici come appena distinte e risultano indicativamente: circa 880 mc dalle coperture e circa 670 mq dalle superfici pavimentate carrabili.

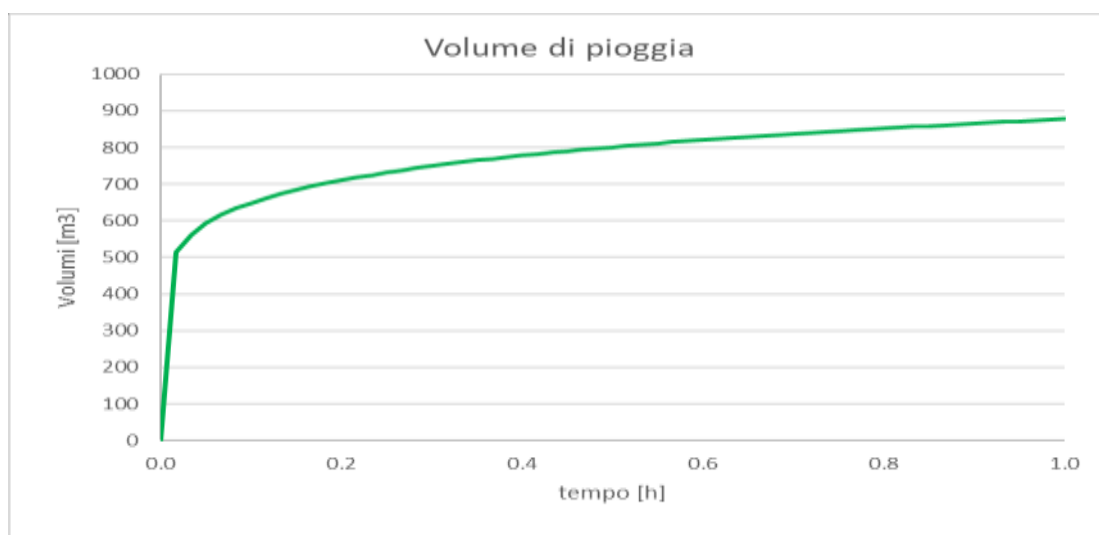


Grafico 7.3: Volume di pioggia dalle coperture per un evento di un'ora con tempo di ritorno 50 anni.

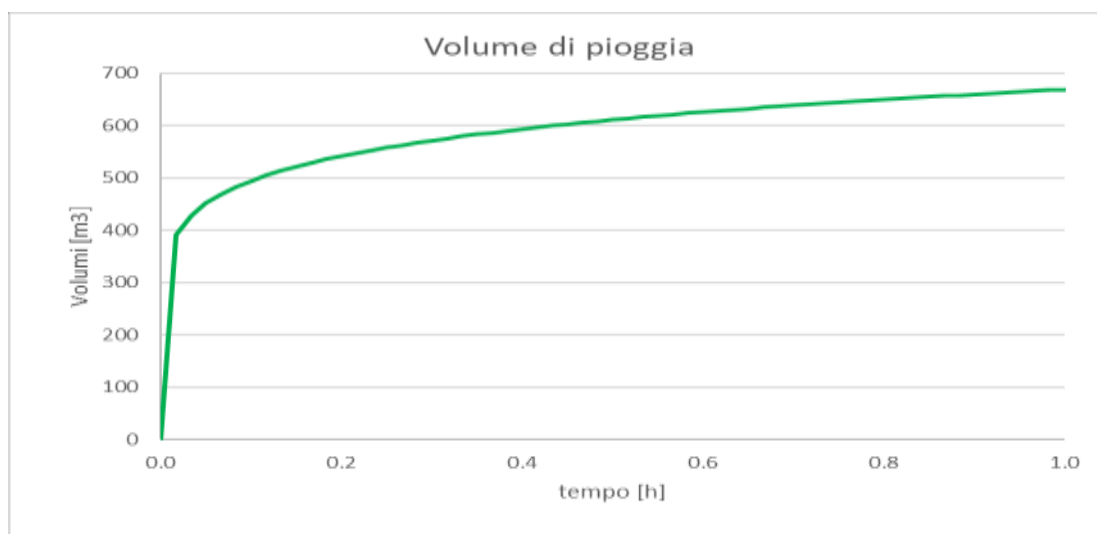


Grafico 7.4: Volume di pioggia dalle superfici carrabili per un evento di un'ora con tempo di ritorno 50 anni.

