

dr.geol. luca zanoni
via luzzatti, 15 – 37131 verona
tel e fax 045 8402812
e-mail geologozanoni@gmail.com
PEC l.zanoni@gmail.com
www.geologozanoni.eu

Legnaghese Real Estate spa

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DI INIZIATIVA PRIVATA PER LA REALIZZAZIONE
DI UN FABBRICATO A DESTINAZIONE COMMERCIALE SITO IN LOC. SAN MICHELE
TRA LE VIE MATTARANA, MONTI LESSINI, E R.OLIVIERI
DENOMINATO P.U.A. MATTARANA

Relazione di compatibilità geologica, modellazione geotecnica e
caratterizzazione sismica del sottosuolo, ai sensi del D.M.14.01.2008

Provincia: Verona	Comune: Verona
Il Committente:	Il Tecnico:
L'impresa:	Il direttore Lavori:
Luogo e data: <i>Verona, Febbraio 2013</i>	Revisione:

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DI INIZIATIVA PRIVATA PER LA REALIZZAZIONE
DI UN FABBRICATO A DESTINAZIONE COMMERCIALE SITO IN LOC. SAN MICHELE
TRA LE VIE MATTARANA, MONTI LESSINI, E R.OLIVIERI
DENOMINATO P.U.A. MATTARANA

Relazione di compatibilità geologica, modellazione geotecnica e
caratterizzazione sismica del sottosuolo, ai sensi del D.M.14.01.2008.

Indice:

1.	<i>Generalita'</i>	<i>pag. 3</i>
2.	<i>Ubicazione dell'area</i>	<i>pag. 3</i>
3.	<i>Inquadramento geologico generale</i>	<i>pag. 4</i>
4.	<i>Caratteri geomorfologici ed idrogeologici</i>	<i>pag. 7</i>
5.	<i>Indagini eseguite</i>	<i>pag. 8</i>
6.	<i>Modalità esecutive della prova penetrometrica dinamica DPSH</i>	<i>pag. 9</i>
7.	<i>Modello geologico</i>	<i>pag. 11</i>
8.	<i>Compatibilità sismica</i>	<i>pag. 13</i>
9.	<i>Caratterizzazione sismica del sottosuolo</i>	<i>pag. 16</i>
11.	<i>Conclusioni</i>	<i>pag. 22</i>

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DI INIZIATIVA PRIVATA PER LA REALIZZAZIONE
DI UN FABBRICATO A DESTINAZIONE COMMERCIALE SITO IN LOC. SAN MICHELE
TRA LE VIE MATTARANA, MONTI LESSINI, E R. OLIVIERI
DENOMINATO P.U.A. MATTARANA

Relazione di compatibilità geologica, modellazione geotecnica e
caratterizzazione sismica del sottosuolo, ai sensi del D.M.14.01.2008

1. GENERALITA'

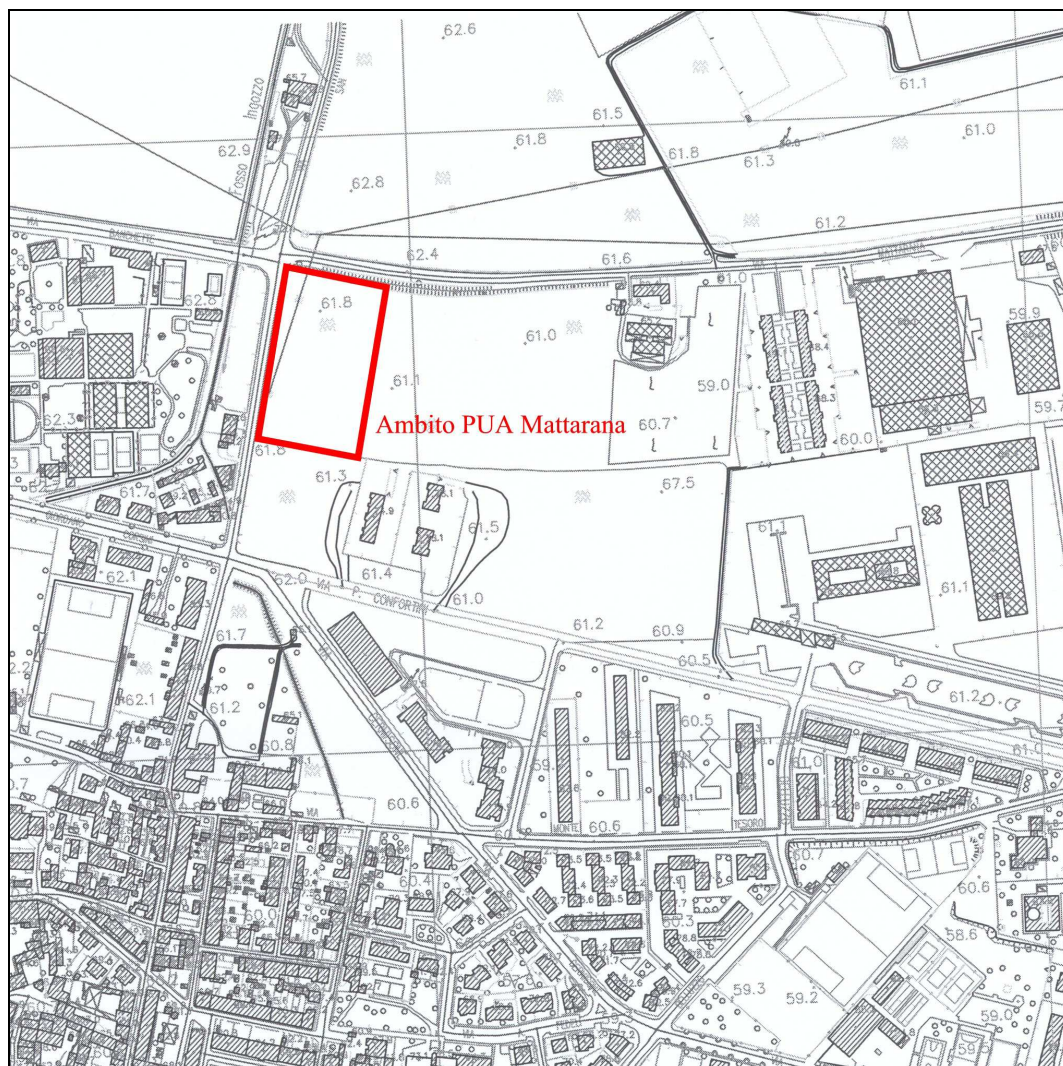
Su incarico e per conto della Società Legnaghese Real Estate spa, è stata eseguita un indagine geologica, geotecnica e sismica, su un'area sita in Comune di Verona tra via Monti Lessini, via Mattarana e via R. Olivieri, con lo scopo di verificare la compatibilità del progetto di un P.U.A. che prevede la costruzione di un fabbricato a destinazione commerciale, in rapporto alle problematiche di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico che esso può comportare.

Il presente studio entrerà quindi nel merito di verificare l'idoneità della zona prescelta dal punto di vista geologico-geotecnico nella nuova situazione geostatica che si verrà a creare a lavori ultimati, e costituisce pertanto, ai sensi del D.M. 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni", il supporto geologico-geotecnico al progetto di realizzazione delle opere.

2. UBICAZIONE DELL'AREA

L'area d'indagine è situata tra via Monti Lessini, via Mattarana e via R. Olivieri nel Comune di Verona, ed è individuata nella tavoletta I.G.M. "Verona" alla scala 1:25000 - Foglio 49, Quadrante III, Orientamento NO.

La zona è individuata nella Cartografia Tecnica Regionale alla scala 1:5000, sull'elemento n.124131 "Verona San Michele".



Stralcio C.T.R. 1:5000, elemento n.124131 "Verona San Michele"

3. **INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE**

Il sito in oggetto, è situato in un'area dell'alta pianura veronese alle propaggini meridionali dei Monti Lessini, regione essenzialmente collinare e montagnosa, la cui forma è pressochè triangolare con vertice rivolto a Nord; verso Sud il rilievo si abbassa fino ad immergersi sotto la coltre alluvionale dell'alta pianura veronese. Le formazioni affioranti nell'area lessinea, comprendono termini sia di origine marina che continentale depositatisi in un periodo di tempo compreso tra il Trias e il Quaternario.

La monoclinale lessinea, è solcata da estese e talora strette incisioni vallive disposte a ventaglio aperto verso sud il cui orientamento sembra coincidere con quello delle direttrici tettoniche della regione.

Nel quadro tettonico generale, si rileva come i lineamenti strutturali lessinei possano essere identificati in un complesso di fratture e faglie con disposizione a ventaglio, il cui vertice si trova a Nord della regione lessinea.

