COMUNE DI VERONA

PROVINCIA DI VERONA

P.U.A. PER LA RIQUALIFICAZIONE DI UN'AREA COMPRESA TRA VIA VIGASIO E VIA PERSEO

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO

COMUNE DI VERONA
PROTOCOLLO GENERALE - U.O. 007
24 APR. 2015
N. 120569
ANNO TITOLO CLASSE FASCICOLO

Proponente

MARTA COSTRUZIONI srl

Progetto Piano Urbanistico Attuativo

M. P. & T. Engineering S.r.l.
37136 - Viale della Fiera 14 - Verona - Italia
Tel 0039 045 509970
Fax 0039 045 503277
mpet@mpet.it
Il tecnico incaricato

ORDINE degli ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI CONSERVATORI della provincia di VERONA
Giovanni Pellegrini n° 532 sezione A settore architettura ARCHITETTO

Consulente

STUDIO NUCCI
37137 - Via Albere 132 - Verona - Italia
Tel/Fax 0039 045 8622408
studionuccisrl@iscali.it

COLLEGIO DEI GEOLOGI DEL VENETO NUCCI N° 263

PROVVEDIMENTO	OGGETTO	TAVOLA NR.
P.U.A.	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA	T17

PROGETTO NR.	FILE	CTB	SCALA
C/76/355	Relazione geologica, geomotecnica.doc	....	...

R	DATA	DESCRIZIONE	DIS.	CONT.	APPR.
00	30.01.2015	PUA			

COMUNE DI VERONA
PROTOCOLLO GENERALE - U.O. 007
- 6 FEB. 2015
N. 40123
ANNO TITOLO CLASSE FASCICOLO

Il presente disegno è di proprietà della società M.P.&T. Engineering S.r.l. che tutelerà i propri diritti a termine di Legge.
Diffusione e riproduzione riservati in conformità alle leggi vigenti.
This drawing is property of M. P. & T. Engineering S.r.l. that will protect its rights by law. Reserved diffusion and copy according with law.

INDICE

1) PREMESSA 3
1.1) Normativa di riferimento 4
1.2) Inquadramento del territorio e stato dei luoghi 4
2) GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA 6
3) INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO 10
4) INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO 13
5) ANALISI DEL PIANO DI ASSETO DEL TERRITORIO (PAT) 15
6) CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 18
6.1) Campagna d'indagine 18
6.1.1) Prova sismica MASW 19
6.1.2) Elaborati delle prove 21
6.2) Parametrizzazione geotecnica 25
7) PERICOLOSITA' SISMICA 28
7.1) Pericolosità sismica di base 29
7.2) Pericolosità sismica locale 31
7.2.1) Classificazione sismica del sottosuolo 32
7.2.2) Amplificazione stratigrafica e topografica 33
8) CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 35

ALLEGATI

- Ubicazione delle prove sismiche
- Profili MASW
- Documentazione fotografica prove MASW
- Trincee esplorative e documentazione fotografica
- Relazione idrogeologica ai sensi dell'art. 38 del NA del PAT

Codice di Rif.: SNSRL02414

Verona, Gennaio 2014

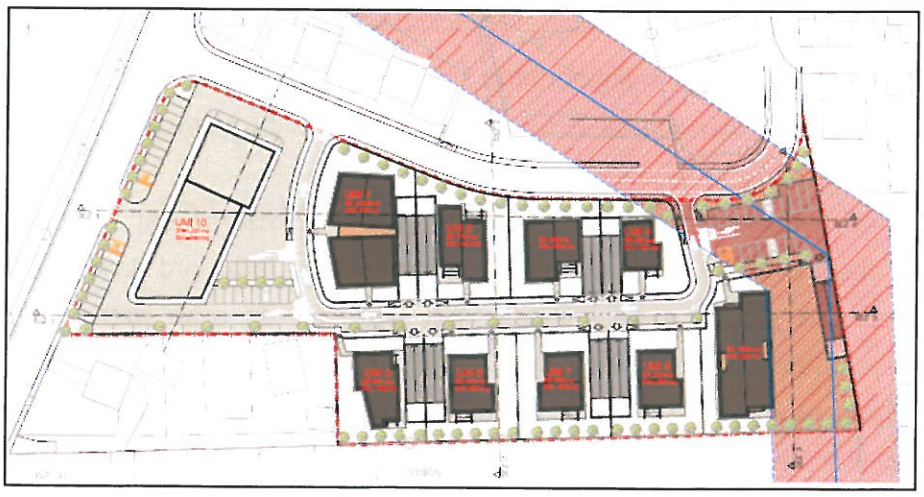
1) PREMESSA

Lo studio geologico descritto nella presente relazione è stato redatto su incarico dello Studio MPET in merito al progetto di una nuova urbanizzazione e lottizzazione di un'area attualmente gestita da un'attività di tipo edile.

Il progetto interessa una superficie di circa 12.800 m^2 ed è ubicata in Via Perseo, angolo con Via Vigasio, in comune di Verona.

L'intervento prevede l'urbanizzazione dell'intera area con la realizzazione di 9 lotti edificabili, la sistemazione di aree verdi comuni, la realizzazione di parcheggi comuni, la realizzazione della viabilità interna.

L'immagine seguente riporta uno stralcio dello stato di progetto previsto dalla progettazione.



Estratto dalla planimetria di progetto

Lo studio geologico ha avuto le finalità di analizzare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche del sottosuolo sul quale graveranno gli

interventi di progetto, fornendo elementi di base utili per i necessari approfondimenti che si riterranno opportuni in fase di progetto edilizio per ciascun lotto.
Le analisi e le valutazioni sono state supportate da dati geognostici rilevati direttamente in sito nel mese di novembre con l'esecuzione di specifiche prove sismiche 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

Il presente lavoro è stato eseguito in riferimento alla seguente normativa:

- D.M. 14 gennaio 2008, "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- Circola Ministeriale n. 617/2009, "Istruzione per l'applicazione delle Norme Tecniche";
- Ordinanza P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274 e Ordinanza P.C.M. 28 aprile 2006 n. 3519, "Primi elementi in materie di criteri generali per la classificazione sismica del territorio";
- Linee Guida NTC-2008 redatto dal Gruppo Interregionale Ordine dei Geologi;
- Linee guida AGI–2005 "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica".

1.2) Inquadramento del territorio e stato dei luoghi

L'area di progetto è ubicata nella periferia sud di Verona in prossimità della tangenziale sud e in adiacenza alla Strada Provinciale n. 54 che da Verona conduce a Castel d'Azzano.
La geometria dell'area è irregolare, ma allungata in direzione est - ovest e ha una superficie di circa 12.800 m^2; essa risulta delimitata nel lato nord dalla viabilità di Via Perseo, nel lato est da aree edificate, nel lato sud da aree pertinenti un'attività artigianale – industriale, nel lato est dalla viabilità di Via Vigasio.
Le coordinate geografiche centrali all'area di progetto sono: 45,38705N 10,97467E (sistema di riferimento WGS84 in gradi decimali).

Il contesto ambientale della zona è in parte urbanizzato con edifici residenziali, commerciali, produttivi, e in parte rurale con terreni coltivati.
La morfologia del territorio è pianeggiante senza discontinuità topografiche significative; le quote altimetriche interne alla proprietà sono di circa 50 / 51 m s.l.m. (dato estratto dal rilievo plano altimetrico fornito dalla committenza). Il microrilievo

topografico interno all'area dimostra una generale debole pendenza con quote decrescenti da est verso ovest e da nord verso sud.

La viabilità di Via Vigasio e di Via Perseo ha quote altimetriche maggiori (diversi decimetri) rispetto alla quota del piano campagna attuale interno alla proprietà.

La superficie dell'area d'indagine si caratterizza per la presenza di una copertura vegetale discontinua, erbacea o arbustiva, con ghiaia e ciottoli in matrice fine terrosa.

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

Area d'indagine (estratto dalle mappe di Google Maps)

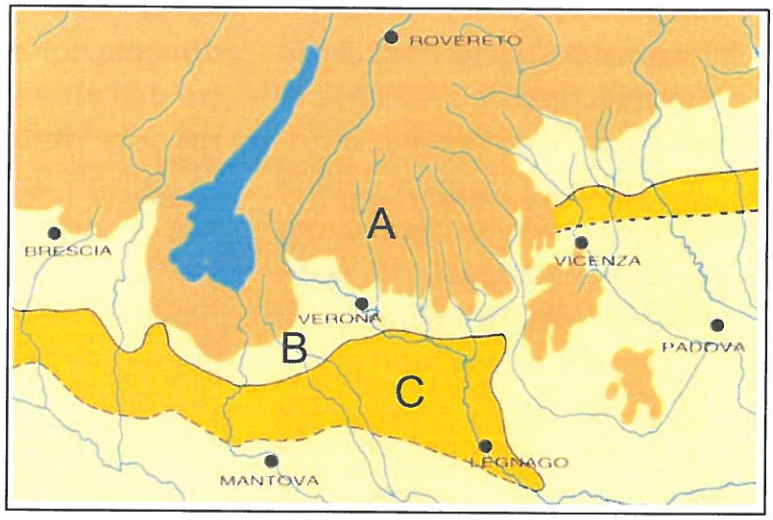
2) GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

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 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.



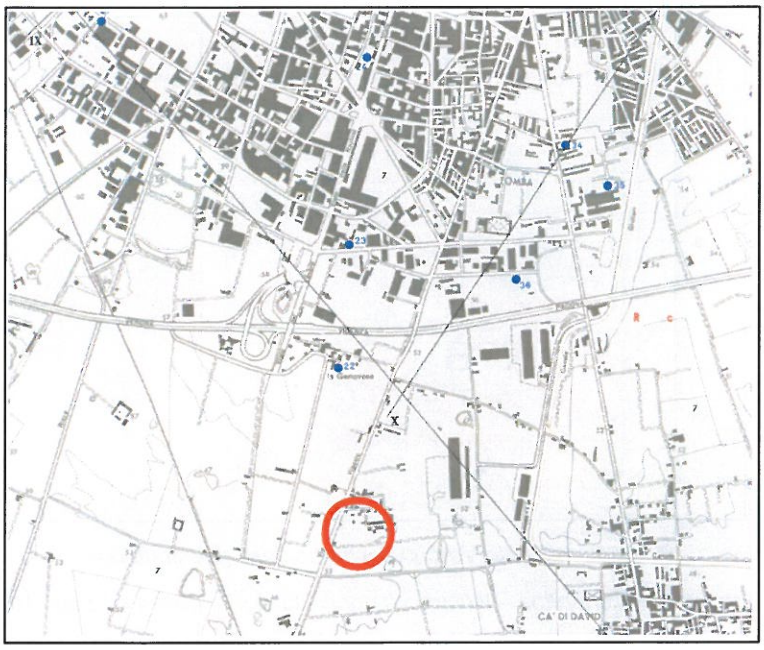
Posizione rispetto Verona dei tre contesti geomorfologici

(estratto da Etsch Adige – Il fiume gli uomini la storia; Cierre edizioni, 1997)

L'area di progetto è inserita nell'Alta Pianura in prossimità del limite superiore della fascia delle risorgive.