7.1 Analisi del volume di dilavamento da superfici carrabili

Come descritto nei paragrafi precedenti nell'area di intervento sono previsti circa 10630 mq di superficie impermeabile e semipermeabile carrabile. Di questi circa 7340 mq saranno destinati a viabilità e i restanti 3290 mq circa saranno destinati a parcheggi.

Dal punto di vista normativo le acque di prima pioggia corrispondono ad una o più precipitazioni atmosferiche di altezza complessiva almeno pari a 5 mm uniformemente distribuite sull'intera superficie scolante servita dalla rete di drenaggio. Ai fini del calcolo delle portate, si stabilisce che tale valore si verifichi in 15 minuti e si assume un coefficiente di deflusso per le aree impermeabili pari a 1.

Si riportano indicativamente i volumi d'acqua considerati di prima pioggia per le aree carrabili soggette al trattamento, calcolati dal prodotto tra la superficie carrabile e l'altezza di 5 mm di pioggia:

Tabella 6.1: Volumi indicativi vasche di prima pioggia da parcheggi.

area mq	Volume minimo vasca in mc
10630	53.1

Tali acque meteoriche, che defluiscono negli istanti iniziali di un evento meteorico, sono potenzialmente cariche di sostanze inquinanti poiché svolgono un'azione di "lavaggio" delle superfici scoperte e dell'atmosfera, pertanto devono essere sottoposte ad uno specifico trattamento, ovvero, vista la tipologia di attività, ovvero area carrabile adibita a parcheggio in cui non è previsto l'utilizzo di sostanze pericolose, si effettuerà un trattamento di dissabbiatura e disoleatura. Per il trattamento possono essere realizzate vasche di sedimentazione collegate tramite una pompa al disoleatore oppure sistemi in continuo.

8. PROPOSTA DI GESTIONE DEI VOLUMI METEORICI

Si propongono nel seguito alcuni suggerimenti per una corretta gestione dei volumi di pioggia calcolati come distinti al paragrafo precedenti:

- coperture: l'acqua che cade su queste superfici è considerata pulita e non necessita di trattamento ed è la quota parte del volume meteorico più indicata per essere riutilizzata sia a fini irrigui che sanitari, rispettando l'idea di autogestire il volume di pioggia all'interno del sito. Sarà da valutare in fase esecutiva il sistema di accumulo formato da una o più cisterne, prefabbricate o meno, dislocate in pianta e collegate con un sistema di troppo pieno che porti eventuali volumi in eccesso in dispersione nel terreno;

- superfici pavimentate carrabili: in accordo con il piano di Tutela delle Acque (Dlgs 152/2006), deve essere prevista la separazione delle acque meteoriche di prima pioggia e un opportuno trattamento di dissabbiatura e disoleazione. Si consiglia di eseguire specifiche valutazioni in fase di dimensionamento del sistema di filtrazione nel rispetto della norma;
- superfici non pavimentate permeabili (verde profondo) data la permeabilità del terreno si considera che questi volumi vadano direttamente in dispersione sul suolo andando a incrementare il volume di acqua autogestito all'interno del sito.

Al fine di garantire un corretto smaltimento dei volumi d'acqua progettuali, si prevede uno scarico su suolo attraverso la realizzazione di un sistema disperdente. Definita la portata influente di pioggia, si tratta di definire il volume utile per l'immagazzinamento della stessa. Il volume utile per lo stoccaggio della portata non infiltrata nel sistema, sarà pertanto definito dalla capacità d'immagazzinamento dei singoli pozzi dislocati lungo la rete di drenaggio costituita dai pozzetti in serie. Il dimensionamento dell'apparato d'infiltrazione, viene effettuato oltre che sulla base della portata influente nel sistema dalla capacità d'infiltrazione dello stesso. Il dimensionamento dell'impianto di infiltrazione, viene eseguito confrontando le portate in arrivo al sistema, calcolata nel capitolo precedente con la formula razionale, con la capacità d'infiltrazione del terreno e con l'eventuale volume immagazzinato nel sistema; tale confronto può essere espresso con l'equazione di continuità, che rappresenta il bilancio delle portate entranti e uscenti nel mezzo filtrante:

$$(Q_p - Q_f) \Delta t = \Delta V$$

con:

- Q_p = portata influente
- Q_f = portata infiltrata
- Δt = intervallo di tempo. Si assume pari al tempo di pioggia arrotondato per eccesso
- ΔV = variazione del volume nel mezzo filtrante

Il volume assorbito dal singolo pozzo dipende quindi dalle caratteristiche di pioggia e filtrazione trovate nei capitoli precedenti, ed è dato dall'integrale nel tempo di pioggia dalle portate di infiltrazione. La capacità d'infiltrazione può essere stimata in prima approssimazione attraverso la relazione di Darcy:

$$Q_f = k j A_f$$

con:

- Q_f = portata infiltrata [mc/s]
- k = coefficiente di permeabilità [m/s] assunto in media pari a 10-5 m/s.
- j = cadente piezometrica [m/m].
- A_f = superficie netta d'infiltrazione considerata.

In particolare si assume che l'infiltrazione avvenga attraverso la sola superficie laterale dei pozzi, considerando che con il passare del tempo, il fondo del pozzo possa venir ostruito. Il gradiente teorico del flusso in uscita dalle superfici laterali dei pozzi è orizzontale, considerando però che le linee di flusso curvano verso il basso per effetto della forza di gravità, per il presente dimensionamento si è assunto un gradiente pari a 0.2.

$$A_f = \pi (D + 2L) H$$

Mentre il volume di accumulo del pozzo dipende dalle sole caratteristiche geometriche del pozzo:

$$V_a = \pi (D + 2nL)^2 / 4 H$$

Si riporta in figura lo schema di un pozzetto tipo:

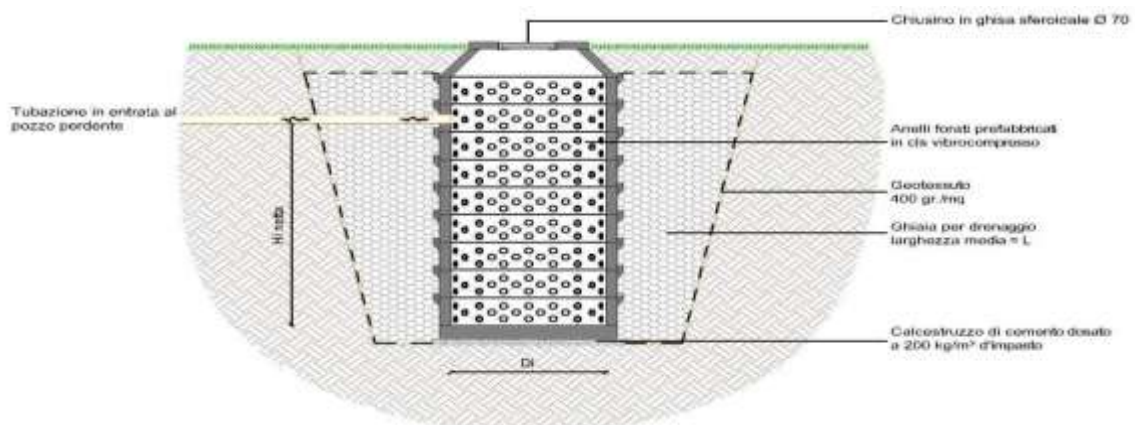


Figura 8.1: Schema di installazione pozzetto tipo.

Nel caso specifico, risultano efficienti un sistema di 56 pozzi perdenti realizzati in anelli di cemento forato con diametro 2 m, profondi 4 m e con una corona circolare di ghiaia pulita da 0.5 m. Di questi circa 32 pozzi collegati alla rete di raccolta delle coperture, al netto del sistema già realizzato e al netto di eventuali volumi di accumulo realizzati per il riutilizzo e circa 24 pozzi per le superfici pavimentate.