Verso occidente prevalgono orientamenti riferibili alla Linea delle Giudicarie, verso oriente prevalgono orientamenti simili a quello della Linea di Schio. In corrispondenza delle dislocazioni principali vi è tutta una serie di disturbi tettonici minori per faglia, paralleli o intersecanti le dislocazioni maggiori.

Mentre la parte occidentale della regione Lessinea è caratterizzata da depositi di origine calcarea, tutta la parte orientale è caratterizzata da abbondanti quantità di materiali d'origine endogena; si tratta per lo più di effusioni laviche basaltiche a bassa viscosità depositate in epoca terziaria in tutta la zona suddetta.

Tale area infatti, essendo ribassata rispetto all'orizzontale a causa di una dislocazione tettonica, conosciuta come Linea di Castelvero, ebbe a svolgere l'importante funzione di bacino di raccolta.

I caratteri morfologici della regione, riflettono quelle che sono le caratteristiche tettoniche già viste; le incisioni vallive infatti manifestano orientamenti del tutto analoghi a quelli delle dislocazioni tettoniche evidenziando quindi uno stretto rapporto genetico.

Anche l'idrografia e l'idrogeologia della regione sono condizionate dall'assetto tettonico generale e, non da meno, dalle caratteristiche litologiche delle formazioni rocciose. Il sistema idrografico principale, è quindi costituito da valli dirette secondo la massima pendenza della monoclinale, ed affiancato da un sistema secondario di vallette laterali intersecante il primo. Nella parte superiore del loro corso, i torrenti lessinei, drenano bacini idrografici di discreta estensione, quindi percorrono valli piuttosto strette, fino a sfociare in valli ampie generalmente occupate da depositi grossolani molto permeabili.

La permeabilità delle varie formazioni presenti nella regione, varia moltissimo in base al tipo di fratturazione ed ai fenomeni carsici presenti.

In condizioni di piovosità normali, nelle zone montuose o collinari, le acque vengono in gran parte assorbite dal suolo e restituite alla luce in corrispondenza di alcuni livelli a permeabilità ridotta, originando parecchie piccole sorgenti. Si tratta generalmente di scaturigini direttamente legate alle variazioni di piovosità e quindi di portata estremamente variabile. Per quanto riguarda invece i depositi vallivi di tipo grossolano, data la loro notevole permeabilità, tendono a far filtrare l'acqua in profondità, lasciando quasi sempre a secco gli alvei stessi.

[illegible]

Nel dettaglio si distinguono alvei con disposizione a "canali intrecciati" che delimitano dossi. Gli alvei sono più o meno ben conservati, per la maggior parte inattivi, alcuni percorsi e in parte rimodellati dai corsi d'acqua alimentari dalle risorgive. Alcuni alvei ospitano aree palustri.

- alluvioni prevalentemente ghiaiose
- alluvioni prevalentemente sabbiose
- alluvioni prevalentemente limose
- terreni torbosi

Alluvioni appartenenti al piano di divagazione dell'Adige, incastrato nel conoide. Nel dettaglio si distinguono zone modellate da corsi d'acqua con disposizione a "canali intrecciati", aree con meandri abbandonati e aree palustri in gran parte bonificate.

	alluvioni prevalentemente ghiaiose
	alluvioni prevalentemente sabbiose
	alluvioni prevalentemente limose
	terreni torbosi

Piano Urbanistico Attuativo di iniziativa privata per la realizzazione di un fabbricato ad destinazione commerciale, sito tra le vie Mattarana, Monti Lessini e R. Olivieri, denominato P.U.A. Mattarana

Relazione di compatibilità geologica, modellazione geotecnica e caratterizzazione sismica, ai sensi del D.M.14.01.2008.

4. CARATTERI GEOMORFOLOGICI ED IDROGEOLOGICI

Dal punto di vista geomorfologico la zona in oggetto è interessata da forme di accumulo originate dai principali processi fluviali, fluvioglaciali che hanno modellato negli anni le zone pedemontane e l'alta pianura veronese.

La natura, l'intensità e lo stadio evolutivo raggiunto in passato dai processi suddetti, consentono, attraverso il riconoscimento sul territorio delle forme, dei lineamenti e dei caratteri geoidrologici, la classificazione geologica delle diverse aree.

Enorme importanza assunsero le variazioni climatiche Pleistoceniche che provocarono il susseguirsi di fasi glaciali ed interglaciali.

In particolare durante l'Età del Ferro, si instaurò un clima fresco e umido che portò alla circolazione di enormi masse d'acqua che contribuirono a modellare sia le zone di pianura che le aree prealpine.

Dal punto di vista geomorfologico, il sito in esame si colloca sui depositi grossolani dell'antico conoide dell'Adige, che ha sbarrato il conoide del progno di Valpantena creando il sovralluvionamento della omonima valle.

I depositi presenti in zona sono quindi caratterizzati da alluvioni prevalentemente ghiaiose, sabbiose e ciottolose, localmente interdigitate con le alluvioni prevalentemente limose della Valpantena.

A livello superficiale, la zona appare totalmente pianeggiante con pendenze valutabili sull'ordine del 1-2% e quote variabili attorno ai 60 metri slm.

Limitatamente all'area in oggetto, l'elemento idrografico di maggiore rilievo, a parte ovviamente l'Adige, è individuato nel corso del Progno di Valpantena che funge da asse principale di drenaggio di tutta l'omonima valle e che scorre ad Est del sito in oggetto.

Esso esprime un regime di tipo essenzialmente torrentizio e quindi risulta privo di deflusso idrico per la maggior parte dell'anno. Soltanto in occasione di eventi meteorologici importanti il torrente è interessato da una presenza idrica che occasionalmente può raggiungere portate di un certo rilievo.

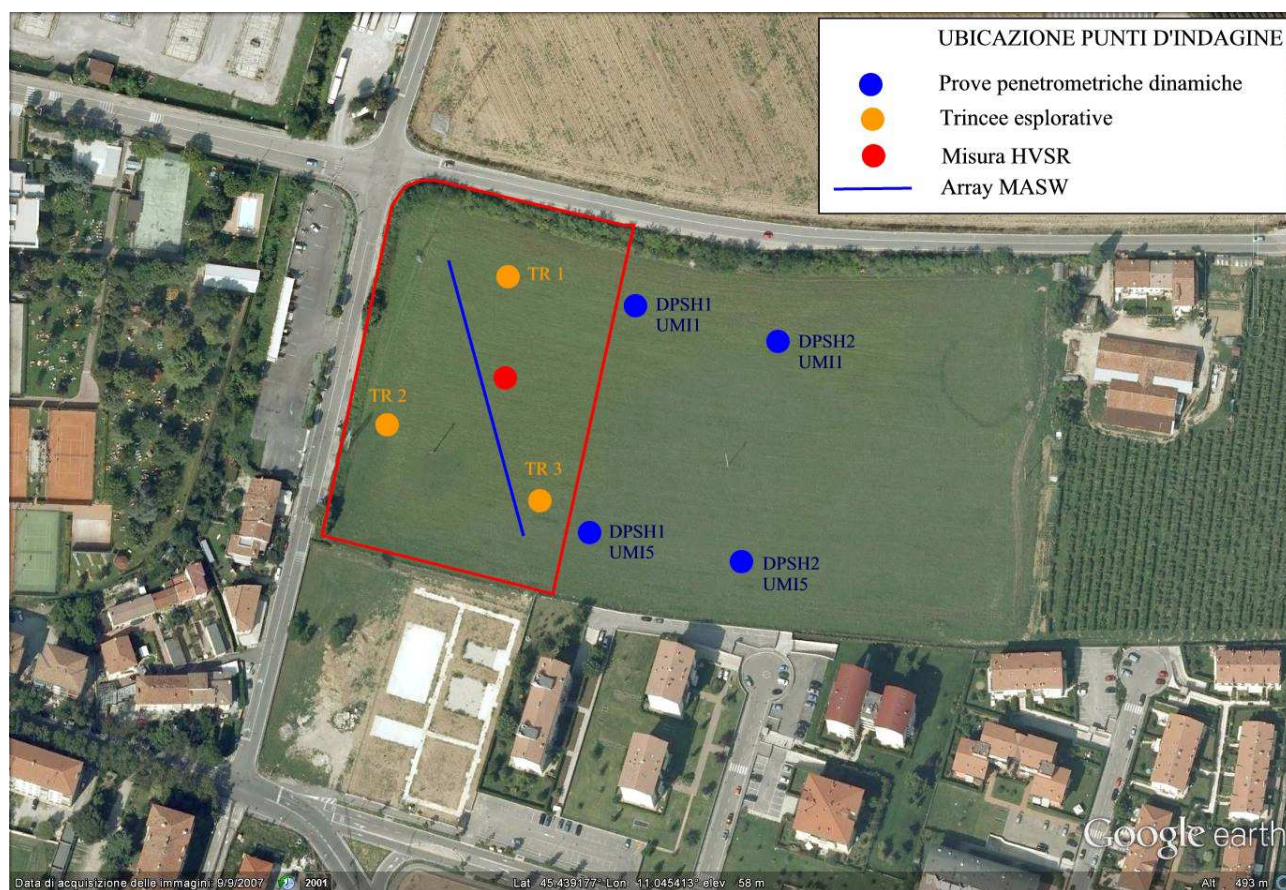
La falda freatica attesta il suo livello ad una profondità media di circa 13 m dal p.c. con oscillazioni stagionali tra livello di minima e di massima che possono arrivare a 4 m.