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.

In riferimento alla cartografia geologica della zona l'area di studio è inserita in un contesto geolitologico definito delle "ALLUVIONI TERRAZZATE FLUVIOGLACIALI E FLUVIALI DELL'ANTICO CONOIDE DELL'ADIGE, GHIAIOSE E CIOTTOLOSE DI ETÀ RISSIANA"; tali accumuli sedimentari sono rinvenibili sino a parecchie decine di metri di profondità dal piano campagna con occasionali e discontinue lenti argillose.



Estratto dalla Carta Geologica del territorio comunale di Verona

Di seguito si riporta la stratigrafia rilevata durante l'esecuzione di due pozzi per acqua ubicati, come si evince dalla carta geologica, poco a nord dell'area di studio.
Il confronto dei dati, soprattutto nei primi 30 m di profondità, dimostra come il sottosuolo sia caratterizzato da depositi di ghiaia e ciottoli, ma con la presenza discontinua di una lente argillosa che interrompe la monotonia litologica.

POZZO PER ACQUA N. 22 (LA GENOVESA)		***POZZO PER ACQUA N. 23 (VIA GIOIA)***	
PROFONDITÀ *(m da p.c.)*	***LITOLOGIA***	***PROFONDITÀ*** *(m da p.c.)*	***LITOLOGIA***
0,0 ÷ 30,0	Ghiaia e ciottoli	0,0 ÷ 14,0	Ghiaia e ciottoli
30,0 ÷ 34,0	Argilla	14,0 ÷ 17,0	Argilla
34,0 ÷ 45,0	Ghiaia e ciottoli	17,0 ÷ 31,0	Ghiaia
45,0 ÷ 47,0	Sabbia	31,0 ÷ 34,0	Argilla
47,0 ÷ 60,0	Ghiaia e ciottoli	34,0 ÷ 61,0	Ghiaia e ciottoli
60,0 ÷ 62,0	Argilla	61,0 ÷ 64,0	Argilla
		61,0 ÷ 107,0	Ghiaia e ciottoli

Quanto emerso da un'analisi bibliografica degli elementi geologici caratterizzanti la zona è stato confermato con le indagini geognostiche eseguite all'interno dell'area di progetto, le quali saranno descritte nel § 6.1.

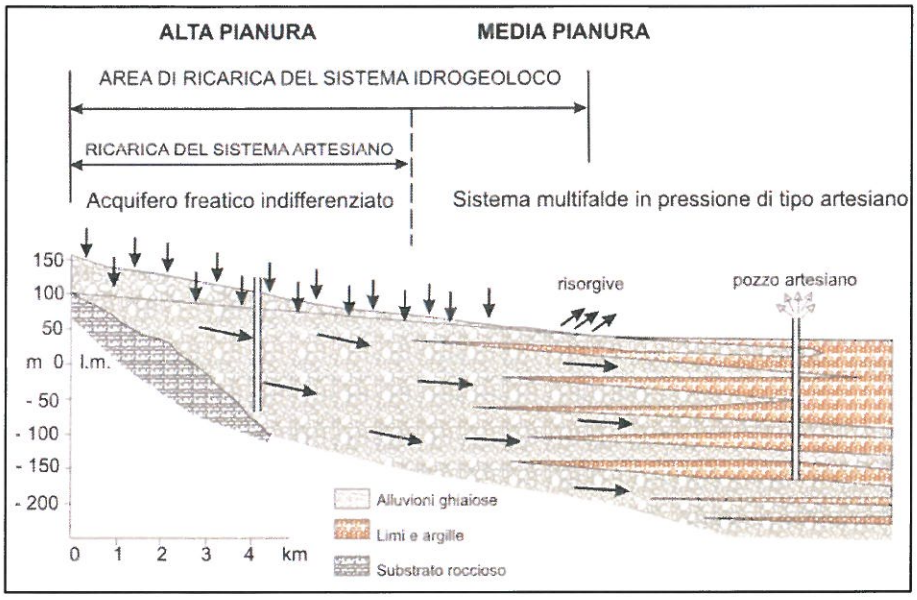
I dati rilevati confermano la presenza di depositi ghiaiosi con ciottoli arrotondati o sub-arrotondati di variabile pezzatura in matrice sabbiosa e/o limoso sabbiosa. Le ghiaie sono in giacitura naturale e seguono uno strato superficiale parzialmente alterato di terreno vegetale con ghiaia e ciottoli.
L'analisi dei dati geofisici rilevati con l'esecuzione di due prove sismiche tipo MASW ubicate sul lato est e ovest dell'area di progetto (come da planimetria allegata), ha fatto emergere una possibile discontinuità laterale e verticale nella rigidità dei materiali entro la profondità di 15 ÷ 27 m che potrebbe essere associata alla presenza di litologie differenti in contatto laterale più o meno marcato o sfumato.

Relativamente alla qualità dei dati disponibili la stratigrafia di seguito descritta rappresenta una stima di quanto presente nel sottosuolo e si rifà essenzialmente alle caratteristiche di rigidità dei materiali. In fase esecutiva per ogni lotto di progetto il modello descritto dovrà essere verificato prevedendo opportune integrazione d'indagine geognostica che saranno commisurate in relazione all'importanza delle opere che si andranno a realizzare.

- **LIVELLO 1** - Il sottosuolo è caratterizzato in sub-superficie sino alla profondità di circa -3 m da materiali alluvionali costituiti da ghiaie da fini a grosse in matrice sabbiosa con ciottoli di forma perlopiù arrotondata; le ghiaie sono suddivise in sottili livelli di variabile spessore e dimensione e ciò testimonia il susseguirsi nel tempo di processi di trasporto e deposizionali di variabile energia idrodinamica. Tale livello ha delle velocità delle onde di taglio Vs relativamente omogenee (250 ÷ 260 m/s) e possono essere associate alla presenza di **materiali mediamente addensati**.
- **LIVELLO 2** - Dalla profondità di circa -3 m sino circa -15 m nella zona ovest dell'area in esame e circa -27 m nella zona est sono presenti dei materiali alluvionali ghiaiosi e/o limoso sabbiosi argillosi **mediamente addensati / addensati** con velocità medie delle onde Vs di 400 ÷ 440 m/s. Lo spessore di questo livello è discontinuo ed è maggiore nella zona est (circa 24 m) in cui i valori di velocità Vs si mantengono costanti in profondità, mentre nella zona ovest lo spessore è di circa 12 m. Non sarebbe da escludere la possibilità di un contatto laterale e verticale di litologie differenti entro la profondità -15 / -27 m nella zona centrale e orientale dell'area di progetto.
- **LIVELLO 3** - Oltre la profondità di -27 m nella zona est e -15 m nella zona ovest sono probabilmente presenti dei materiali alluvionali ghiaiosi **molto addensati**.

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

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**; 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

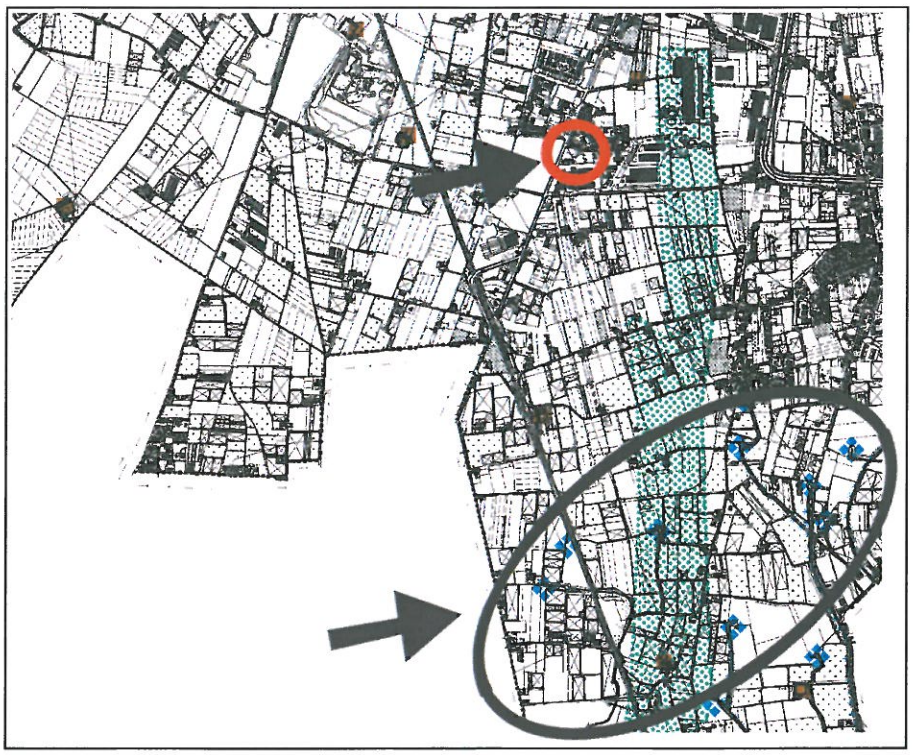
l'omogeneità del sottosuolo permettono l'infiltrazione delle acque superficiali e fanno di questo territorio "area di ricarica" degli acquiferi.

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.

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.

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.

Nell'estratto della "Carta delle invarianti" del P.A.T. del Comune di Verona è possibile osservare che la zona d'indagine (freccia) è prossima a delle zone con risorgive o fontanili (nella cartografia evidenziati come elementi puntiformi di colore celeste), le quali distano circa 1.8 / 2.5 km a sud / sud – est dell'area di progetto. Tale situazione testimonia l'ambito geomorfologico di transizione tra l'Alta e la Medio – Bassa Pianura con le conseguenti variabilità litostratigrafiche sulla verticale e lateralmente.