I pozzi andranno collegati tra loro in parallelo per lavorare come batteria, e opportuno tentare di posti in pianta. Tra un pozzo e l'altro, e tra i pozzi e eventuali locali interrati, è opportuno che sia garantita una distanza minima di circa 2.5 volte il diametro del pozzo. Alle superfici permeabili e semipermeabili andrà data la corretta pendenza per favorire il ruscellamento verso le reti di captazione ed evitare zone di allagamento o ristagno.

9. CONCLUSIONI

L'intervento a progetto riguarda un'area di circa 3.6 ha, di cui circa 1.15 ha destinati a verde pubblico e privato, 0.33 ha saranno destinati a parcheggi realizzati con pavimentazione semipermeabile, 0.73 ha saranno destinati alla viabilità e i restanti 1.39 ha a coperture, di cui 0.3 ha riguardano l'edificio già esistente.

È stato analizzato il volume di pioggia generato da un evento estremo con tempo di ritorno di 50 anni, utilizzando i dati meteorologici disponibili sul sito ARPAV della vicina stazione pluviometrica di Verona relativamente alle superfici semipermeabili e impermeabili a progetto (rif. paragrafo 7).

Il sito ricade nella casistica di terreni ad elevata capacità di accettazione delle piogge e in presenza di falda freatica sufficientemente profonda pertanto si propone, ovviamente prediligendo dove si può la realizzazione di sistemi di accumulo per il riuso, la realizzazione di un sistema di raccolta e di smaltimento dei volumi di pioggia tramite sistemi di infiltrazione opportunamente dimensionati e localizzanti in pianta e nel rispetto delle prescrizioni previste dal Piano di tutela delle Acque per gli scarichi sul suolo. Risulta che l'invarianza idraulica è garantita da un sistema di 56 pozzi perdenti realizzati in anelli di cemento forato con diametro 2 m, profondi 4 m e con una corona circolare di ghiaia pulita da 0.5 m.

Per una corretta gestione dei volumi di pioggia calcolati si considerano distinti i contributi delle diverse superfici e si danno alcune prescrizioni:

- coperture: l'acqua che cade su queste superfici è considerata pulita e non necessita di trattamento ed è la quota parte del volume meteorico più indicata per essere riutilizzata sia a fini irrigui che sanitari, rispettando l'idea di autogestire il volume di pioggia all'interno del sito. Sarà da valutare in fase esecutiva il sistema di accumulo formato da una o più cisterne, prefabbricate o meno, dislocate in pianta e collegate con un sistema di troppo pieno che porti eventuali volumi in eccesso in dispersione nel terreno. Per questa tipologia di superficie servono 32 pozzi collegati alla rete di raccolta delle coperture, al netto del sistema già realizzato e al netto di eventuali volumi di accumulo realizzati per il riutilizzo;
- superfici pavimentate carrabili: in accordo con il piano di Tutela delle Acque (Dlgs 152/2006), deve essere prevista la separazione delle acque meteoriche di prima pioggia e un opportuno trattamento di dissabbiatura e disoleazione. Si consiglia di eseguire specifiche valutazioni in fase di dimensionamento del sistema di filtrazione nel rispetto della norma. Per questa tipologia di superficie servono 24 pozzi collegati alla rete di raccolta delle coperture, al netto del sistema già realizzato e al netto di eventuali volumi di accumulo realizzati per il riutilizzo;

- superfici non pavimentate permeabili (verde profondo) data la permeabilità del terreno si considera che questi volumi vadano direttamente in dispersione sul suolo andando a incrementare il volume di acqua autogestito all'interno del sito.

I pozzi andranno collegati tra loro in parallelo per lavorare come batteria, e opportune tanto posti in pianta. Tra un pozzo e l'altro, e tra i pozzi e eventuali locali interrati, è opportuno che sia garantita una distanza minima di circa 2.5 volte il diametro del pozzo.

Alle superfici impermeabili e semipermeabili andrà data la corretta pendenza per favorire il ruscellamento verso le reti di captazione ed evitare zone di allagamento o ristagno.

Si ricorda che l'efficienza del sistema sarà garantita solo in seguito ad una periodica manutenzione della rete di raccolta e di smaltimento delle acque di pioggia.

Lì, 21 giugno 2024

Dott. Geol. Enrico Nucci



Dott. Ing. Elena Nucci