Quindi, anche considerando un'escursione positiva di circa 2 metri, il livello piezometrico non potrà interessare le strutture in oggetto.

5. INDAGINI ESEGUITE

Il modello geologico e geotecnico ed i parametri geotecnici che caratterizzano il sito in oggetto, sono stati desunti da una precedente indagine geognostica eseguita dallo scrivente nelle U.M.I. 1-3-5 del PEEP n.72, limitrofe. In quell'occasione furono eseguite n.4 prove penetrometriche dinamiche pesanti e n.4 trincee esplorative tramite escavatore meccanico.

L'indagine attuale è consistita nello scavo di altre trincee esplorative nel lotto in oggetto e nella caratterizzazione sismica del sottosuolo, per la definizione della frequenza di vibrazione del terreno e delle V_{s30} come previsto dal D.M. 14.01.2008 NTC, attraverso un'indagine sismica con tecniche MASW e HVSR.



6. **MODALITA' DI ESECUZIONE DELLA PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH**

L'attrezzatura consiste in una batteria di aste di acciaio e in un dispositivo di infissione agente a percussione; la batteria di aste, con peso di 6.90 Kg/mq. è collegata all'estremità inferiore ad una punta conica del diametro di 50.8 mm. (sez. 20.27 cmq.) ed angolo di apertura di 60°. Il dispositivo di infissione è costituito da un maglio del peso di 73.5 Kg. che cade automaticamente da un'altezza di 75 cm. La prova consiste nell'infiggere la punta conica nel terreno per tratti consecutivi di 30 cm., fino alla profondità desiderata, rilevando il numero di colpi (Nd) necessario alla penetrazione di ogni singolo tratto. I dati ricavati dalla prova sono tabulati in diagrammi Nd30 - profondità e Resistenza dinamica - profondità. In base ai valori rilevati è possibile determinare i valori di rottura del terreno alle varie profondità e, in base a questi, risalire alla capacità portante dei terreni sia attraverso calcolo matematico che attraverso grafico. Dal confronto dei valori di Nd è possibile inoltre risalire alla probabile stratigrafia del sottosuolo. Numerose prove effettuate evidenziano una corrispondenza media fra il numero di colpi Nspt per infissioni di 30 cm. ed il numero di colpi Nd.

In particolare:

ENERGIA SPECIFICA PER COLPO:

$$Q = (M H) / (A v) = 9.00 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Q_{spt} = 7.83 \text{ Kg/cm}^2$$

COEFF. TEORICO DI ENERGIA:

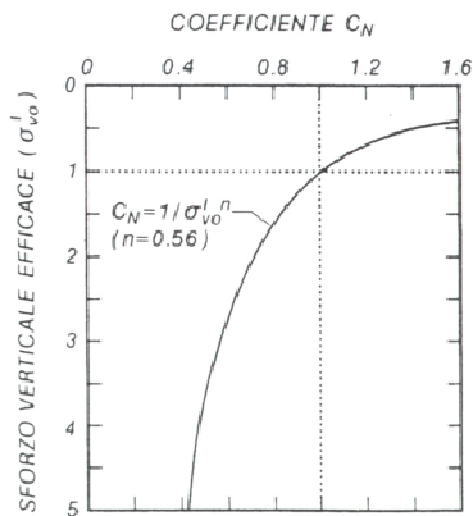
$$\beta = Q/Q_{spt} = 1.15$$

TEORICAMENTE:

$$N_{spt} = \beta \times N$$

Va tenuto in considerazione che i terreni di riporto o fortemente rimaneggiati i coefficienti ottenuti non seguono la stessa logica e comunque la dispersione dei valori risulta troppo elevata.

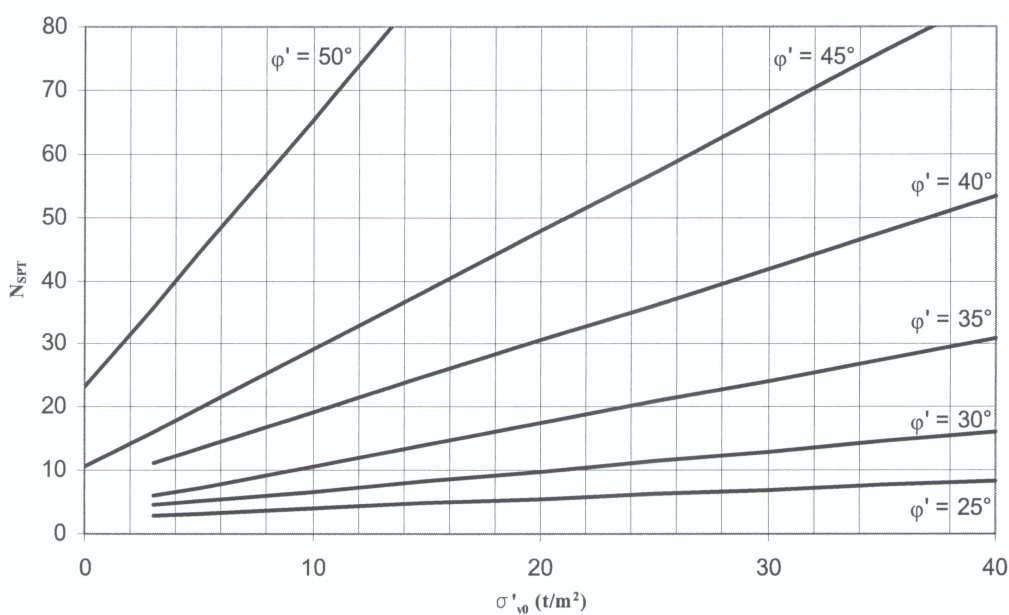
Poichè il numero dei colpi forniti dalla SPT è influenzato dal valore della pressione litostatica, e quindi, dalla profondità della prova penetrometrica, per omogeneizzare le misure base viene allegato il seguente diagramma dovuto a GIBBS ed HOLTZ.



Esso fornisce un coefficiente correttivo C_N del numero di colpi rilevati alle varie quote per riportarli al valore corrispondente alla pressione efficace $\sigma_{vo} = 100$ KPa. Il valore di SPT corretto verrà indicato con N' spt.

In base al valore di N' spt è possibile con il grafico alla seguente determinare il grado di addensamento e l'angolo di attrito dei terreni.

Stima dell'angolo di resistenza a taglio
in funzione di σ'_{vo} e N_{SPT} - De Mello (1971)



7. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Le indagini eseguite hanno confermato la successione stratigrafica ipotizzata in prima analisi. Come precedentemente descritto l'area è caratterizzata da una abbondante presenza di depositi incoerenti ghiaioso-sabbiosi, con livello superficiale di alterazione con spessore variabile tra 1 e 2 metri.

I sedimenti in oggetto, analizzati a grande scala, mantengono una sostanziale uniformità per tutta l'area indagata pur manifestando qualche differenziazione a carattere lenticolare.

Le trincee esplorative hanno evidenziato gli spessori maggiori di copertura verso la parte sud del lotto. Lo scheletro ghiaioso inizia a comparire a circa 1.2 m da p.c. e tende gradatamente a prevalere sulla matrice argillosa. Alla profondità di circa 2 m le ghiaie cominciano ad essere pulite con presenza di ciottoli, trovanti e matrice sabbiosa.

Dal punto di vista geotecnico, osservando le verticali delle prove penetrometriche dei lotti a fianco, si evidenziano lungo la verticale di prova n.1 UMI 5, la presenza di un livello sabbioso da poco a mediamente addensato tra le profondità di 2.1 e 2.4 m dal p.c. attuale, e lungo la verticale di prova n.1 UMI1 la presenza di un livello sabbioso o sabbioso-ghiaioso mediamente addensato (SPT 10-12 colpi).