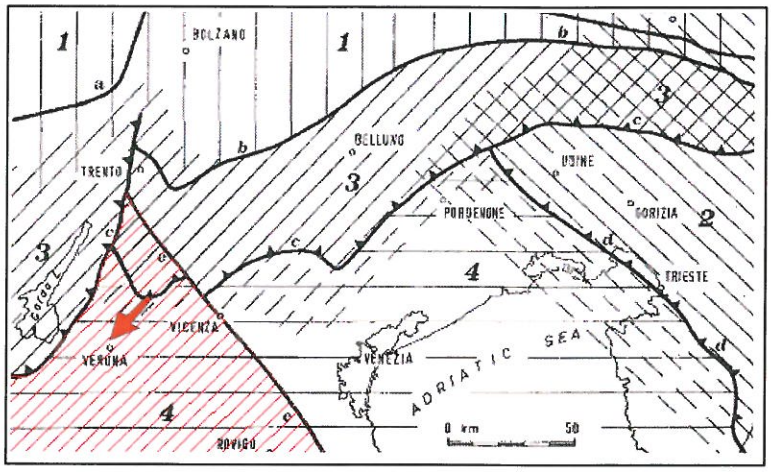


Estratto dalla "Carta delle invarianti" del P.A.T. di Verona (Tav. 2)

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

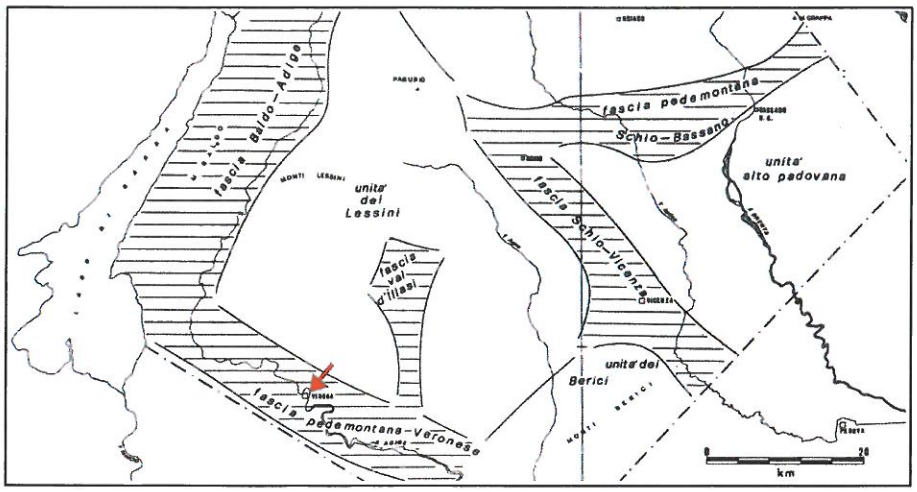
4) INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO

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 embriciazione 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.



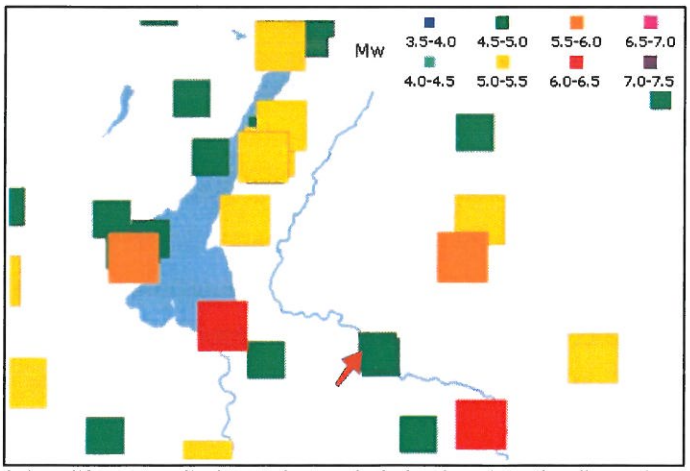
Estratto dal "Modello sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda e il Monte Grappa"

(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 Chiampo.

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 (Mw), anche nelle vicinanze del territorio in esame si osserva come siano stati registrati eventi con Mw compresa tra 4,5 e 5,0.

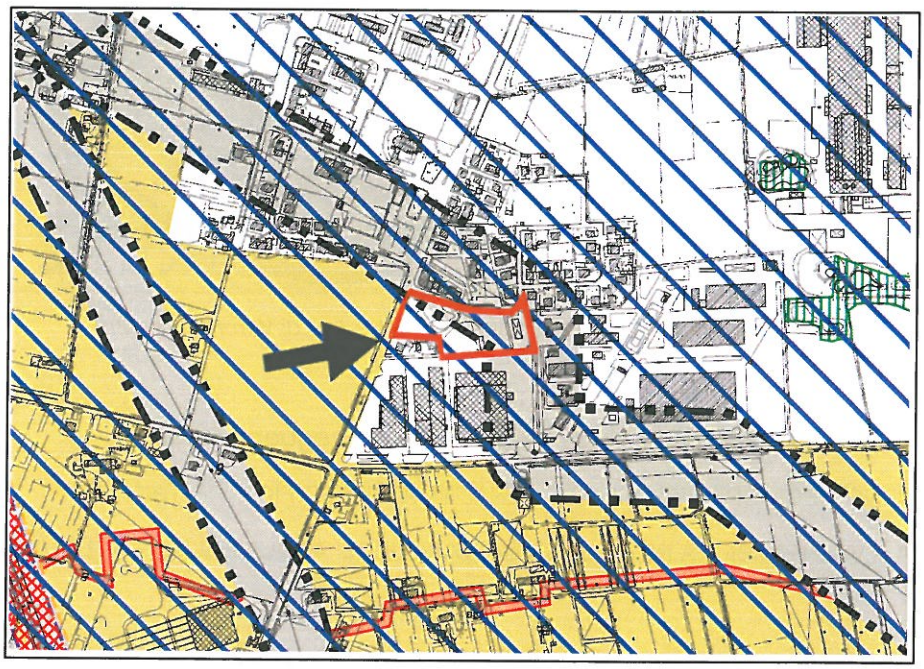


Intensità e magnitudo per i maggiori sismi registrati nella regione

5) ANALISI DEL PIANO DI ASSETO DEL TERRITORIO (PAT)

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 nei seguenti ambiti:

- "AREA DI RICARICA DEGLI ACQUIFERI" (art. 32) (circostanza che comporta una prevenzione nei riguardi della falda freatica);
- fascia di rispetto per la presenza di "ELETTRODOTTI" (art. 28).



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

La "*Carta delle Invarianti*" (Tav. 2) nella zona di interesse progettuale non evidenzia nessun ambito territoriale caratterizzato da particolari evidenze ed unicità geologiche.

Da osservare, al fine di una contestualizzazione geologica e stratigrafica della zona, che in prossimità del margine est dell'area di progetto è presente una traccia di un paleoalveo orientata nord – sud, mentre alla distanza di circa 1.8 / 2.5 km in direzione sud / sud – est sono presenti degli elementi puntiformi rappresentativi di risorgive o fontanili.

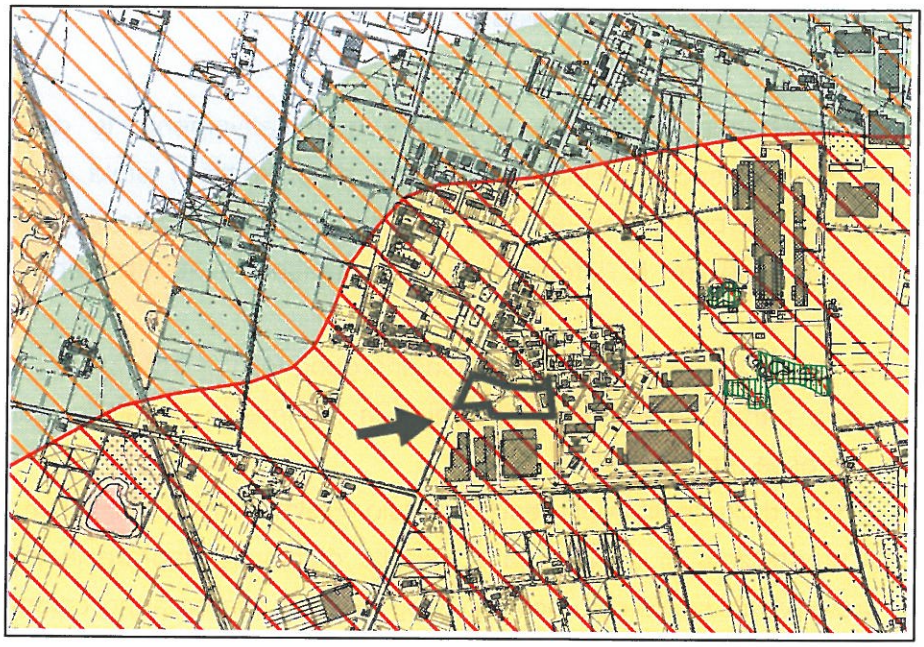
Estratto dalla "Carta delle invarianti" del P.A.T. di Verona (Tav. 2)

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

- TERRENO MEDIOCRE SECONDO LE PENALITÀ AI FINI EDIFICATORI (art. 37);
- ZONA A VULNERABILITÀ INTRINSECA ELEVATA DEGLI ACQUIFERI (UNITÀ "E") (art. 38).

L'art. 37 delle Norme di Attuazione del P.A.T. si riferisce alle penalità ai fini edificatori, aree a bassa trasformabilità geologica. Le zone del territorio classificate con TERRENO MEDIOCRE sono edificabili ma si richiede indagini geognostiche specifiche e verifiche di stabilità del sottosuolo con eventuali interventi stabilizzanti preventivi.

L'art. 38 delle N.A. del P.AT. si riferisce alla vulnerabilità intrinseca degli acquiferi. La zona d'indagine è inserita nell'unità delle aree di pianura classificata E (vulnerabilità intrinseca elevata), caratterizzata da alluvioni fluviali e fluvioglaciali a composizione prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa ad elevata permeabilità primaria con presenza di falda libera a profondità minore di 10 m dal piano campagna.



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

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) CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Al fine di valutare qualitativamente e stimare quantitativamente le caratteristiche geotecniche del sottosuolo, all'interno dell'area di progetto è stata condotta una campagna d'indagine per rilevare alcuni parametri geologici, geotecnici e sismici che sono andati ad integrare le informazioni bibliografiche acquisite per la zona di interesse.
Di seguito sarà descritta la campagna d'indagine geognostica (realizzata nel mese di novembre) e la parametrizzazione geotecnica in riferimento ad alcuni parametri di particolare interesse progettuale.
In considerazione delle finalità del presente studio e relativamente a ciascun lotto della nuova area urbanizzata si osserva la possibilità di dover integrare le informazioni acquisite, prevedendo specifiche indagini geognostiche che saranno commisurate in funzione delle opere che si andrà a progettare.

