

Comune di

VERONA

Provincia di

VERONA

P.U.A.
Scheda
Norma
N° 181
ATO 3

PROGETTO
denominato "GREEN RESIDENCE"
per opere di urbanizzazione
in via Lugagnano, Verona

Richiedenti

ROCCA BEATRICE
 Case Lunghe n°1E
 18042 - Carasco (GE)
 c.f.: RCCBRC84C65C821K

ROCCA LIGIA
 Via Promuda n° 18/3
 18043 - Chiavari (GE)
 c.f.: RCCLGU88A83C821L

Firma

IL PROCURATORE:

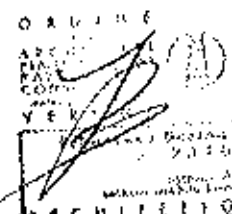
GREZZANI ARCH. MARCO
 Via Volpato n° 10
 37024 - Nogara (VR)
 c.f.: GRZMRC76P13L781R

Progettista e
dir. lavori

BERTON Arch. FRANCESCO
 Via Carnia n° 30
 37139 - San Massimo, Verona
 tel. 045.8900460 - fax. 045.8919358
 e.mail: studio@bertonandpartners.it

Timbro e firma

Studio Associato Bertoni and Partners



Tecnico incaricato

DOCT. GEOLOGO LUCA ZANONI
 Via Luzzatti n° 15
 37131 - Verona



Titolo elaborato

RELAZIONE GEOLOGICA MODELLAZIONE
GEOTECNICA E CARATTERIZZAZIONE SISMICA
DEL SOTTOSUOLO

6a

Tutti i diritti riservati -
 opera protetta ai sensi
 della legge 22 aprile 1941
 n° 633 e successive
 modifiche.

Data di emissione

14/07/2015

**PROGETTO DENOMINATO "GREEN RESIDENCE" PER OPERE DI URBANIZZAZIONE
IN VIA LUGAGNANO, VERONA – P.U.A. SCHEDA NORMA 181**

**Relazione di compatibilità geologica, idrogeologica
e sismica del sottosuolo**

Indice:

1. Generalita'	pag.3
2. Ubicazione dell'area	pag.3
3. Inquadramento geologico generale	pag.4
4. Paleoclimatologia	pag.6
5. Inquadramento geomorfologico	pag.6
6. Indagini eseguite	pag.9
7. Modalità esecutive della prova penetrometrica dinamica DPSH	pag.11
8. Modello geologico e geotecnico del sottosuolo	pag.13
9. Valutazione della capacità di dispersione	pag.15
10. Compatibilità sismica	pag.16
11. Caratterizzazione sismica	pag.18
12. Considerazioni conclusive	pag.25

**PROGETTO DENOMINATO "GREEN RESIDENCE" PER OPERE DI URBANIZZAZIONE
IN VIA LUGAGNANO, VERONA - P.U.A. SCHEDA NORMA 181**

**Relazione di compatibilità geologica, idrogeologica
e sismica del sottosuolo.**

1. GENERALITA'

Su incarico del progettista Berton Arch. Francesco con studio in via Carnia n.30 a Verona e per conto dei richiedenti Rocca Beatrice, Rocca Luigia e Grezzani Arch. Marco, è stata eseguita un'indagine geologica, geotecnica e sismica, con lo scopo di verificare la compatibilità del progetto di urbanizzazione di un'area sita in San Massimo all'Adige, in rapporto alle problematiche di carattere geologico, geotecnico e sismico che esso può comportare.

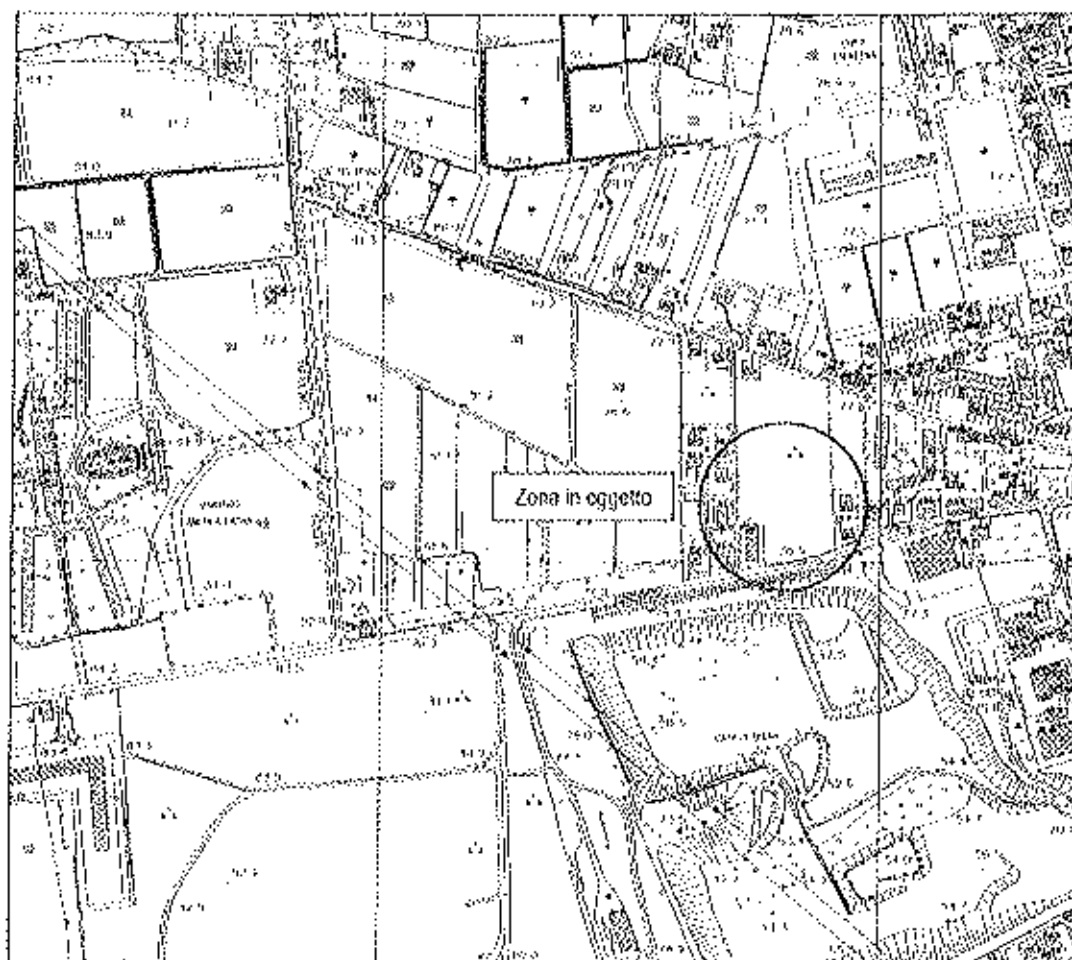
Il presente studio entrerà quindi nel merito di verificare l'idoneità della zona prescelta dal punto di vista geologico-geotecnico nella nuova situazione geostatica che si verrà a creare a lavori ultimati, e costituisce pertanto, ai sensi del D.M. 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni", il supporto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