Più in profondità i depositi ghiaiosi presentano un maggiore addensamento per una maggiore variazione del fuso granulometrico, con presenza anche di grossi ciottoli.

Oltre agli 8.5 m massima profondità indagata a causa del rifiuto strumentale, le ghiaie presentano una granulometria di tipo medio-grosso, evidenziando localmente anche livelli con un minore addensamento. Si tratta comunque di depositi dotati di ottime caratteristiche geotecniche e bassa compressibilità. Alcune perforazioni eseguite in zona mostrano come tale situazione geologica si mantenga inalterata fino alla profondità di almeno 20 m dal p.c., mentre più in profondità, i depositi si mantengono prevalentemente ghiaiosi ma con locali intercalazioni argillose.

L'indagine sismica conferma il modello geologico con la velocità delle onde sismiche che tende progressivamente ad aumentare con la profondità, evidenziando quindi la presenza di materiali con maggiore addensamento e/o consistenza.

La falda freatica in zona si attesta ad una profondità di circa 13 m dal p.c. e quindi non interferirà né con gli scavi per la posa delle fondazioni, né con le strutture in elevazione.

Quindi, sulla base delle indagini eseguite e delle informazioni raccolte, e con riferimento al progetto in esame, è stato elaborato il seguente modello geologico cautelativo, valido per tutto il sito. Si tenga presente che il p.c. attuale si trova circa 1 m più basso del marciapiede di via R. Olivieri.

Da 0.00 a 1.20 m dal p.c. – Argilla limosa:

Peso di Volume	$\gamma_k = 21.0 \text{ KN/mc}$
Coesione	$C_{uk} = 60 \text{ KN/mq}$
N spt	$N = 2-3 \text{ colpi}$

Da 1.20 a 2.00 m dal p.c. – Argilla limosa con ghiaia:

Peso di Volume	$\gamma_k = 21.0 \text{ KN/mc}$
Coesione	$C_{uk} = 90 \text{ KN/mq}$
N spt	$N = 3-5 \text{ colpi}$

Da 2.00 a 2.70 m dal p.c. – Ghiaia e sabbia con ciottoli mediamente addensata con locale presenza di livelli sabbiosi poco addensati:

Peso di Volume	$\gamma_k = 18.2 \text{ KN/mc}$
Angolo d'attrito	$\phi_k = 32^\circ$
N spt	$N = 15 \text{ colpi}$

Da 2.70 a 5.70 m da p.c. Ghiaia e sabbia con ciottoli addensata:

Peso di Volume	$\gamma_k = 18.7 \text{ KN/mc}$
Angolo d'attrito	$\phi_k = 33^\circ$
N spt	$N = 20 \text{ colpi}$

Da 5.70 a 20.0 m Ghiaia e sabbia con ciottoli ben addensata:

Peso di Volume	$\gamma_k = 18.8 \text{ KN/mc}$
Angolo d'attrito	$\phi_k = 34^\circ$
Nspt	$N = 23 \text{ colpi}$

L'angolo d'attrito è stato calcolato con la relazione proposta da Sowers, secondo la quale:

$$\varphi = 28 + 0,28N_{spt}$$

Il valore dei parametri caratteristici è stato valutato come stima ragionata e cautelativa dei valori più probabili per lo stato considerato, come peraltro evidenziato al par. 6.2.2 del D.M. 14.01.2008, Circolare 617/2009 par. C6.2.2 ed Eurocodice 7.

Dal punto di vista costruttivo, e limitatamente all'area di intervento, non vi sono comunque da evidenziare particolari problemi di ordine geotecnico, tali da sconsigliare la realizzazione delle opere in progetto, e quindi, per il trasferimento dei carichi sul terreno sarà possibile utilizzare delle fondazioni dirette superficiali di tipo semplice come fondazioni a plinto.

8. COMPATIBILITA' SISMICA

E' stato elaborato uno studio di compatibilità sismica dell'area di intervento al fine di evidenziare eventuali problematiche connesse con l'amplificazione delle onde sismiche, cioè quel complesso di variazioni in ampiezza, contenuto in frequenza e durata che il moto sismico subisce in prossimità della superficie.

Numerosi studi hanno evidenziato che l'amplificazione delle onde sismiche è prodotta da tre distinti fenomeni:

- Amplificazione per contrasto di impedenza tra il bedrock sismico e una copertura a minore velocità.
- Amplificazione sismica per intrappolamento delle onde sismiche (P de S) per riflessioni multiple
- Amplificazione per focalizzazione delle onde sismiche in corrispondenza di creste o brusche rotture di pendenza.

Gli effetti dell'amplificazione sismica in superficie sono conosciuti come *risposta sismica locale*.

In base alla OPCM 3274 del 20.03.2003, il Comune di Verona appartiene alla zona sismica 3 caratterizzata da valori di accelerazione massima (a_g) convenzionale su suolo di tipo A pari a 0.14 g.

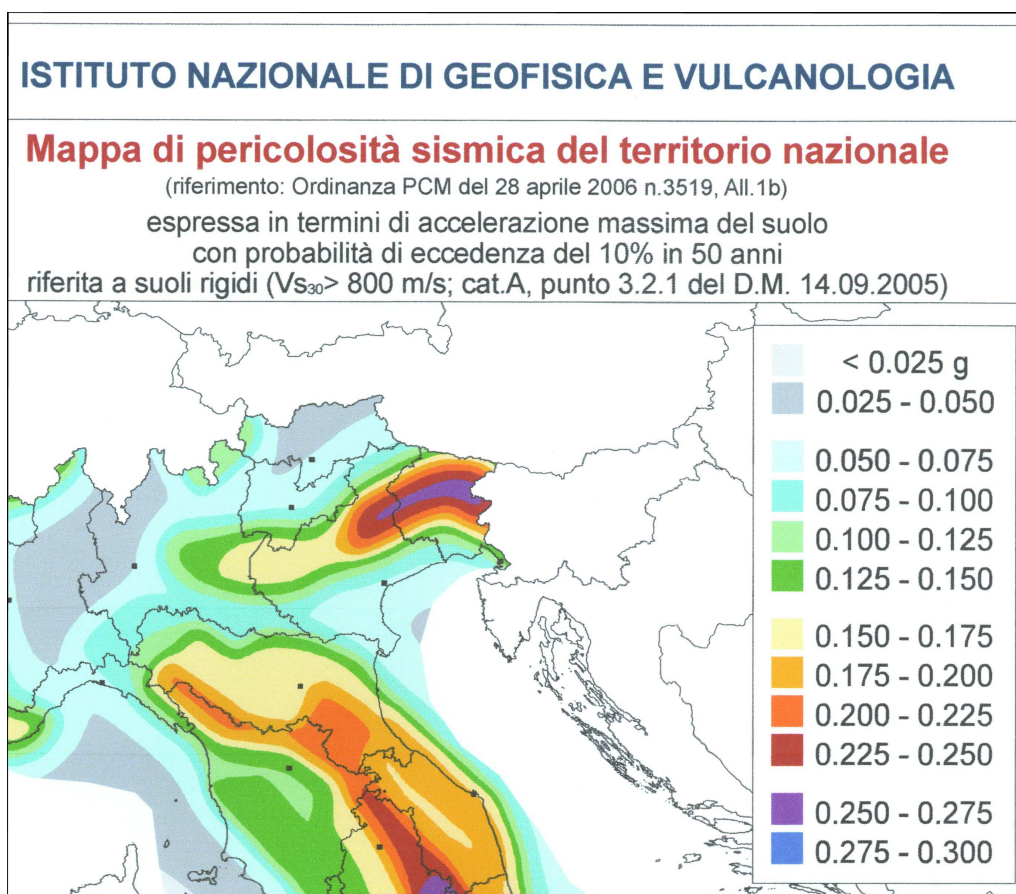
Successivamente con la OPCM 3519 del 28.04.2006, ciascuna zona viene individuata mediante valori di accelerazione massima (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_s > 800$ m/s.

Questi ultimi sono ricavabili dalla carta di pericolosità sismica in allegato, dove i valori di (a_g) sono indicati su una maglia di 0.02 gradi, e nella quale il Comune di Verona rientra in una fascia con valori di (a_g) variabili tra 0.150-0.175 g.

Il Veneto allo stato attuale è interessato da una sismicità di magnitudo medio-bassa. Nel periodo 1977-2006, la rete gestita dall'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste ha registrato quasi 1200 eventi sismici con magnitudo compresa tra 2.0-3.0. Essi si localizzano in gran parte nella fascia pedemontana che unisce Alpago e Monte Baldo, con profondità epicentrale di circa 7-15 km.