6.1) Campagna d'indagine

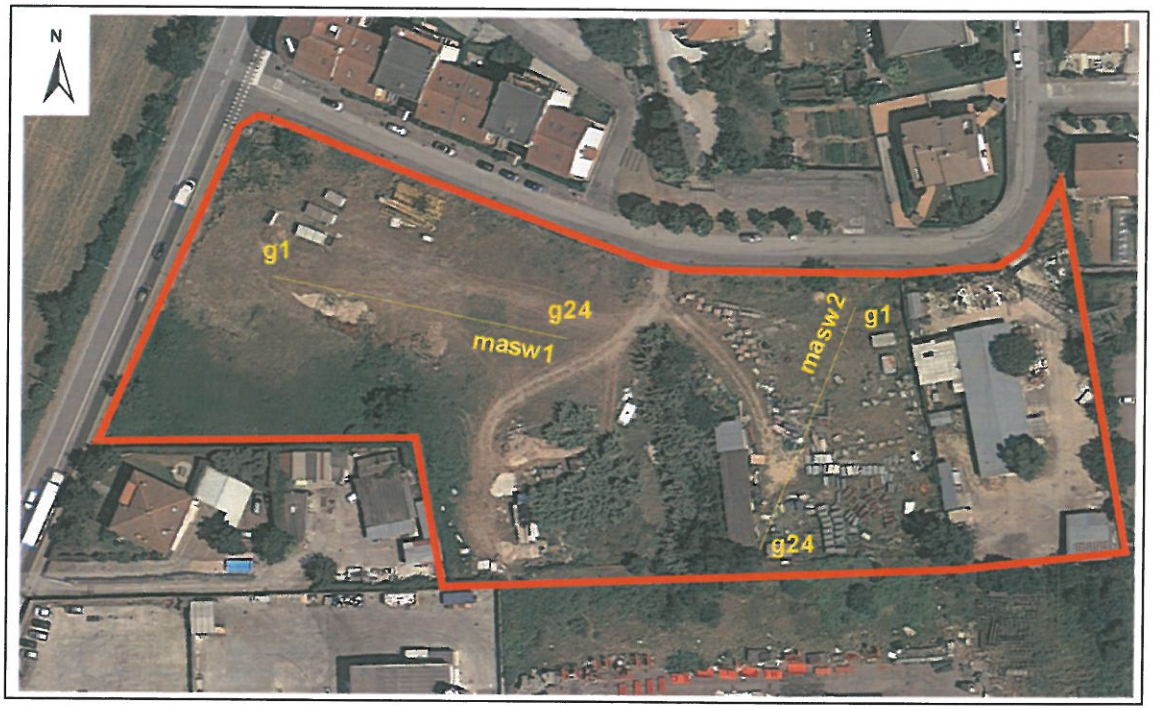
Le indagini geognostiche eseguite all'interno dell'area di progetto sono state le seguenti:

- sopralluogo nell'area d'indagine e nelle zone circostanti;
- esecuzione di n. 2 prove simiche attive con la tecnica MASW per la determinazione delle velocità delle onde di taglio "Vs" nel sottosuolo;
- esecuzione di n. 12 trincee esplorative superficiali con escavatore meccanico per la verifica qualitativa dei materiali;
- esecuzione di n. 2 prove di permeabilità in trincea a carico variabile per la determinazione della permeabilità primaria per porosità dei livelli sub-superficiali.

La planimetria con ubicati i punti in cui sono state realizzate le trincee esplorative è presente in allegato, alla quale sono associate, per ciascuna trincea, le scheda litostratigrafiche descrittive di quanto rilevato. La profondità di scavo è variata da 1.3 m a 3.2 m dal piano campagna.

L'immagine seguente (presente anche in allegato) riporta l'ubicazione degli stendimenti sismici:

MASW1 orientato est – ovest lunghezza totale dello stendimento 46 m
MASW2 orientato nord est – sud ovest lunghezza totale dello stendimento 46 m



Ubicazione delle prove sismiche (base estratta dalle mappe di Google Maps)

6.1.1) PROVA SISMICA MASW

La prova sismica MASW ha 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 (cosi come consigliato dal D.M. 14/01/2008), verificare indirettamente la consistenza dei materiali e determinare il modulo di taglio dinamico (o rigidità) "G_{max}".
Le considerazioni che hanno determinato la scelta della tecnica MASW sono state:

- possibilità di raggiungere significative profondità d'indagine;
- possibilità di verificare "l'inversione" delle velocità nei livelli di minore consistenza;
- presenza di "rumore di fondo" che avrebbe potuto alterare la qualità del segnale sismico acquisito.

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. I geofoni, ovvero ricevitori molto sensibili in grado di rilevare le più piccole vibrazioni nel sottosuolo, debbono essere posizionati a delle distanze regolari lungo un allineamento stabilito (stendimento). Le distanze tra i geofoni e la lunghezza dello stendimento vengono scelti in funzione della profondità da raggiungere e della definizione stratigrafica che si vuole conseguire. 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 di 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.

In allegato sono riportati gli elaborati che sintetizzano i risultati ottenuti:

- migliore sismogramma rilevato,
- spettro delle velocità di fase,
- profilo verticale delle velocità Vs,
- schema dei sismostrati rilevati e di alcuni parametri geotecnici (densità, G_{max}).

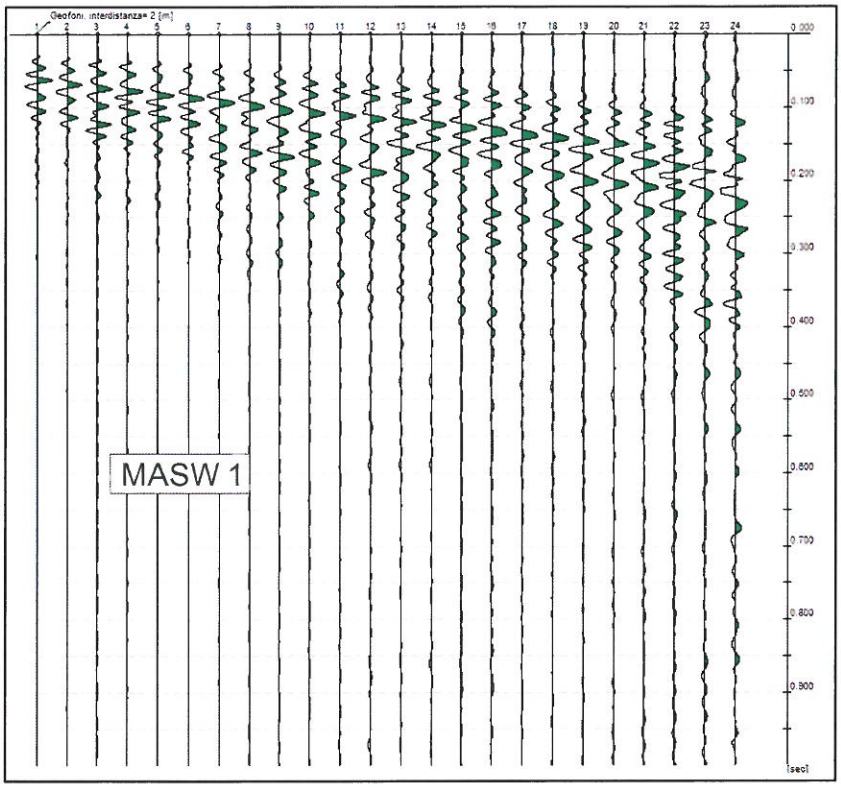
Strumentazione utilizzata e modalità operative

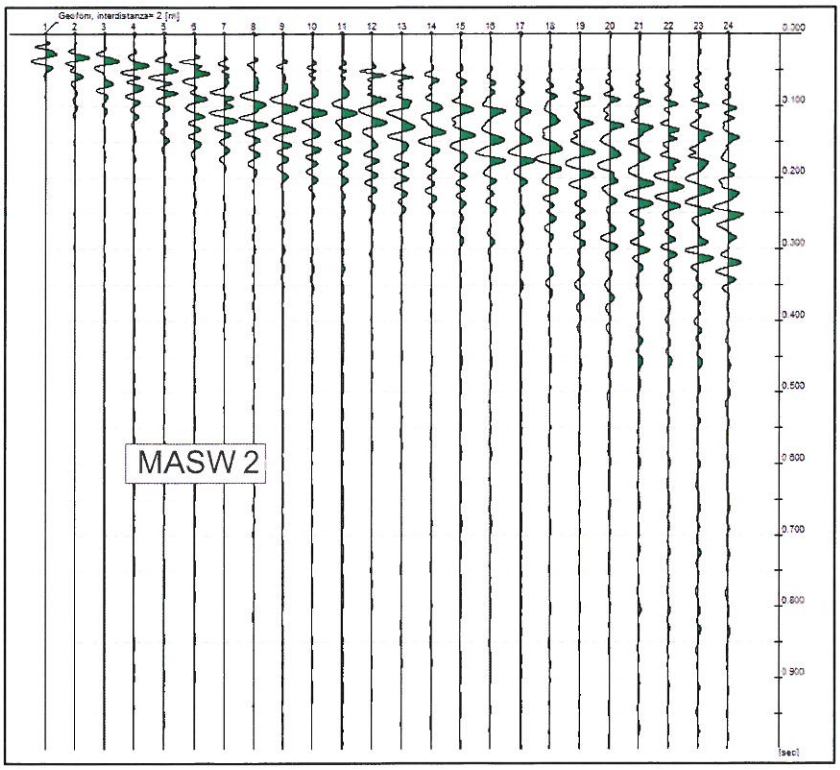
- sismografo digitale ECHO 12-24 2002 prodotto dalla ditta AMBROGEO S.r.l. caratterizzato da 24 canali di acquisizione digitale con dinamica a 16 bit, velocità di campionamento del segnale 0.131 millisecondi e filtro analogico Low Pass a 50 Hz;
- n. 2 stendimenti con 24 geofoni verticali di frequenza propria 4.5 Hz; la distanza tra i geofoni è stata 2 m (lunghezza totale di ciascun stendimento 46 m);
- n. 5 punti di energizzazione del sottosuolo in sequenza ed esterni allo stendimento, alla distanza di 2, 4, 6, 8, 12 m dal geofono n. 1;
- sorgente energizzante con massa battente da 10 kg;
- tempo di acquisizione del segnale 1000 millisecondi;
- acquisizione di n. 5 sismogrammi completi per ogni stendimento;
- software EasyMasw 2014-20.2.73 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 Vs avente i minori valori di errore percentuale e di disadattamento della "curva di dispersione teorica".

6.1.2) ELABORATI DELLE PROVE

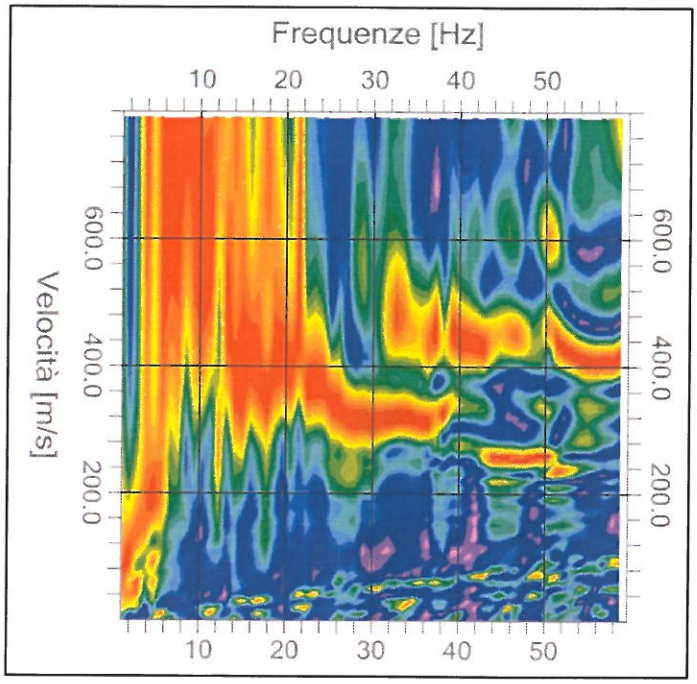
Le immagini seguenti rappresentano i migliori **sismogrammi** acquisito in sito con la distanza di battuta di 12 m dal geofono n. 1 per la prova n. 1 e 2 m per la prova n. 2.

Le immagini consento di verificare che tutte le componenti del segnale sismico sono state rilevate nel tempo d'acquisizione.