2. UBICAZIONE DELL'AREA

L'area d'indagine è situata in via Lugagnano a San Massimo all'Adige nel Comune di Verona, ed è individuata nella Tavoleta I.G.M. "Pescantina" alla scala 1:25000 - Foglio 48, Quadrante II, Orientamento N.E.

Nella cartografia tecnica regionale in scala 1:5000, l'area è inquadrata nell'elemento n. 123164 "San Massimo".

In allegato è riportato uno stralcio della C.T.R. con l'ubicazione dell'area.



Stralcio C.T.R. 1:5000, elementi n.123164 "San Massimo"

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

La storia geologica del territorio in esame è strettamente collegata con l'evoluzione geodinamica che ha portato alla formazione delle Alpi e quindi della pianura Padana.

Secondo l'Agip mineraria, tutta la zona che va dalle pendici dei Lessini e dalla cerchia morenica del Garda fino al fiume Po, dal punto di vista tettonico è particolarmente semplice, infatti, le successioni plioceniche e quelle più antiche, si immergono regolarmente dal margine alpino verso Sud costituendo un'ampia monoclinale che va a raccordarsi con le strutture della dorsale ferrarese.

Per quanto riguarda la pianura, che si raccorda alle dorsali moreniche mediante dolci conoidi, sembrerebbe che dal Pliocene inferiore a tutto il Pleistocene, vi sia stata una lenta subsidenza non compensata dalla sedimentazione e forse continuata anche in seguito, visti i notevoli spessori (circa 350-400 m.) di Quaternario continentale rilevati a Bovolone, Nogaro, Rocca e Villafranca.

La subsidenza sembra sia stata maggiore nell'area dell'attuale corso del Po dove l'abbassamento potrebbe essere messo in relazione con la faglia dei laghi di Mantova. Al costipamento naturale dei sedimenti si è unita in seguito l'attività antropica che ne ha accentuato il movimento.

Nel periodo 1897-1957 si sono registrati abbassamenti di circa 1.5 mm./anno nella pianura mantovano-veronese e circa 7 mm./anno nel delta del Po.

Negli ultimi diciotto milioni di anni, oltre ad individuarsi l'attuale corso dell'Adige che incide le alluvioni rissiane formando vari terrazzamenti, si rileva un'importante abbassamento al livello della medio-bassa pianura.

Questo è messo in luce dal riordino delle principali linee idrografiche da una direzione NW-SE (attribuibile in base ai reperti ad un periodo precedente l'Età del Ferro) ad una direzione NNW-SSE, e dall'approfondimento dei letti dei corsi d'acqua che hanno così formato numerosi terrazzamenti.

In linea teorica, (mancano però dati sicuri per affermarlo) si potrebbe ipotizzare che la tettonica responsabile di tale abbassamento potesse dipendere dalla continuazione della faglia dei laghi di Mantova, che si trova più o meno allineata alla stessa maniera.

Questa faglia, è una probabile dislocazione di direzione Est-Ovest dedotta dalle brusche variazioni litostratigrafiche a Nord e a Sud dei laghi, passando da ghiaie sabbiose a Nord, a sabbie limose a Sud.

Oltre a questa faglia, gli altri elementi tettonici di una certa importanza sono la faglia del Fiume Adige alle propaggini meridionali dei lessini, e la faglia San Benedetto Po - Garoldà.

La faglia del Fiume Adige attivatasi sicuramente prima degli ultimi 18.000 anni, è stata dedotta dal fatto che alcuni pozzi a Sud dell'area collinare, hanno raggiunto profondità di oltre 200 metri senza incontrare il substrato lapideo, deduzione che è stata poi confermata dagli studi palinologici.

Negli ultimi 18.000 anni però, essa ha avuto un movimento inverso a quello precedente, sembra infatti che l'abbassamento sia avvenuto nella parte settentrionale della faglia con conseguente migrazione a Nord del corso dell'Adige.

4. PALEOCLIMATOLOGIA

La ricostruzione dei fenomeni climatici pleistocenici risulta come già detto piuttosto frammentaria poiché, è stato osservato che ciascun evento tende a cancellare i precedenti. Ben documentato è invece il periodo post-wurmiano i cui eventi sono stati studiati mediante analisi dei pollini fossili contenuti nei sedimenti.