Fino ad oggi, sei sono stati gli eventi con magnitudo $M_D > 4$:

24.05.1987 Garda, $M_D > 4.2$
13.09.1989 Pasubio, $M_D > 4.8$
13.04.1996 Claut, $M_D > 4.2$
24.11.2004 Salò, $M_D > 5.2$
29.10.2011 Ala, $M_D > 4.2$
25.01.2012 Grezzana, $M_D > 4.2$



Alla data del 18 Febbraio 1997, l'analisi sismica veronese riporta 1615 eventi che hanno interessato il territorio Provinciale e la stesa città di Verona con grado di magnitudo da 2° a 5° Richter. Si ricordano gli eventi storici peggiori nel 1491 con 8° M.C.S. e nel 1117 con 9° M.C.S.

Oltre all'attento esame di bibliografia stratigrafica, strutturale e tettonica dell'area in esame e del territorio circostante, è stato effettuato un rilevamento mirato dapprima all'individuazione di eventuali indizi morfotettonici e quindi forme del paesaggio che potessero indicare movimenti sismo-tettonici recenti e poi, alla verifica morfologica del sito volta ad evidenziare l'eventuale esistenza di condizioni per un'esaltazione dell'onda sismica.

A livello generale, le situazioni che possono creare amplificazione delle onde sismiche sono le seguenti:

- Prossimità di elementi sismogenetici attivi,
- presenza di faglie e fratture maggiori,
- marcate irregolarità del rilievo,
- coltri detritiche su versante,
- accumuli di frana attiva o quiescente,
- scarpate di crollo,
- terreni sabbiosi sciolti e saturi.

Recentemente è stato inoltre evidenziato che particolari amplificazioni sismiche locali si sono verificate in corrispondenza di linee di cresta marcate e di bruschi cambiamenti sia concavi che convessi, come i bordi dei terrazzi fluviali e i cigli di scarpate naturali o artificiali e, le nicchie di distacco di frane. Il rilevamento del sito in esame, non ha evidenziato la presenza di particolari situazioni assimilabili a quelle sopra descritte e quindi l'area risulta dal punto di vista sismico, compatibile con le strutture in progetto.

Le N.T.C. (D.M. 14.01.2008), ai fini della definizione della risposta sismica locale prendono in considerazione l'amplificazione legata agli effetti litologico-stratigrafici e a quelli topografici. Gli effetti litologico-stratigrafici sono dovuti al contrasto di impedenza tra terreni diversi, mentre gli effetti topografici si generano su elementi geomorfologici naturali o artificiali (per convenzione di altezza superiore a 30 m) come cigli di scarpata, creste, cime isolate e guglie.

In realtà, esiste un terzo effetto, definito "*effetto di valle e di bordo vallivo*" che non viene preso in considerazione dalle N.T.C. perché è un fenomeno che non è ancora stato compreso ed è difficilmente quantificabile.

Fatte le dovute valutazioni, in base al modello geologico e geotecnico definito, dal punto di vista sismico, l'area di lottizzazione si può classificare come "*area stabile suscettibile di amplificazione sismica*", nella quale sarà necessario in fase di progetto dei fabbricati, ricorrere a specifiche indagini per determinare a fini geotecnici, la risposta sismica locale dei singoli lotti.

9. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

Allo scopo di valutare la velocità delle Vs30 per definire la categoria di sottosuolo come prevede il DM 14.01.2008, e di individuare la frequenza di vibrazione fondamentale del terreno, è stata eseguita un'indagine geofisica tramite uno stendimento sismico con tecnica Masw, ed una misura di microtremore a stazione singola con tecnica H.V.S.R. La procedura Masw viene classificata come metodo attivo in quanto utilizza una sorgente di rumore indotta; è molto veloce e semplice in fase di acquisizione e raggiunge buone profondità con discreta risoluzione. L'analisi sismica è stata realizzata tramite 24 geofoni verticali a 4.5 Hz uniti in array lineare, con acquisitore Sismatrack digitale, della MAE srl. La spaziatura usata tra i geofoni è stata di 3 metri e quindi la lunghezza complessiva del profilo è risultata essere di 69 metri.

Per una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde Vs, è necessario adottare un modello numerico che può essere rappresentato dalla seguente equazione:

$$V_s = H / \sum h_i / v_i$$

Dove: Vs = valore di velocità delle onde di taglio (m/s)

H = profondità alla quale si desidera stimare Vs (30 m nel caso di Vs₃₀)

h_i = spessore dello strato i-esimo (m)

v_i = velocità delle onde Vs all'interno dello strato i-esimo (m/s)

La tecnica a sismica passiva H.V.S.R, Horizontal to Vertical Spectral Ratio, è molto rapida, non invasiva e richiede pochissimo spazio a disposizione. Con questa tecnica è possibile ottenere informazioni circa:

- La *frequenza caratteristica di risonanza del terreno*, di fondamentale importanza per il dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale,
- La *frequenza fondamentale di risonanza di un edificio*,
- La *velocità media delle onde di taglio Vs* per la definizione delle Vs₃₀ e della successiva categoria di sottosuolo, L
- La *stratigrafia del sottosuolo*.

Per l'acquisizione dei dati si è usato un geofono triassiale a 2 Hz della ditta MAE srl. Questo strumento registra il microtremore sismico naturale generato da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento), dall'attività antropica e dall'attività dinamica terrestre. In questo tipo di analisi, è necessario porre la massima attenzione ai fenomeni di *doppia risonanza* cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico trasmesso in superficie e quelle degli edifici edificati od in progetto. In caso di evento sismico infatti gli effetti sull'edificio potrebbero essere disastrosi.

Dal punto di vista empirico, la frequenza di risonanza di un edificio può essere stimata secondo la formula:

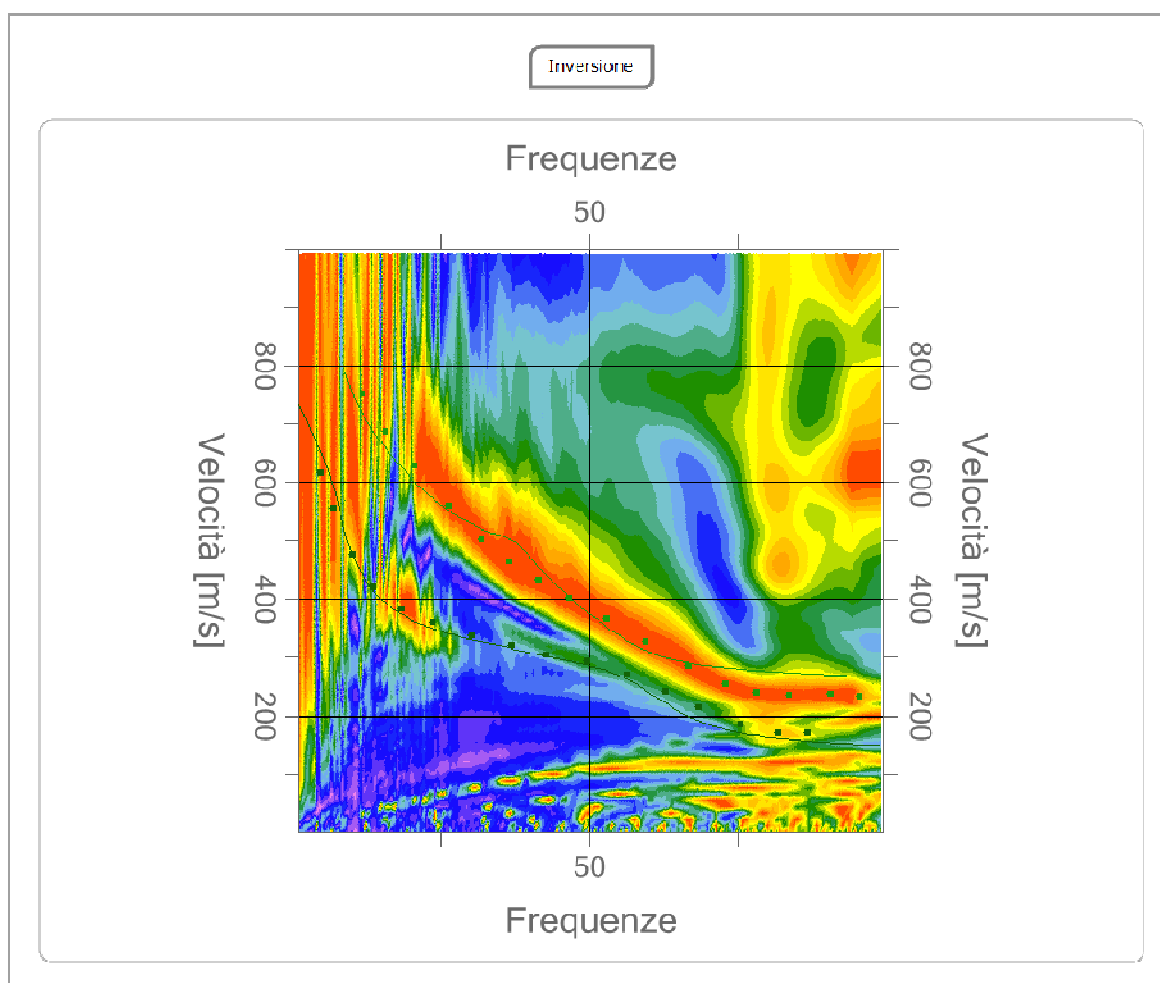
$$f_e = 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