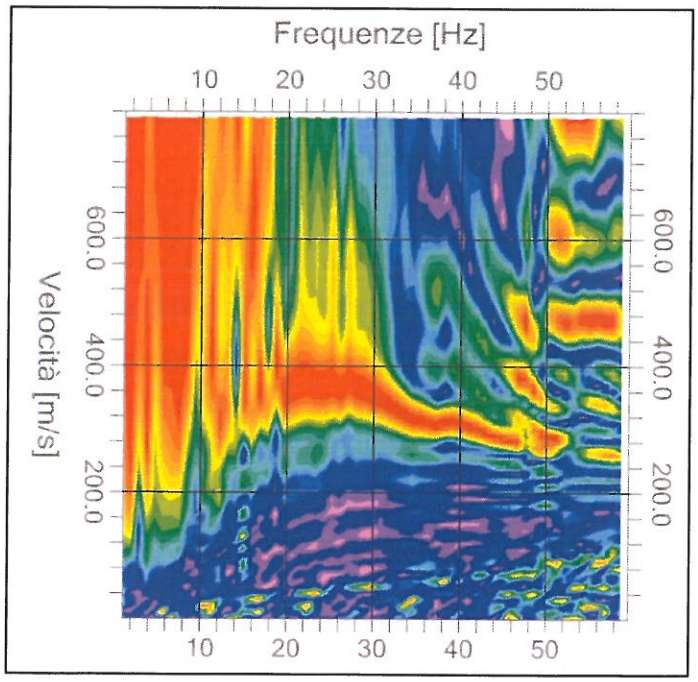




Le immagini seguenti rappresentano gli **spettri delle velocità di fase** delle onde di Rayleigh che consentono di valutare le proprietà dispersive del segnale registrato. In fase di elaborazione a ciascun spettro è stata sovrapposta la curva di dispersione sperimentale che ha consentito la definizione del modello sismo-stratigrafico.

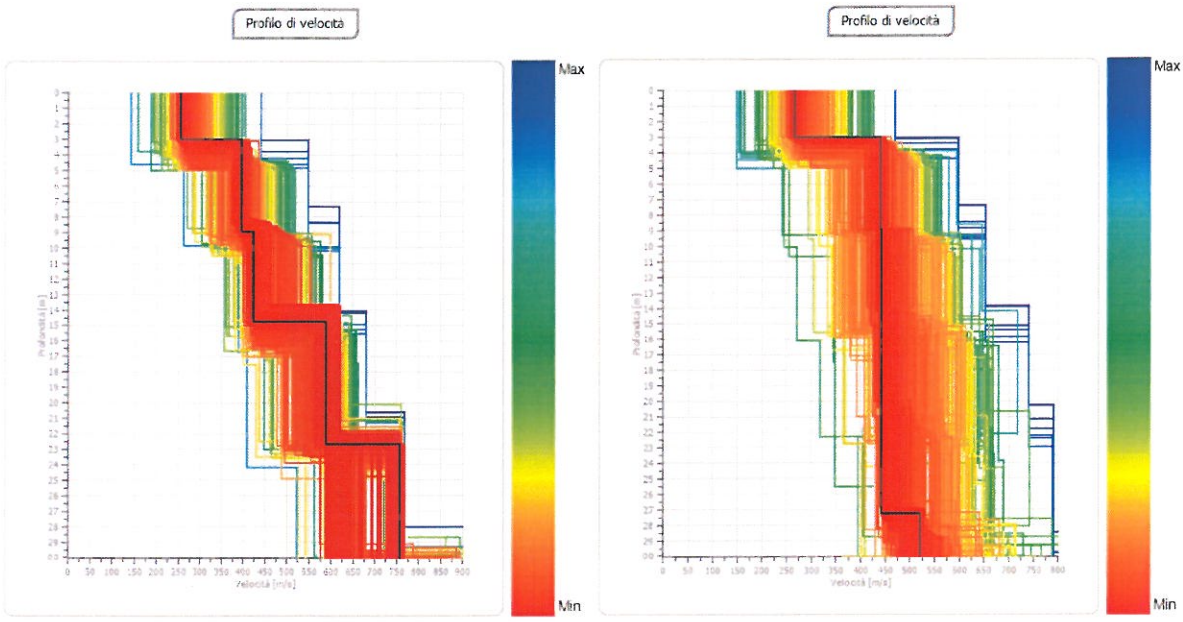


MASW1



MASW2

In relazione ai dati acquisiti i **profili sismici delle "Vs"** sino alla quota -30 m dal piano campagna sono rappresentati nelle successive immagini (elaborazione con software EasyMasw della Geostru), le quali riportano tutti i profili delle combinazioni di calcolo eseguite dal software per ottenere il profilo Vs (linea di colore nero) con i minori valori di errore percentuale e disadattamento della "curva di dispersione teorica".



MASW1 MASW2

L'inversione delle curve di dispersione sperimentale ottenute dallo spettro delle velocità di fase delle onde di Raleigh ha consentito di valutare due situazioni sismo-stratigrafiche differenti per ciascuna MASW.

Nella prima prova MASW 1 (zona ovest dell'area d'indagine) le velocità sono crescenti con la profondità sino a 30 m e crescono da 250 m/s a >600 m/s; ciò è sintomo della presenza di materiali addensati e oltre la profondità di circa 15 m molto addensati.

Nella seconda prova MASW2 (zona est dell'area d'indagine) le velocità sono crescenti da 265 m/s a >500 m/s, ma rimangono sostanzialmente omogenee nel tratto 3 ÷ 27 m (circa 440 m/s). Rispetto ai materiali presenti nella MASW1 alla profondità 15 ÷ 27 m le caratteristiche di rigidità sembrerebbero differenti, mentre oltre la profondità di 27 m i materiali sono molto addensati e simili nelle caratteristiche di rigidità.

6.2) Parametrizzazione geotecnica

In riferimento ai dati rilevati con la campagna d'indagine eseguita nel periodo di novembre 2014, di seguito sono stati stimati alcuni dei principali parametri geotecnici caratterizzanti il comportamento meccanico del sottosuolo. Essi sono stati determinati indirettamente dall'elaborazione delle velocità delle onde di taglio "Vs" rilevate con le prove sismiche MASW ed in modo empirico con l'osservazione dei materiali rilevati durante l'esecuzione delle trincee esplorative.
Le valutazioni sono state riferite ai primi metri di profondità dal piano campagna, ovvero nel volume di sottosuolo direttamente a contatto con le possibili opere di fondazione che si realizzeranno nella nuova lottizzazione.

In considerazione della presenza di litologie incoerenti granulari di origine alluvionale fluviale e fluvioglaciale con classi granulometriche variabili dalle sabbie alle ghiaie, i parametri determinati con l'elaborazione dei dati disponibili sono stati:

- peso di volume "γ";
- angolo d'attrito "ϕ" (valore di picco);
- modulo di taglio dinamico "G_{max}".

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".

$$\gamma = 0.75 \cdot log_{10}Vs + 0.15$$

L'angolo d'attrito "ϕ" è stato 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:

$$\phi = 36° + \phi1 + \phi2 + \phi3 + \phi4$$

$\phi1$ correzione per il grado di addensamento
$\phi2$ correzione per la forma e rugosità dei grani
$\phi3$ correzione per la dimensione dei grani
$\phi4$ correzione per la granulometria

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

Addensamento	$\phi 1$	molle media serrata	-6° 0° +6°
Forma e rugosità	$\phi 2$	spigolosa media arrotondata molto arrotondata	+1° 0° -3° -5°
Dimensione	$\phi 3$	sabbia ghiaia fine ghiaia grossa	0° +1° +2°
Granulometria	$\phi 4$	uniforme media estesa	-3° 0° +3°

Il modulo di taglio dinamico G_{max}, o rigidità del sottosuolo, è stato elaborato in funzione della densità dei materiali e della velocità delle onde di taglio Vs. L'equazione utilizzata e nota in letteratura scientifica è la seguente:

$$G_{max} = \gamma \cdot Vs^2$$

Premesso quanto descritto nel § 2 sulle valutazioni litostratigrafiche locali, di seguito si riporta una valutazione delle proprietà geotecniche medie sub-superficiali.

Livello	*Prof. (m)*	*Spessore (m)*	*γ (ton/m^3)*	*ϕ (°)*	*G_{max} (MPa)*	*Grado di addensamento*
1	0	3	1.96	34	135	Mediamente addensato
2	3	15	2.13	39	390	Addensato

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. 14 gennaio 2008 tab. 6.2.II

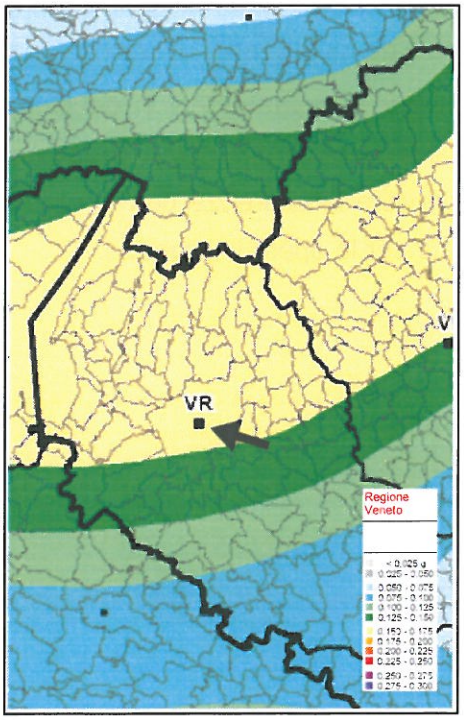
PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1.0	1.0

In merito alle opere che si andranno a progettare per l'urbanizzazione dell'area di Via Perseo, si ritiene opportuno fornire le seguenti osservazioni di carattere geotecnico:

- il sottosuolo sino alla profondità di 15 m appare caratterizzato da una buona continuità stratigrafica verticale e laterale che lascia prevedere un comportamento geotecnico omogeneo;
- in considerazione della presenza di materiali granulari incoerenti con granulometrie variabili dalle sabbie ai ciottoli il comportamento meccanico del sottosuolo di fondazione è granulare, pertanto il parametro geotecnico più significativo per la verifica della portanza dei terreni di fondazione è l'angolo d'attrito efficace "ϕ";
- i materiali costituenti il sottosuolo appaiono di buona resistenza al taglio e limitata, ancorché molto contenuta, deformabilità; il grado di addensamento dei materiali è variabile da "mediamente addensato" a "addensato";
- qualitativamente la portanza dei terreni di fondazione appare buona e per tipologie costruttive ordinarie tale da giustificare l'utilizzo di fondazioni dirette;
- dalla cartografia geologica allegata al P.A.T. del Comune di Verona si evince che la profondità della falda freatica dal piano campagna appare maggiore di 3 m; pertanto non sono previste interferenze con le opere di fondazioni dirette che si renderanno necessarie per le opere in progetto.