Dopo la glaciazione Wurmiana, l'ultima in ordine cronologico, il clima della pianura è stato caratterizzato da repentini mutamenti. In particolare fra il 10.000 e il 7.000 A.C. sarebbero confermati episodi di abbondanti scioglimenti quindi, con climi in grado di conservare sotto forma di neve e ghiaccio le notevoli precipitazioni invernali.

Verso il 3.500 A.C., il clima della Pianura Padana non doveva essere dissimile da quello attuale: forti escursioni termiche fra estate ed inverno, scarsa piovosità estiva e discreta piovosità primaverile e autunnale. Fu quindi un periodo a clima caldo che i climatologi definiscono "OPTIMUM CLIMATICO POSTGLACIALE" che pur con qualche oscillazione si mantenne forse sino al 1.500 A.C. In quel periodo, la temperatura nel nostro emisfero aumentò di circa 2.5 - 3°C. rispetto ad oggi con ovvie ripercussioni sull'ambiente.

Si ebbe poi una fase a clima freddo e piovoso che ingrandì i ghiacciai alpini senza però farli scendere in pianura alla quale seguì, verso la fine dell'Età del Bronzo (1.400 - 1.200 A.C.) un'altra fase calda. Durante l'Età del Ferro (circa 900 A.C.) si instaurò quel clima fresco e umido che caratterizzò tutto il primo millennio A.C. Cominciarono quindi a circolare grandi masse d'acqua e nella bassa pianura si svilupparono molto le torbiere.

Prova ne sia, che proprio in questo periodo fiorirono particolari abitazioni su palafitte chiamate "TERRAMARE" che secondo G.Saflund dovevano servire proprio a proteggere gli insediamenti umani dall'acqua presente in forte quantità. Verso il 200 A.C. il clima cambiò ancora diventando più caldo e meno piovoso.

La vegetazione seguiva ovviamente di pari passo l'andamento climatico colonizzando il territorio con il Pino Silvestre nei momenti freddi soppiantato da abeti, faggi e querce nelle fasi calde.

5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista geomorfologico la zona è interessata da forme di accumulo originate dai principali processi fluviali, fluvio-glaciali che hanno modellato negli anni 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 geologici ed idrogeologici, la classificazione delle diverse aree della pianura in unità idrogeologiche distinte.

In linea generale, la pianura veronese è formata da tre unità geomorfologiche principali:

- Il conoide antico dell'Adige con tracce di canali intrecciati anche molto grandi,
- Il piano di divagazione dell'Adige, che ha inciso sul conoide scavando scarpate alte fino a 14 metri.
- La pianura alluvionale recente dei Fiumi Adige, Po e dei corsi d'acqua locali.

La zona in esame appartiene all'unità geomorfologia definita "conoide antico dell'Adige", ed è ubicata a valle della poco evidente scarpata che individua il limite tra il terrazzo alto e il terrazzo basso dell'antica conoide.

L'unità geomorfologica di pertinenza è quindi caratterizzata in linea generale da una serie di depositi alluvionali fluvio-glaciali e fluviali prevalentemente ghiaioso-ciottolosi e ghiaioso-sabbiosi attribuibili al Riss recente.

Tali depositi devono la loro origine al regime nettamente diverso da quello attuale degli scaricatori fluvio-glaciali, caratterizzato da alternanze di portate molto elevate e imponente trasporto solido, conseguenti allo scioglimento dei ghiacci e allo smantellamento degli apparati morenici, e fasi di calma con portate medio-basse e formazione di aree paludose.

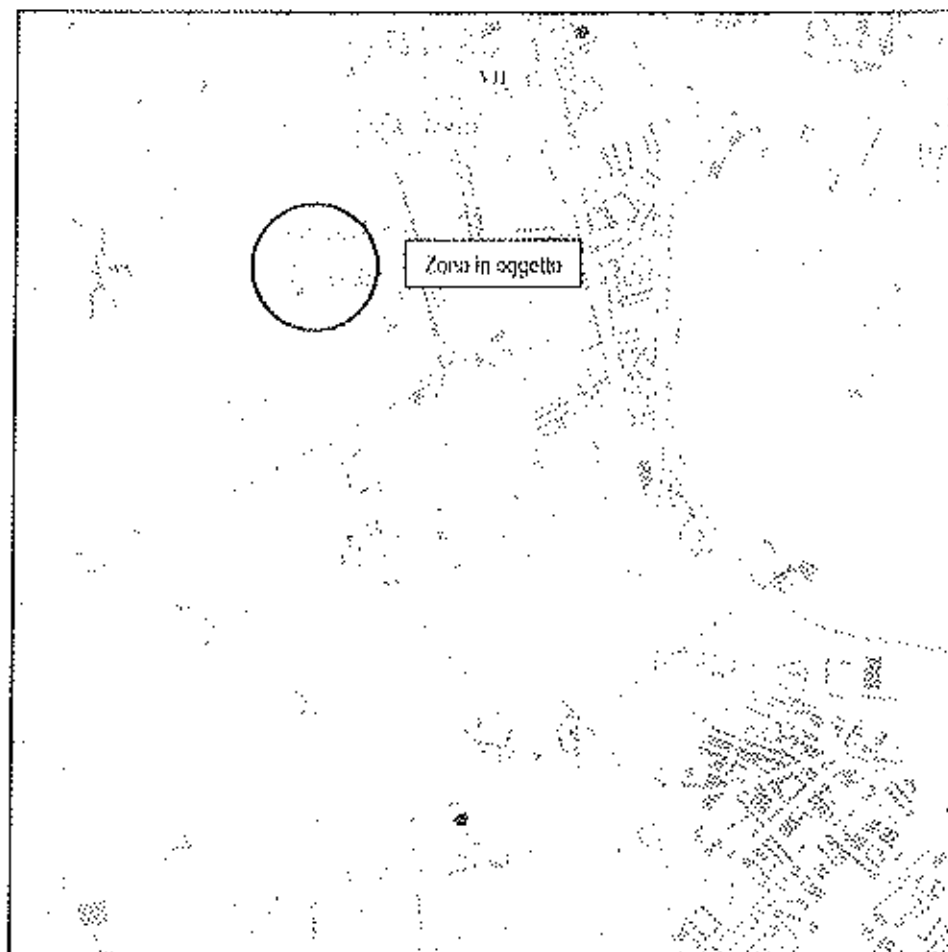
A livello superficiale, la zona appare totalmente pianeggiante con quote variabili attorno agli 80 metri slm, ed il carattere geomorfologico più appariscente è dato dagli estesi terrazzamenti formati dal corso dell'Adige che ha inciso negli anni le proprie alluvioni.