Oppure può essere valutata con formule semplificate, quale quella indicata nel D.M. 14.01.2008, valida per edifici con Z non superiore ai 40 metri e massa distribuita, approssimativamente, in maniera uniforme lungo l'altezza:

$$f_s = \frac{1}{C_1 Z^{\frac{3}{4}}}$$

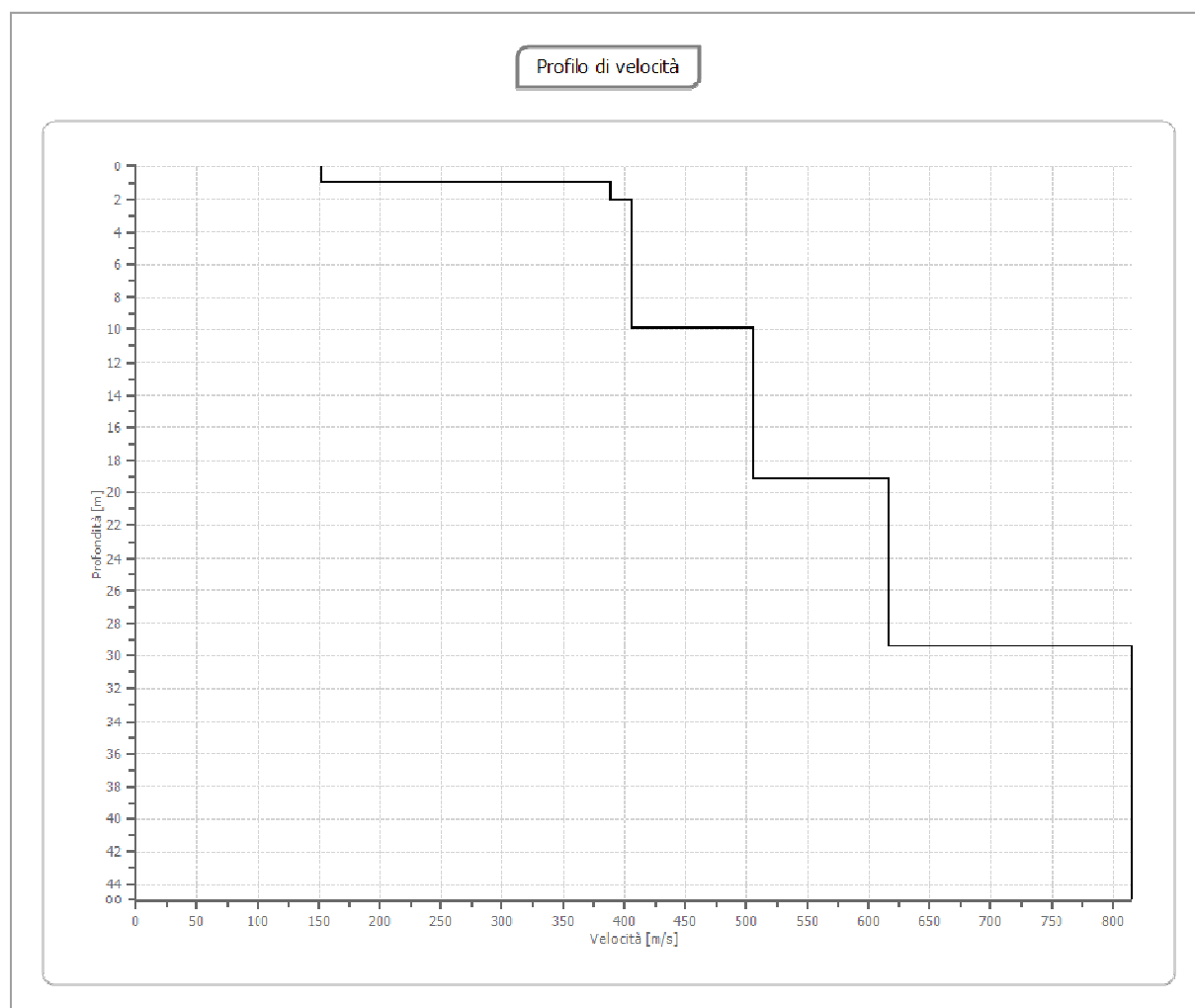
Tipologia	C ₁
Costruzioni con struttura a telaio in acciaio	0,085
Costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato	0,075
Costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura	0,050

MASW Spettro f-v - inversione



Inversione (profilo sismostratigrafico)

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.00	1.00	1800.0	0.3	No	284.3	152.0
2		2.05	1.05	1800.0	0.3	No	727.2	388.7
3		9.96	7.91	1800.0	0.3	Si	758.6	405.5
4		19.09	9.13	1800.0	0.3	Si	945.7	505.5
5		29.41	10.32	1800.0	0.3	Si	1152.0	615.7
6		oo	oo	1800.0	0.3	Si	1525.5	815.4



Rapporto spettrale H/V

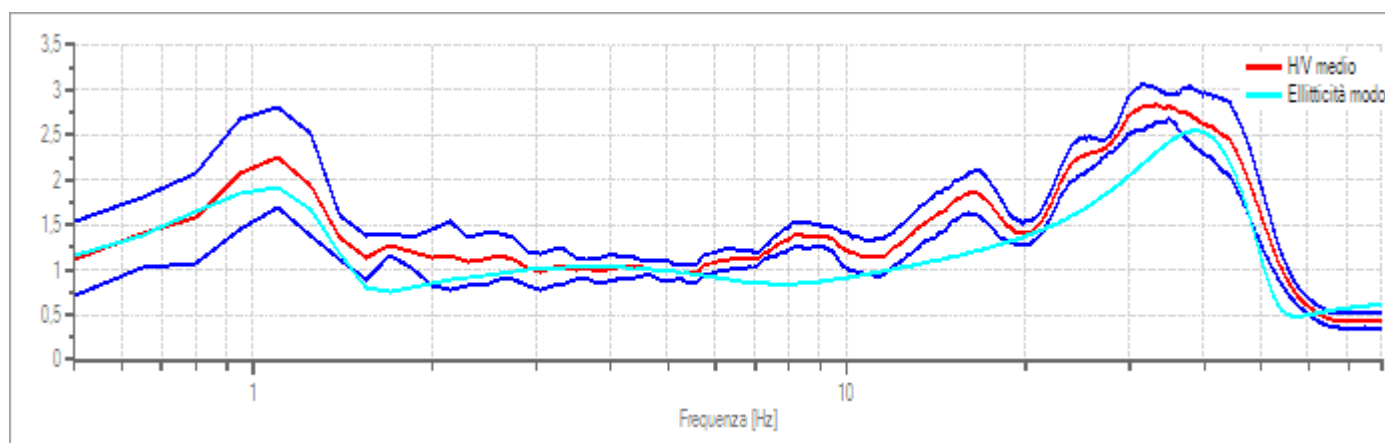
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 80,00 Hz
 Frequenza minima: 0,50 Hz
 Passo frequenze: 0,15 Hz
 Tipo lisciamiento:: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamiento: 10,00 %
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 33,35 Hz $\pm 0,07$ Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Il rilievo geofisico con tecnica Masw e H.V.S.R congiunte, ha fornito sia la frequenza di vibrazione naturale del terreno, sia la velocità delle V_{s30} .

Per quanto riguarda la velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri, si sono elaborati i seguenti valori di V_{s30} :

<i>Profondità piano di posa fondazioni</i>	<i>V_{s30}</i>
0 m da p.c.	$V_s (2-32) \sim 466.35 \text{ m/s}$
1 m da p.c.	$V_s (3-33) \sim 508.67 \text{ m/s}$
2 m da p.c.	$V_s (3-33) \sim 520.56 \text{ m/s}$
3 m da p.c.	$V_s (3-33) \sim 532.09 \text{ m/s}$

Quindi in riferimento al D.M. 14.01.2008, e sulla base dei parametri elaborati, il sottosuolo del sito in esame è da classificare in categoria "**B**":

“Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o di terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{,30} > 250 \text{ Kpa}$ nei terreni a grana fine).