7) PERICOLOSITA' SISMICA

Da un punto di vista amministrativo l'O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 ha classificato sismico il territorio comunale di **Verona** inserendolo in **Zona 3 (livello di sismicità BASSO)**, con accelerazione "a_g" orizzontale massima al suolo di riferimento (categoria A) **0.150g** (sono riferiti ad una probabilità del superamento del 10% in 50 anni).
Successivamente l'O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006 ha stabilito che il "livello di rischio sismico di base" del territorio da considerare nella progettazione strutturale sia definito mediante l'utilizzo di mappe suddivise in fasce con differente gradiente d'accelerazione "a_g" massima al suolo di riferimento (categoria A). Nell'area d'indagine la fascia di competenza ha una "a_g" variabile da **0.150g** a **0.175g** (sono riferiti ad una probabilità del superamento del 10% in 50 anni).



Estratto dalle mappe di pericolosità sismica

del territorio nazionale

7.1) Pericolosità sismica di base

Il D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) ha stabilito che la "**pericolosità sismica di base**" del sito sia definita da tre parametri variabili in funzione di prefissati periodi di ritorno "T_R" di un dato evento sismico:

- accelerazione (a_g) orizzontale massima al suolo di riferimento (categoria A),
- valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (F_o),
- periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (T^*_C).

Opportune tabelle allegate alle NTC riportano i valori dei tre parametri per i diversi stati limite di sicurezza per le prestazioni delle costruzioni ("SLO" Stato Limite di Operatività, "SLD" Stato Limite di Danno, "SLV" Stato Limite di salvaguardia della Vita, "SLC" Stato Limite di prevenzione del Collasso) in relazione alla vita nominale e classe d'uso delle costruzioni stesse.

Relativamente **all'area d'indagine e ipotizzando che la classe d'uso delle opere che si realizzeranno sia la II** (*costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali ...*) **e la vita nominale delle opere strutturali ≥ 50 anni** (*opere ordinarie ...*), nella determinazione dell'azione sismica di base la normativa (NTC, § 2.4 e 3.2.1) consente l'utilizzo dei seguenti parametri (sono stati ricavati mediante l'utilizzo del programma "Spettri-NTC ver. 1.0.3" fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici):

latitudine località (ED50)	= 45,38797N
longitudine località (ED50)	= 10,97569E
Periodo di riferimento "V_R" per l'azione sismica	= 50 anni
"P_{VR}" Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	= 81% (per SLO)
"P_{VR}" Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	= 63% (per SLD)
"P_{VR}" Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	= 10% (per SLV)
"P_{VR}" Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	= 5% (per SLC)
"T_R" per "SLO" (con P_{VR} 81%)	= 30 anni
"T_R" per "SLD" (con P_{VR} 63%)	= 50 anni
"T_R" per "SLV" (con P_{VR} 10%)	= 475 anni
"T_R" per "SLC" (con P_{VR} 5%)	= 975 anni

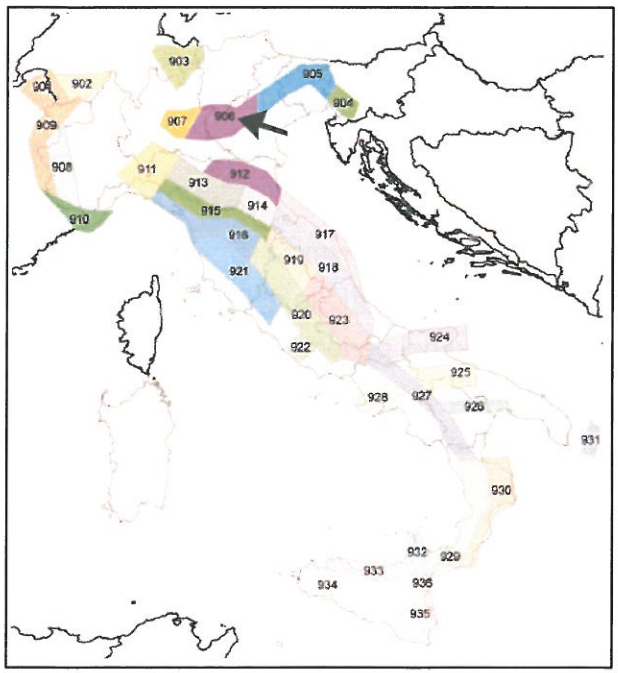
Stato Limite	T_R (anni)	a_g (g)	F_o	Tc* (s)
SLO	30	0,039	2,538	0,236
SLD	50	0,053	2,485	0,251
SLV	475	0,150	2,430	0,277
SLC	975	0,195	2,473	0,279

Qualora la vita nominale e la classe d'uso delle costruzioni che si realizzeranno sia differente da quelle considerate, i parametri riportati in tabella dovranno essere aggiornati in riferimento a quanto previsto dalla normativa.

La determinazione della magnitudo di un sisma rappresenta un elemento importante nella valutazione dell'azione simica di un sito; la stima della magnitudo "M_w" prevista per la zona d'indagine può essere definita con il METODO DELLE ZONE SISMOGENETICHE, ovvero una delle 36 zone "ZS" in cui è stato suddiviso il territorio italiano e alle quali è stato associato un valore massimo di "M_{wmax}" (Linee Guida per la Microzinazione Sismica, 2008). Per la zona d'indagine:

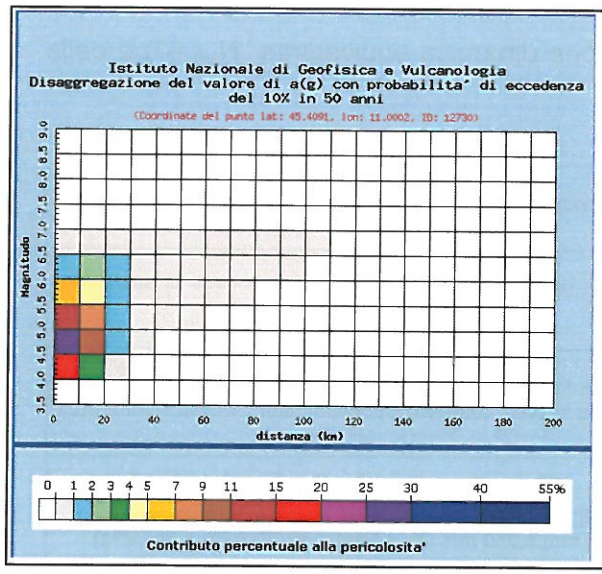
ZS 906

M_w 6.60



Zone sismogenetiche del territorio italiano (L.G. MS 2008)

In alternativa al metodo delle zone sismogenetiche la stima della magnitudo prevista per la zona d'indagine può essere valutata con il METODO DELLA DISAGGREGAZIONE, il quale consente di prendere in considerazione i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità del sito. L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia propone delle mappe e delle tabelle in cui per ogni comune del territorio italiano la disaggregazione dell'accelerazione di picco su suolo rigido permette di calcolare il valore della magnitudo in funzione della distanza epicentrale e la relativa probabilità in funzione di determinati periodi di ritorno di un evento sismico.
Le immagini successive, ottenute dalle mappe proposte nel sito dell'INGV, rappresentano la pericolosità attesa per il comune di Verona (zona sud prossima alla località Ca' di David) per un tempo di ritorno dell'evento sismico di 475 anni.



Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni
(Coordinate del punto lat: 45.4091, lon: 11.0002, ID: 12730)

Distanza in km	Magnitudo									
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	16.800	27.200	12.700	5.110	1.820	0.177	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.940	9.460	7.250	4.440	2.230	0.265	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.206	1.250	1.750	1.610	1.140	0.166	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.060	0.404	0.588	0.551	0.093	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.051	0.212	0.268	0.052	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.001	0.056	0.094	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.019	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.000	9.660	0.647

7.2) Pericolosità sismica locale

Le Linee Guida NTC-2008 definiscono la *risposta sismica locale* come *"l'azione sismica quale emerge in superficie a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, subite per effetti morfologici o subite trasmettendosi dal substrato rigido attraverso le coperture"*. Le coperture sedimentarie amplificano l'accelerazione simica in superfice agendo contemporaneamente da filtro del moto sismico (diminuiscono l'energia complessiva), ma modificando la composizione e l'amplificazione di alcune frequenze. In riferimento al D.M. 14/01/2008 la "classificazione sismica del sottosuolo" e la "classificazione topografica del sito" consentono di *stimare* con un *approccio semplificato* gli effetti di sito sul segnale

sismico, ossia l'accelerazione di riferimento amplificata (o accelerazione massima attesa in superficie "a_{max}"), ovvero la ***pericolosità sismica locale***.

7.2.1) CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

In riferimento alla vigente normativa il sottosuolo di fondazione è stato classificato in funzione della "V_{S30}", ovvero la velocità equivalente delle onde di taglio "Vs" sino alla profondità di 30 m.
La Vs è stata ricavata dall'analisi delle onde di superficie di Raleigh mediante la tecnica d'indagine sismica MASW; il § 6.2 descrive l'indagine eseguita ed i risultati ottenuti.

La tabella successiva riporta la classificazione del sottosuolo descritta nelle NTC (§ 3.2.2.) in funzione di alcuni parametri geotecnici (resistenza al taglio non drenata equivalente "$C_{u,30}$", resistenza alla penetrazione dinamica equivalente "$N_{spt,30}$") e della velocità media "V_{s30}".

Categoria	*Descrizione*
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi con valori **V_{s30} > 800 m/s** con strati di alterazione superficiale h max = 3 m
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o terre a grana fina molto consistenti, con spessori > 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di **V_{s30}** compresi tra **360 m/s e 800 m/s** (ovvero resistenza penetrometrica media Nspt > 50, o coesione non drenata media Cu > 250 kPa)
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o terreni a grana fine di media consistenza, con spessori > 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di **V_{s30}** compresi tra **180 m/s e 360 m/s** (15 < Nspt < 50, 70 < Cu < 250 kPa)
D	Depositi di terreni granulari scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori > 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di **V_{s30} < 180 m/s** (Nspt < 15, Cu < 70 kPa)
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C e D per spessori < 20 m posti sul substrato di riferimento (**V_{s30} > 800 m/s**)
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di **V_{s30} < 100 m/s** (ovvero 10 < Cu < 20 kPa) che includono uno strato spesso almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
S2	Deposito di terreni suscettibili alla liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti

In riferimento ai dati acquisiti:

MASW1 Vs_{30} = 470 m/s $\Rightarrow$ Categoria di sottosuolo = B
MASW2 Vs_{30} = 420 m/s $\Rightarrow$ Categoria di sottosuolo = B

Gli effetti topografici sono in grado di modificare il moto sismico a seguito di fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche in prossimità delle creste dei rilievi; i fenomeni di amplificazione cresta – base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza.
La tabella successiva (§ 3.2.2 NTC) descrive le diverse categorie topografiche previste dalla normativa, le quali si riferiscono a configurazioni geometriche di cresta o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Categoria	*Descrizione*
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15°≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

La superficie topografica dell'area ha un'inclinazione media <15°:

Categoria topografica = T1

7.2.2) AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA E TOPOGRAFICA

Il § 7.11.3.2 delle N.T.C.-2008 cita "l'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale può essere valutata in prima approssimazione con riferimento alle categorie di sottosuolo". Il moto sismico alla superficie (in campo libero) associato ad ogni categoria di sottosuolo viene definito mediante l'**accelerazione massima attesa in superficie "a_{max}"** ed una forma spettrale ancorata ad essa.