Dal punto di vista geomorfologico, i fenomeni glaciali hanno giocato un ruolo fondamentale visto che l'evoluzione antica dei corsi d'acqua suddetti è strettamente legata ad essi.

Come già visto, la glaciazione wurmiana è quella che ha influito maggiormente sia sotto l'aspetto morfologico, sia sotto l'aspetto climatico.

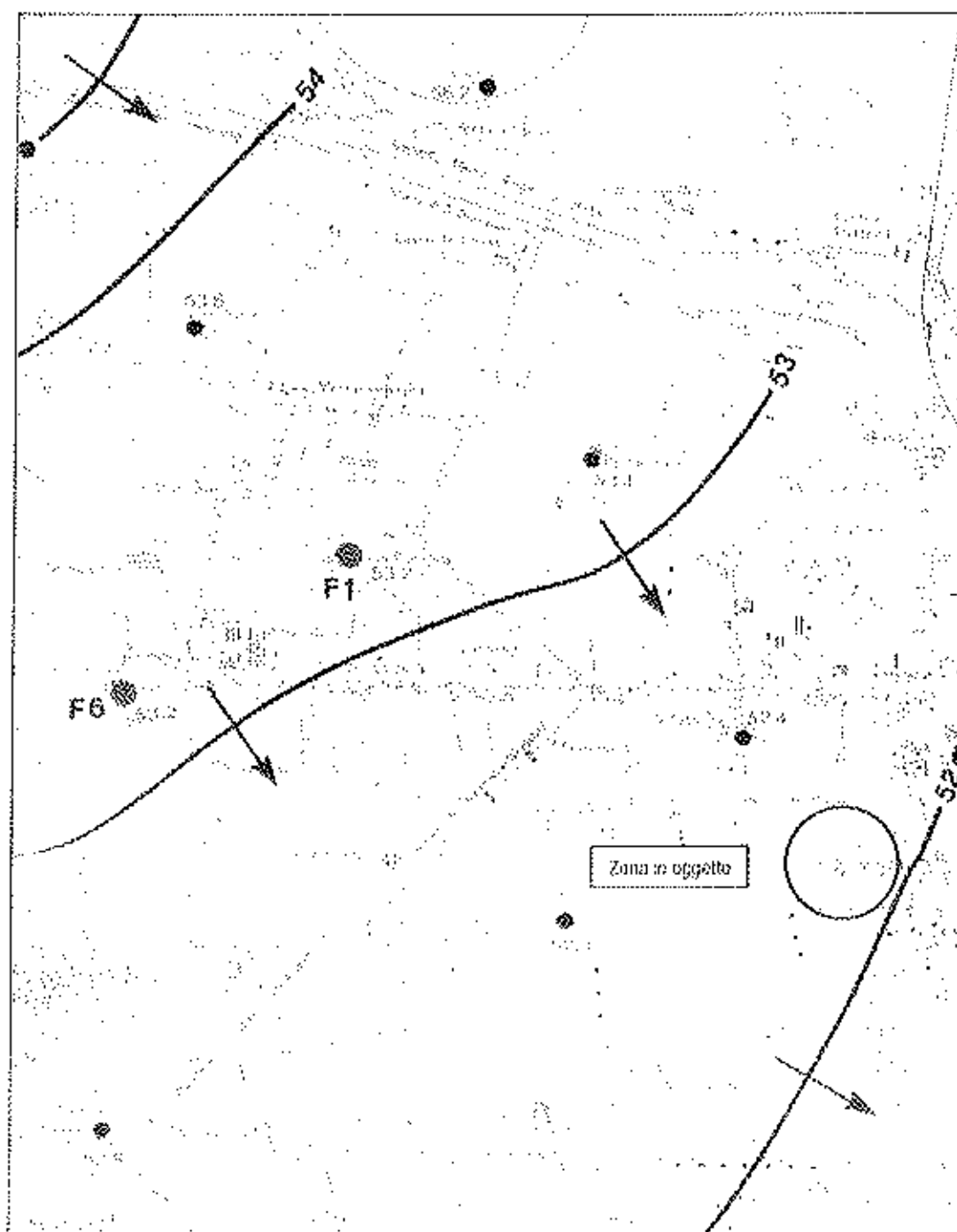
Fino all'8.000 A.C. non si hanno importanti conoscenze su questa glaciazione, ma si possono ipotizzare grossi apporti idrici molto superiori agli attuali, che avrebbero dato forma alla pianura con rotte fluviali, deposizione ed erosione di sedimenti. Il rilevamento del sito in esame, non ha evidenziato la presenza di particolari problematiche geologiche, e quindi l'area risulta geologicamente compatibile con le strutture in progetto.