La frequenza caratteristica di risonanza del sito, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale (H/V), è di circa 33 Hz.

<i>Frequenza fondamentale di risonanza</i>
$33.35 \pm 0.07 \text{ Hz}$

Il picco suddetto è però lontano dalle frequenze comprese nel range ingegneristico, ma si dovrà piuttosto fare attenzione al picco presente alla frequenza di circa 1 Hz, che presenta minore ampiezza ma è più vicino alle frequenze caratteristiche nel campo delle costruzioni edili.

<i>Frequenza di picco</i>
$1.1 \pm 0.23 \text{ Hz}$

Si dovrà quindi porre attenzione nell'edificare strutture aventi lo stesso periodo di vibrazione del terreno poiché il rapporto H/V calcolato è tale da ipotizzare un fattore di amplificazione del moto sismico in superficie.

Le condizioni topografiche del sito sono da classificare in *Categoria T1* (coefficiente di amplificazione topografica = 1).

Al fine di determinare il coefficiente sismico k_{hk} è necessario stimare il valore a_g (accelerazione massima orizzontale al piano di posa delle fondazioni), con la seguente relazione:

$$a_g = S_s S_t a_{bedrock}$$

dove $a_{bedrock}$ è l'accelerazione sismica orizzontale al bedrock che, secondo quanto disposto dal D.M. 14/01/2008, va ricavato direttamente dall'allegato relativo alla pericolosità sismica del decreto.

Per il sito in oggetto i valori dei parametri a_g , F_0 , T_c , valgono:

Stato Limite	T_r	a_g	F_0	T_c
SLO		0.041	2.503	0.236
SLD	50	0.055	2.511	0.247
SLV	475	0.157	2.431	0.277
SLC	975	0.203	2.470	0.280

Il valore di a_g deve essere moltiplicato per un fattore correttivo S_s (amplificazione stratigrafica) e per un fattore S_t (amplificazione topografica), facilmente determinabili dalle condizioni geologiche del sito.

Il coefficiente sismico orizzontale si ottiene infine moltiplicando il valore di a_g per un fattore correttivo β :

$$k_{hk} = \beta a_g$$

Il parametro β , secondo le istruzioni per l'applicazione del D.M.14/01/2008, va ricavato dalla seguente tabella:

	Categoria del sottosuolo	
	A	B,C,D,E
	β	β
$0.2 < a_g \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g \leq 0.1$	0.20	0.20

10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

E' stato eseguito lo studio geologico, la modellazione geotecnica e la caratterizzazione sismica del sottosuolo di un'area sita tra via Mattarana, via Monti Lessini e via R. Olivieri, nel Comune di Verona, con lo scopo di verificare la compatibilità del progetto di un Piano Urbanistico Attuativo di iniziativa privata, che prevede la costruzione di un fabbricato commerciale, in rapporto alle problematiche di ordine geologico-geotecniche che si verranno a creare a lavori ultimati.

Sulla base delle indagini eseguite e dalle considerazioni esposte ai paragrafi precedenti, si conclude quanto segue:

- L'assetto geologico-geomorfologico appare stabile e non sarà sostanzialmente modificato,
- non esistono movimenti gravitativi potenziali o in atto,
- non saranno influenzati assi di drenaggio o sorgenti,
- la falda freatica si attesta alla profondità di circa 13 m dal p.c. attuale,
- dal punto di vista geotecnico, le fondazioni del fabbricato insisteranno su terreni dotati di buone caratteristiche e bassa compressibilità,
- dal punto di vista sismico l'area risulta stabile ma suscettibile di amplificazione sismica.

Quindi, considerato quanto sopra riportato, si può ragionevolmente affermare che le opere in progetto risultano compatibili con l'assetto geologico, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico della zona.



Trincea n.1



Trincea n.1 - cumulo



Trincea n.2



Trincea n.2 - cumulo



Trincea n.3



Trincea n.3 - cumulo



Array sismico MASW



Misura HVSr

Geozeta Studio Tecnico

Via Luzzatti, 15-37131 Verona--

Committente: Coop. Cristallo

Località: Piano Attuativo n.72 - S. Michele Verona

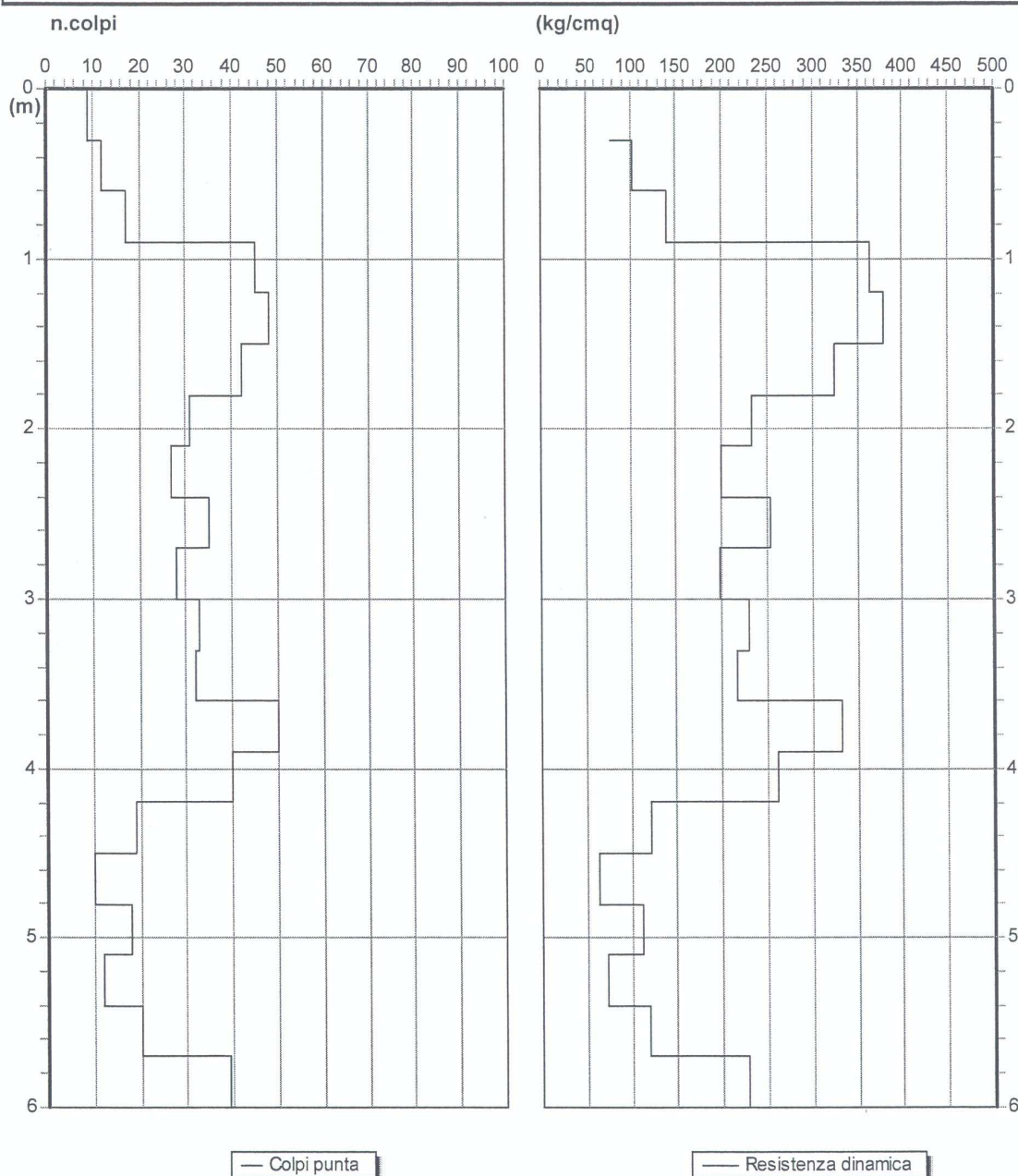
Data: Maggio 2009

Attrezzatura: DPSH

Note:

Quota(m):