L'accelerazione "a_{max}" rappresenta l'amplificazione dell'accelerazione di base (moto su suolo rigido) a seguito degli effetti di sito: ovvero le condizioni geologiche e topografiche.

L'accelerazione massima può essere calcolata con la seguente relazione (DM 14/01/2008, § 7.11.3.2)

$$a_{max} = S \cdot a_g$$

$S = S_S \cdot S_T$

S_S – coefficiente di amplificazione stratigrafica (in relazione alla categoria di sottosuolo)

S_T – coefficiente di amplificazione topografica (in relazione alla categoria topografica)

Considerando la classificazione sismica del sottosuolo, la classificazione topografica e la pericolosità di base del sito (a_g su suolo rigido), i valori dei coefficienti "S" e delle accelerazioni sismiche orizzontali amplificate "a_{max}" per ogni stato limite sono:

Periodo di riferimento V_R = 50 anni

Categoria del sottosuolo = B

	SLO	***SLD***	***SLV***	***SLC***
S_S	1.200	1.200	1.200	1.200
S_T	1.0	1.0	1.0	1.0
S	1.200	1.200	1.200	1.200
a_g	0.039	0.053	0.150	0.195
a_{max}	0.047	0.064	0.180	0.234

8) CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio geologico di un'area ubicata in Via Perseo all'incrocio con Via Vigasio a Verona, ha avuto lo scopo di verificare ai sensi della vigente normativa le caratteristiche geologiche, geotecniche, idrogeologiche e sismiche del sottosuolo sul quale si prevede di urbanizzare una nuova lottizzazione, la cui superficie è di circa 12.800 m^2.

La presente relazione descrive il contesto geologico in cui si inserisce l'area d'indagine, le indagini geognostiche in sito eseguite per ottenere dei dati utili per gli scopi del presente studio e la stima dei principali parametri geotecnici in campo statico e dinamico che si potranno rendere necessari per le puntuali valutazioni sulla stabilità dell'area.

Le analisi e le valutazioni descritte rappresentano delle conoscenze di base che andranno opportunamente integrate con altri dati rilevati in sito con specifiche indagini geognostiche, le quali saranno commisurate all'entità delle opere che si andranno a realizzare su ciascun lotto edificabile.

In riferimento ai dati attualmente disponibili il sottosuolo risulta caratterizzato dalla presenza continua sino oltre la profondità di 15 m (ma fonti bibliografiche consentono di stimare profondità molto maggiori) di litologie incoerenti costituite da ghiaie e ciottoli di forma perlopiù arrotondata 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 crescente con la profondità, ma la rigidità degli stessi non appare continua dalla profondità di 15 m sino 27 m dal piano campagna; in considerazione del contesto geolitologico in cui l'area si inserisce (zona prossima al limite superiore della fascia delle risorgive) entro tale profondità non sarebbe da escludere la possibilità di contatti litologici laterali e verticali più o meno marcati o sfumati tra materiali differenti.

Non sono state rilevate penalità di tipo geologico o geotecnico per la realizzazione di 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.

Il Piano di Assetto del Territorio del Comune di Verona individua la falda freatica alla profondità di circa 4 m dal piano campagna, pertanto si ritiene non interferire con le opere che si prevede di realizzare per l'urbanizzazione dell'area.

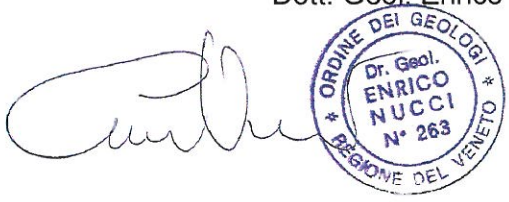
Prove di permeabilità eseguite in sito hanno confermato un'elevata capacità di drenaggio del sottosuolo con valori della permeabilità primaria per porosità "K" $>10^{-01}$ cm/s.

Da un punto di vista sismico il territorio comunale di Verona è classificato sismico in zona 3 e il sottosuolo è classificabile in categoria B con un valore di Vs30 superiore a 400 m/s.

Qualora si realizzino opere ordinarie le norme tecniche (D.M. 14/01/2008) prevedono un'accelerazione orizzontale massima attesa al sito "a_{max}" di ancoraggio dello spettro di risposta elastico variabile da 0.047g (V_R 50 anni, T_R 30 anni) a 0.234g (V_R 50 anni, T_R 975 anni).

Lì, dicembre 2014

Dott. Geol. Enrico Nucci



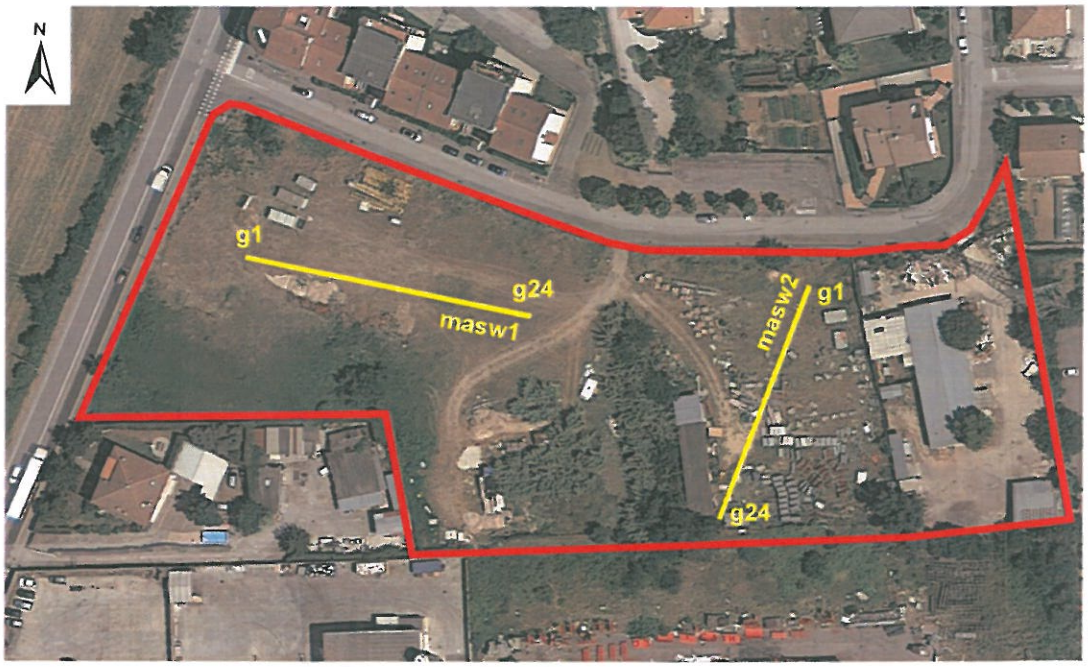
Dott. Geol. Andrea Garbellini

ALLEGATI

ALLEGATO

Ubicazione delle prove sismiche
Estratto dalle mappe di Google Maps
(planimetria non in scala)

Comune: Verona
Località: Via Perseo
Progetto: nuova lottizzazione
Data: 21/11/2014



limite dell'area di progetto

sviluppo dello stendimento masw

g1 - g24, posizione dei geofoni 1 e 24

STUDIO NUCCI
SOCIETÀ' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA
Via Albere, 132 - 37137 Verona
tel / fax 045.8622408
email studionuccisrl@tiscali.it

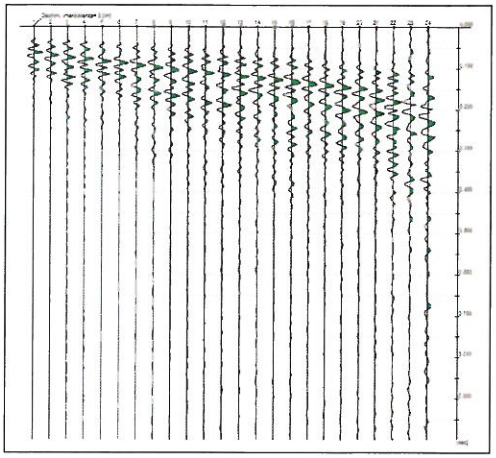
ALLEGATO

PROFILO SISMICO MASW 01

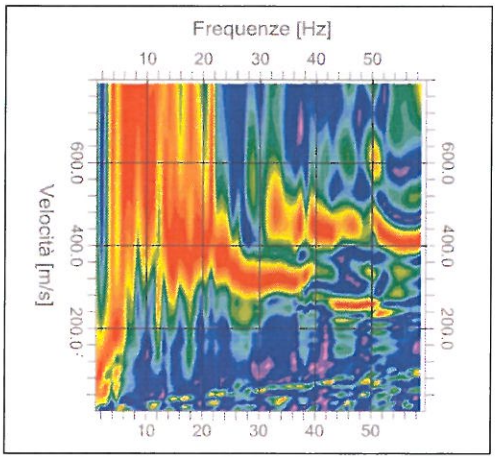
Località: Verona
Indirizzo: Via Perseo
Progetto: nuova lottizzazione
Data: 21/11/2014

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

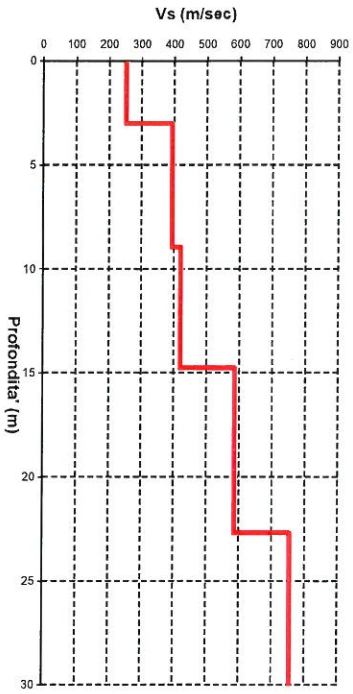
SISMOGRAMMA



SPETTRO VELOCITÀ DI FASE



Profilo verticale onde S



Strato	*Spessore (m)*	*Prof. (m)*	*γ kg/mc*	*Vs (m/s)*	*G (MPa) Rigidità*
1	3,0	3,0	2000	253	128
2	6,0	9,0	2149	395	335
3	5,8	14,8	2171	422	387
4	7,9	22,7	2282	587	786
5	9,0	31,6	2366	755	1349