Stralcio carta geologica del Comune di Verona - scala 1:20,000
De Zanche - Sorbini (Memorie museo civico di storia naturale)



Legenda





Stralcio Carta Idrogeologica dell'Alta Pianura dell'Adige (Dip. Di Geologia dell'Università di Padova)

La situazione idrogeologica della zona riflette quelle che sono le caratteristiche geologico-deposizionali descritte e, nella fattispecie, i caratteri granulometrici dei depositi e la presenza dell'Adige come alimentatore, consentono l'esistenza di abbondanti risorse idriche sotterranee. Nella zona in esame, come in tutta la fascia dell'alta pianura veronese, esistono condizioni di acquifero freatico indifferenziato per oltre 100 metri di profondità, con la presenza di qualche manifestazione lenticolare limo-argillosa realmente poco estesa.

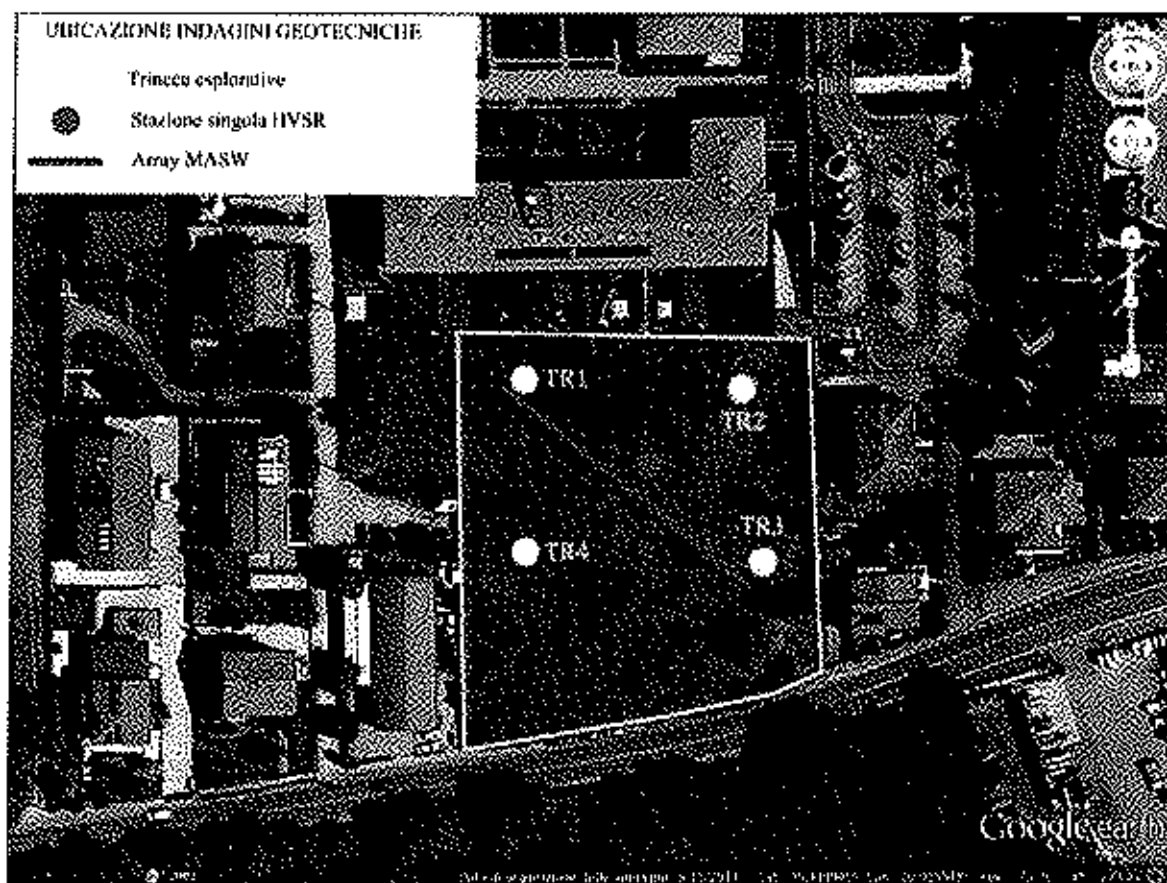
Verso oriente a ridosso dei Lessini e verso Sud, alcune intercalazioni limo-argillose importanti scompongono l'acquifero freatico in un sistema multifalda, costituito da una falda freatica o più falde in pressione sovrapposte. La profondità della superficie piezometrica è molto variabile, ed assume i maggiori valori al limite settentrionale dell'alta pianura (50-70 m. a Bussolengo), diminuendo progressivamente verso Sud-Sud Est (circa 23 m. nell'area in studio) ed affiorando in superficie lungo la fascia delle risorgive, alimentando in tal modo la rete idrografica di risorgiva. I principali fattori di alimentazione della falda freatica sono l'Adige, gli apporti sotterranei del sistema lessineo, gli apporti meteorici e l'infiltrazione delle acque irrigue. Primo in ordine d'importanza è ovviamente il fiume Adige, che scarica nei depositi alluvionali della pianura la potente falda di subalveo dei depositi di fondo della Val Lagarina.

La stretta connessione esistente tra fiume e falda freatica, è confermata dal confronto tra il regime dell'Adige fiume e quello della falda stessa che mostra oscillazioni del tutto analoghe, ma sfasate temporalmente in base alla distanza dal fiume stesso. Il regime suddetto è di tipo alpino con una fase di magra da febbraio a maggio (con minimi in Aprile) e da una fase di piena estiva culminante in Settembre. Tutti gli altri fattori di alimentazione vengono in secondo piano, ma in talune zone si è potuto riscontrare che gli apporti in falda dovuti alle irrigazioni ed alle precipitazioni meteoriche possono arrivare sino al 35-40% delle dispersioni di subalveo. Il deflusso generale delle acque sotterranee è diretto normalmente da NO a SE ma può deviare localmente in presenza di particolari condizioni idrogeologiche.