Prova 1 UMI 1

Grafico n.colpi - resistenza dinamica

Geozeta Studio Tecnico

Via Luzzatti, 15-37131 Verona--

Committente: Coop. Cristallo

Località: Piano Attuativo n.72 - S. Michele Verona

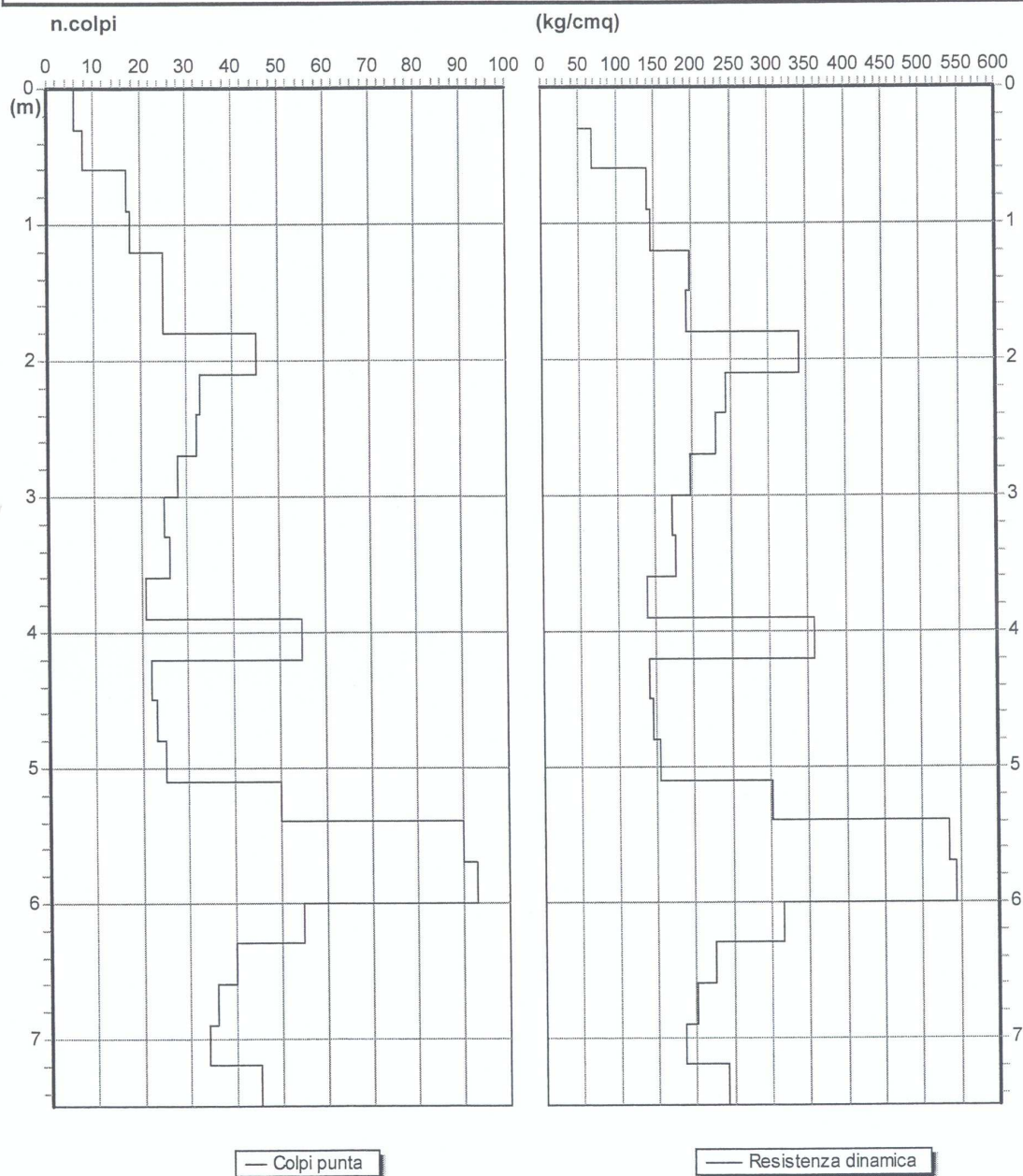
Data: Maggio 2009

Attrezzatura: DPSH

Note:

Quota(m):

Prova 2 UMI 1

Grafico n.colpi - resistenza dinamica

Geozeta Studio Tecnico

Via Luzzatti, 15-37131 Verona--

Committente: Casa Insieme Soc. Coop.

Località: Piano Attuativo n.72 - S.Michele Verona

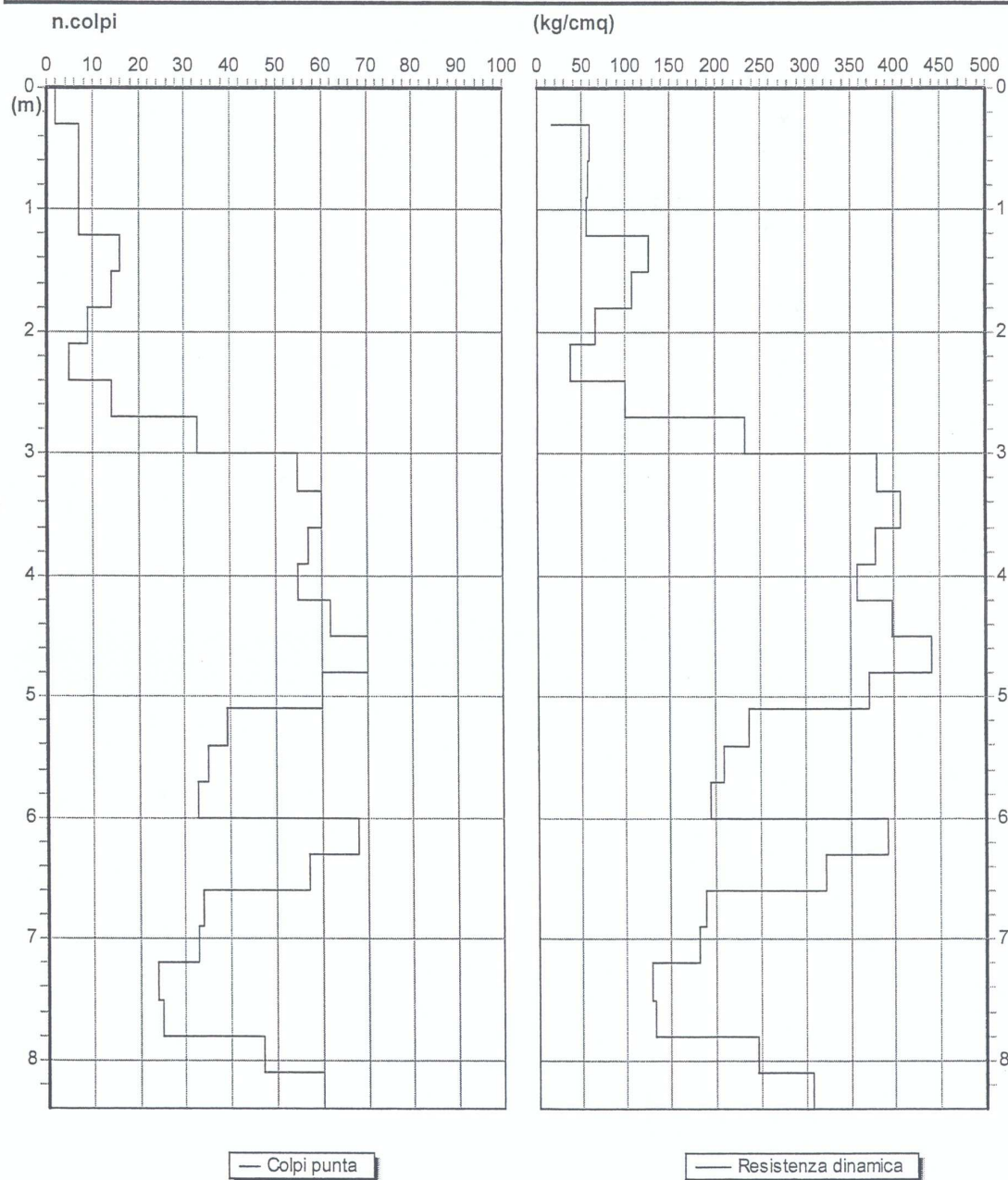
Data: Maggio 2009

Attrezzatura:

Note:

Quota(m):

Prova 1 UMI 5

Grafico n.colpi - resistenza dinamica

Geozeta Studio Tecnico

Via Luzzatti, 15-37131 Verona--

Committente: Casa Insieme Soc. Coop.

Località: Piano Attuativo n.72 - S.Michele Verona

Data: Maggio 2009

Attrezzatura:

Note:

Quota(m):

Prova 2 UMI 5

Grafico n.colpi - resistenza dinamica