Valore calcolato Vs30 = 470 m/sec

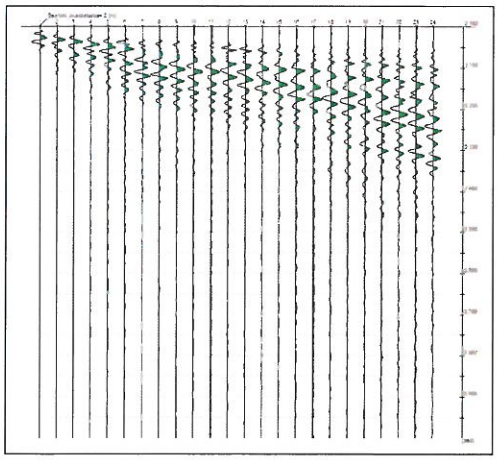
ALLEGATO

PROFILO SISMICO MASW 02

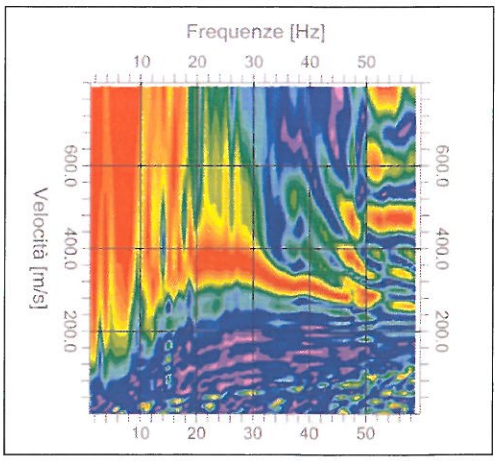
Località: Verona
Indirizzo: Via Perseo
Progetto: nuova lottizzazione
Data: 21/11/2014

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

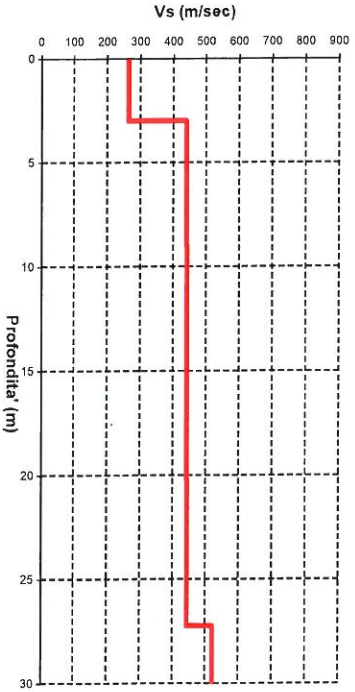
SISMOGRAMMA



SPETTRO VELOCITÀ DI FASE



Profilo verticale onde S



Strato	*Spessore (m)*	*Prof. (m)*	*γ kg/mc*	*Vs (m/s)*	*G (MPa) Rigidità*
1	3,0	3,0	2016	265	142
2	6,0	9,0	2185	440	423
3	5,0	14,0	2187	442	427
4	6,2	20,2	2187	442	427
5	7,1	27,3	2188	443	429
6	3,2	30,5	2242	521	609

Valore calcolato Vs30 = 420 m/sec

ALLEGATO

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

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROVE MASW

Località: Via Perseo - Verona
Progetto: nuova lottizzazione
Data: 21/11/2014

Area d'indagine vista in direzione ovest

Strumentazione utilizzata

ALLEGATO

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

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROVE MASW

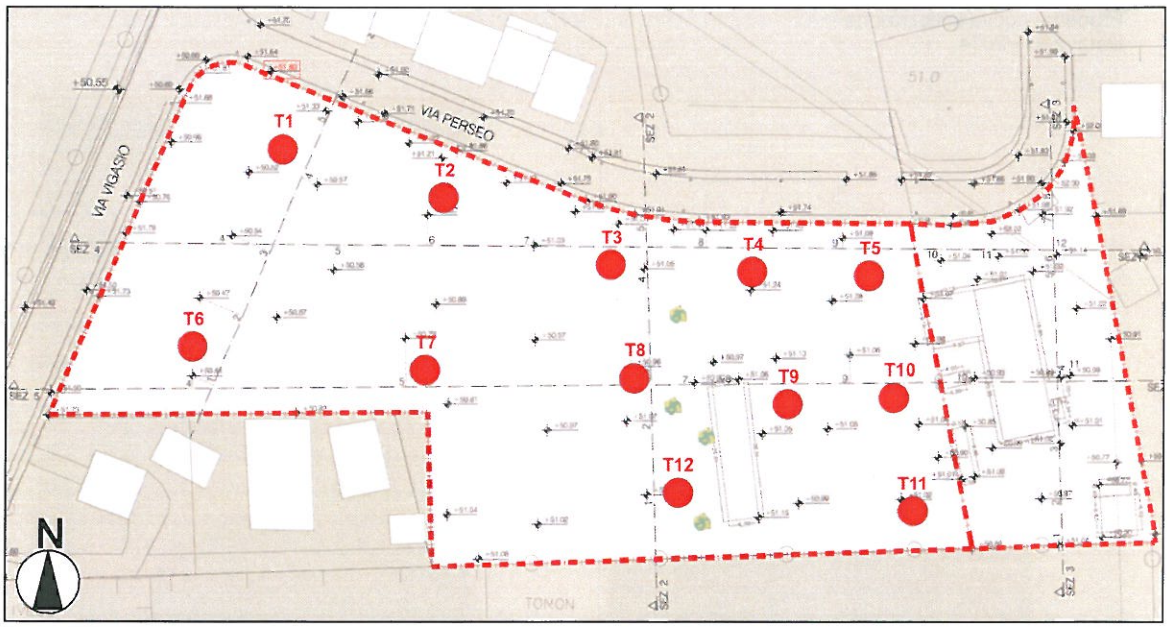
Località: Via Perseo - Verona
Progetto: nuova lottizzazione
Data: 21/11/2014

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

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

ALLEGATO:

TRINCEE ESPLORATIVE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



PLANIMETRIA AMBITO DI INTERVENTO SCALA 1:1.000 ED UBICAZIONE TRINCEE ESPLORATIVE

STUDIO NUCCI

SOCIETÀ' DI INGEGNERIA E GEOLOGIA APPLICATA
Via Albere, 132 - 37137 Verona
tel / fax 045.8622408
email studionuccisrl@tiscali.it

SEZIONE STRATIGRAFICA TRINCEA ESPLORATIVA n.1

QUOTA DAL P.C. (m)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE
0.0		Terreno vegetale ghiaioso, di colore rossastro
1.0		Ghiaie in matrice sabbiosa con ciottoli
2.0		
3.0		
4.0		

Vista d'insiema della sezione stratigrafica relativa alla trincea esplorativa n.1 e litologia rinvenuta durante lo scavo

SEZIONE STRATIGRAFICA TRINCEA ESPLORATIVA n.2

QUOTA DAL P.C. (m)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE
0.0		
1.0		Terreno vegetale ghiaioso, di colore rossastro
2.0		Ghiaie in matrice sabbiosa con ciottoli
3.0		
4.0		

Vista d'insiema della sezione stratigrafica relativa alla trincea esplorativa n.2 e litologia rinvenuta durante lo scavo

SEZIONE STRATIGRAFICA TRINCEA ESPLORATIVA n.3

QUOTA DAL P.C. (m)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE
0.0		
1.0		Terreno vegetale ghiaioso, di colore rossastro
2.0		Ghiaie in matrice sabbiosa con ciottoli
3.0		
4.0		

Vista d'insiema della sezione stratigrafica relativa alla trincea esplorativa n.3 e litologia rinvenuta durante lo scavo

SEZIONE STRATIGRAFICA TRINCEA ESPLORATIVA n.4

QUOTA DAL P.C. (m)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE
0.0		
1.0		Terreno vegetale ghiaioso, di colore rossastro
2.0		Ghiaie in matrice sabbiosa con ciottoli
3.0		
4.0		

Vista d'insieme della sezione stratigrafica relativa alla trincea esplorativa n.4 e litologia rinvenuta durante lo scavo

SEZIONE STRATIGRAFICA TRINCEA ESPLORATIVA n.5

QUOTA DAL P.C. (m)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE
0.0 – 1.0		Terreno vegetale ghiaioso, di colore rossastro
1.0 – 2.0		Ghiaie in matrice sabbiosa con ciottoli
2.0 – 3.0		
3.0 – 4.0		
4.0		

Vista d'insiema della sezione stratigrafica relativa alla trincea esplorativa n.5 e litologia rinvenuta durante lo scavo

SEZIONE STRATIGRAFICA TRINCEA ESPLORATIVA n.6

QUOTA DAL P.C. (m)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE
0.0 – 1.0		Terreno vegetale ghiaioso, di colore rossastro
1.0 – 2.0		Ghiaie in matrice sabbiosa con ciottoli
2.0 – 3.0		
3.0 – 4.0		
4.0		

Vista d'insiema della sezione stratigrafica relativa alla trincea esplorativa n.6 e litologia rinvenuta durante lo scavo

SEZIONE STRATIGRAFICA TRINCEA ESPLORATIVA n.7

QUOTA DAL P.C. (m)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE
0.0		Terreno vegetale ghiaioso, di colore rossastro
1.0		Ghiaie in matrice sabbiosa con ciottoli
2.0		
3.0		
4.0		

Vista d'insiema della sezione stratigrafica relativa alla trincea esplorativa n.7 e litologia rinvenuta durante lo scavo

SEZIONE STRATIGRAFICA TRINCEA ESPLORATIVA n.8

QUOTA DAL P.C. (m)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE
0.0 – 1.0		Terreno vegetale ghiaioso, di colore rossastro
1.0 – 2.0		Ghiaie in matrice sabbiosa con ciottoli
2.0 – 3.0		
3.0 – 4.0		
4.0		

Vista d'insiema della sezione stratigrafica relativa alla trincea esplorativa n.8 e litologia rinvenuta durante lo scavo

SEZIONE STRATIGRAFICA TRINCEA ESPLORATIVA n.9

QUOTA DAL P.C. (m)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE
0.0 – 1.0		Terreno vegetale ghiaioso, di colore rossastro
1.0 – 2.0		Ghiaie in matrice sabbiosa con ciottoli
2.0 – 3.0		
3.0 – 4.0		
4.0		

Vista d'insiema della sezione stratigrafica relativa alla trincea esplorativa n.9 e litologia rinvenuta durante lo scavo

SEZIONE STRATIGRAFICA TRINCEA ESPLORATIVA n.10

QUOTA DAL P.C. (m)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE
0.0 – 1.0		Terreno vegetale ghiaioso, di colore rossastro
1.0 – 2.0		Ghiaie in matrice sabbiosa con ciottoli
2.0 – 3.0		
3.0 – 4.0		
4.0		

Vista d'insiema della sezione stratigrafica relativa alla trincea esplorativa n.10 e litologia rinvenuta durante lo scavo

SEZIONE STRATIGRAFICA TRINCEA ESPLORATIVA n.11

QUOTA DAL P.C. (m)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE
0.0		
		Terreno vegetale ghiaioso, di colore rossastro
1.0		Ghiaie in matrice sabbiosa con ciottoli
2.0		
3.0		
4.0		

Vista d'insiema della sezione stratigrafica relativa alla trincea esplorativa n.11 e litologia rinvenuta durante lo scavo

SEZIONE STRATIGRAFICA TRINCEA ESPLORATIVA n.12

QUOTA DAL P.C. (m)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE
0.0 – 1.0		Terreno vegetale ghiaioso, di colore rossastro
1.0 – 2.0		Ghiaie in matrice sabbiosa con ciottoli
2.0 – 3.0		
3.0 – 4.0		
4.0		

Vista d'insiema della sezione stratigrafica relativa alla trincea esplorativa n.12 e litologia rinvenuta durante lo scavo