6. INDAGINI ESEGUITE

Al fine di definire in maniera attendibile la stratigrafia del sottosuolo della zona in oggetto e caratterizzare lo stesso dal punto di vista geotecnico, sono state eseguite alcune trincee esplorative con escavatore meccanico, e sono state consultati i dati di prove penetrometriche dinamiche e trincee esplorative eseguite dallo scrivente in area limitrofa e sulla stessa tipologia di deposito.

La caratterizzazione sismica del sottosuolo, per la definizione delle V_{s30} come previsto dal D.M. 14.01.2008 NTC, è stata definita realizzando un'indagine sismica con tecnica MASW e HVSR.



7. 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:

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

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

COEFF. TEORICO DI ENERGIA:

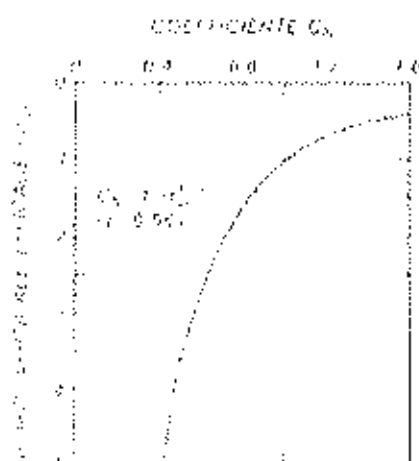
$$\beta = Q/Q_{spt} = 1.15$$

TEORICAMENTE:

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

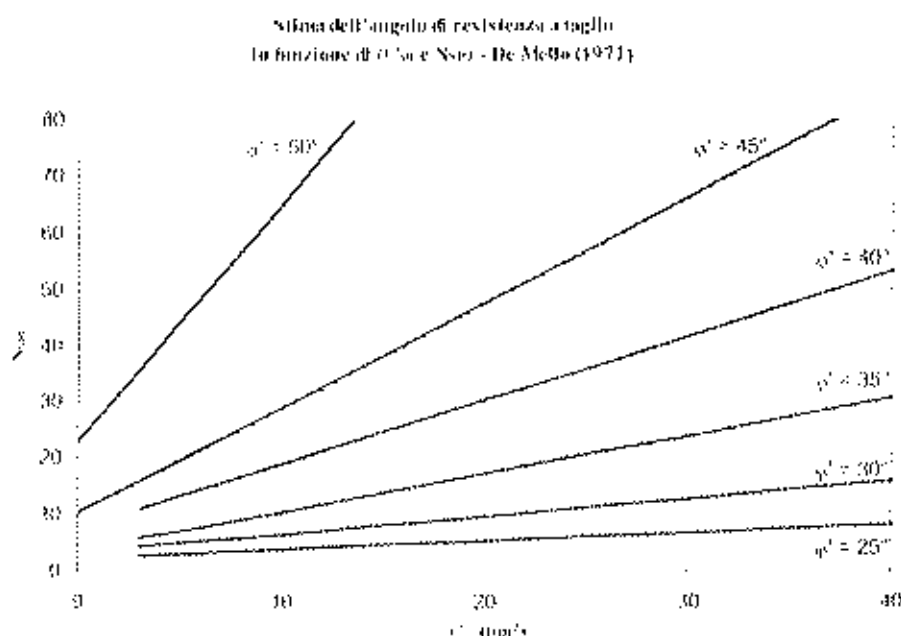
Va tenuto in considerazione che i terreni di riporto o fortemente rimaneggiati i coefficienti ottenuti non seguono la stessa logica e comunque la dispersione dei valori risulta troppo elevata.

Poiché 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 seguente determinare il grado di addensamento e l'angolo di attrito dei terreni.



8. 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 sequenza di depositi incoerenti grossolani di tipo ghiaio-sabbioso con ciottoli.

Le colonne stratigrafiche di alcuni pozzi esistenti evidenziano in linea generale una continuità del materasso ghiaioso per oltre 80 metri di spessore.

A livello superficiale sono presenti depositi di alterazione delle sottostanti alluvioni ghiaiose grossolane, caratterizzati da litologie prevalentemente ghiaiose in abbondante matrice limo-argillosa per spessori che in alcuni punti arrivano a 2 m.

Al di sotto come già evidenziato si è in presenza di depositi ghiaiosi e ciottolosi in matrice sabbiosa da mediamente a ben addensati dotati di buone caratteristiche geotecniche e bassa compressibilità.

Già a partire da 4 m circa di profondità dal p.c., come indicano anche le indagini sismiche, i depositi tendono progressivamente ad aumentare di addensamento, evidenziando una notevole rigidità con V_s pari a circa 600 m/s.

All'interno dei depositi ghiaiosi, possono esistere però una serie di livelli limo-argillosi o sabbiosi meno addensati, a morfologia generalmente lenticolare, che a causa del ridotto spessore, l'indagine sismica non riesce ad apprezzare.

La falda freatica attesta il suo livello alla profondità di circa 20-25 m dal p.c. attuale e quindi non potrà interferire con le strutture di fondazione.

Il modello geologico e geotecnico di riferimento, valido per tutta l'area di intervento, è definibile come di seguito riportato:

Da 0.00 a 0.50 m. Limbo argilloso:

Peso di Volume	$\gamma_k = 21 \text{ KN/mc}$
Coesione	$C_{uk} = 60 \text{ KN/mq}$

Da 0.50 a 1.20-2.00 m. Limbo argilloso con ghiaia:

Peso di Volume	$\gamma_k = 21 \text{ KN/mc}$
Coesione	$C_{uk} = 60 \text{ KN/mq}$
Angolo d'attrito	$\phi_k = 22^\circ$

Da 1.20-2.00 a 4.00 m. Ghiaia, e sabbia mediamente addensate:

Peso di Volume	$\gamma_k = 18.5 \text{ KN/mc}$
Angolo d'attrito	$\phi_k = 32^\circ$
Numero colpi SPT	$N = 14 \text{ colpi}$

Da 4.00 a 10.5 m. Ghiaia, e sabbia da mediamente a ben addensate:

Peso di Volume	$\gamma_k = 18.5 \text{ KN/mc}$
Angolo d'attrito	$\phi_k = 33^\circ$
Numero colpi SPT	$N = 18 \text{ colpi}$

Da 10.5 a 15.0 m. Ghiaia, e sabbia ben addensate:

Peso di Volume	$\gamma_k = 19.0 \text{ KN/mc}$
Angolo d'attrito	$\phi_k = 35^\circ$
Numero colpi SPT	$N = 24 \text{ colpi}$

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

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

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.

9. VALUTAZIONE DELLA CAPACITA' DI DISPERSIONE

La legge che esprime la proprietà fondamentale del moto dell'acqua in un mezzo poroso, saturo ed isotropo, è quella di Darcy:

$$Q = A \times K \times i;$$

dove:

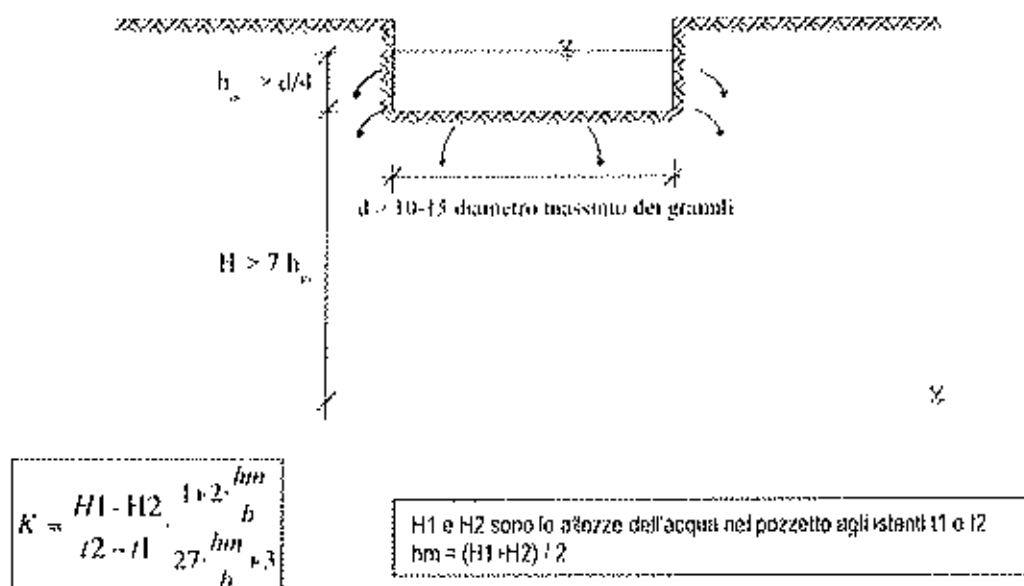
Q = Quantità d'acqua che fluisce nell'unità di tempo (mc/sec)

A = Area ortogonale al flusso (mq)

K = Coefficiente di permeabilità (m/sec)

i = Gradiente idraulico. In questo caso particolare in cui la filtrazione avviene parallelamente al flusso, (i) esprime, in m, il carico idraulico.

La conducibilità idraulica dei terreni suddetti è stata estrapolata da prove a carico variabile, effettuate dallo scrivente nelle trincee predisposte. Le prove effettuate secondo lo schema allegato hanno fornito un coefficiente di permeabilità K, pari a $2,2 \cdot 10^{-3}$ m/sec.



10. 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 e 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 Alpi 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, $M_D > 4.2$

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

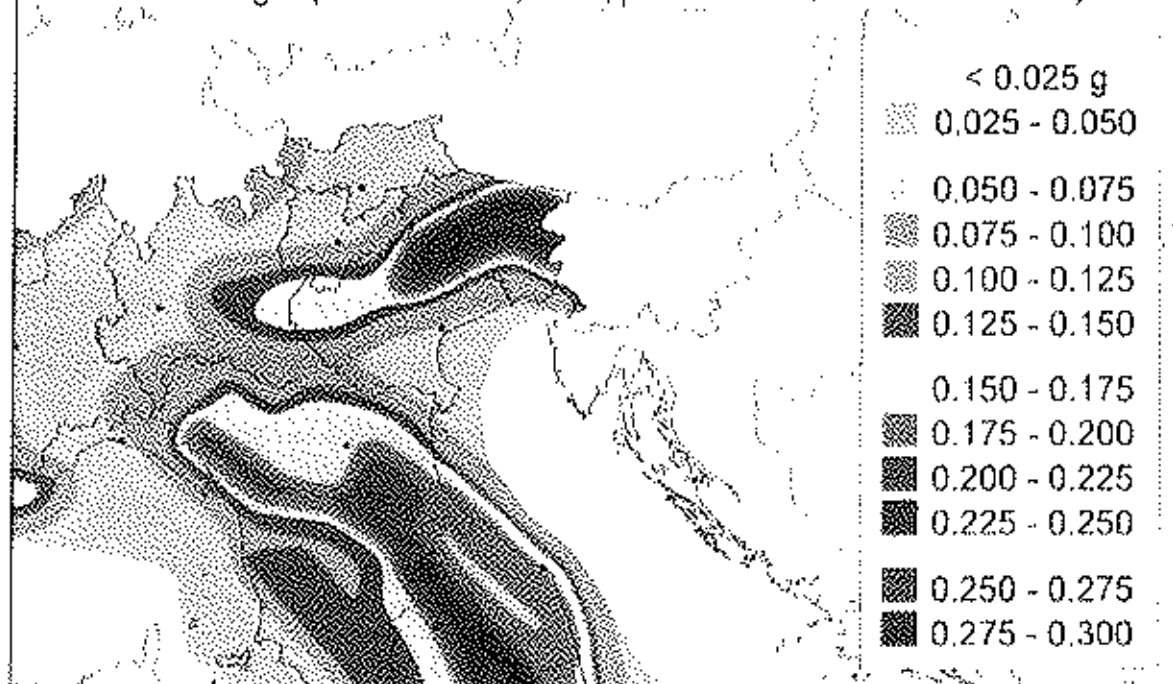
Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)



Alla data del 18 Febbraio 1997, l'analisi sismica veronese riporta 1615 eventi che hanno interessato il territorio Provinciale e la stessa città di Verona con grado di magnitudo da 2° a 5° Richter. Si ricordano gli eventi storici più recenti 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,
- marcata 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 è non è ancora stato bene compreso e abbisogna di modelli bidimensionali molto avanzati.

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.

11. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

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 realizzata una indagine sismica con tecnica MASW e HVSr.

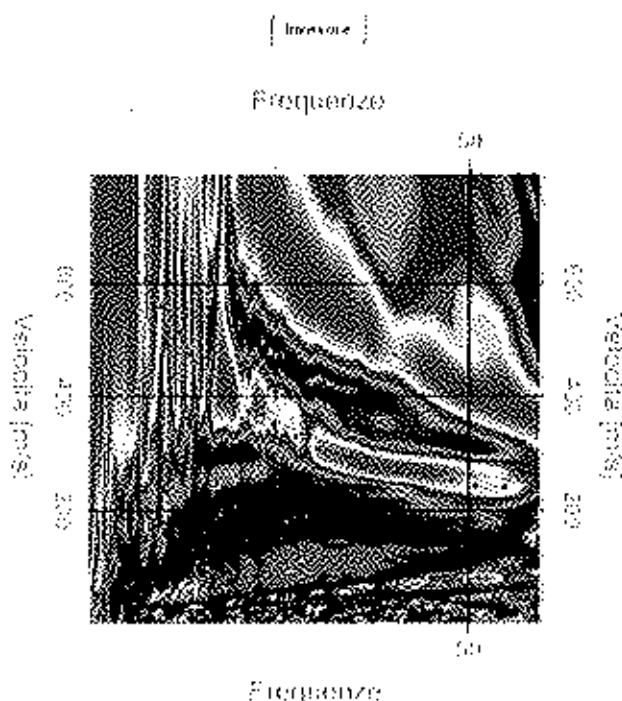
MASW: La procedura Masw viene classificata come metodo attivo in quanto utilizza una sorgente di rumore indotta; è molto veloce e semplice in fase di acquisizione e raggiunge buone profondità con discreta risoluzione.

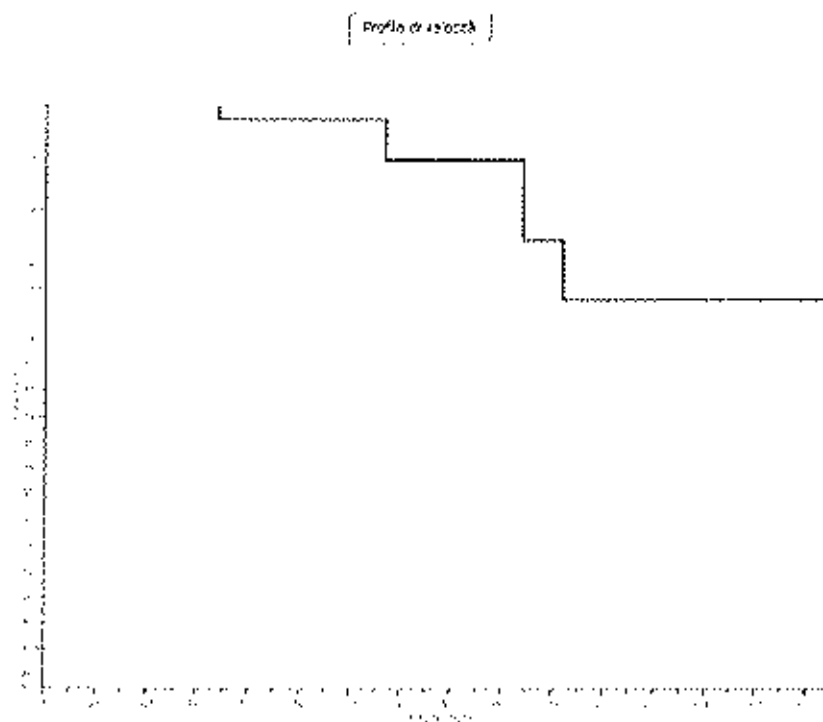
L'analisi sismica è stata realizzata tramite 24 geofoni verticali a 4,5 Hz uniti in array lineare, con acquisitore Sismatrack digitale, della MAE srl.

La spaziatura usata tra i geofoni è stata di 2 metri e quindi la lunghezza complessiva del profilo è risultata essere di 46 metri.

Il sismografo Sysmatrack della MAE - Advanced Geophysics Instruments dotato delle seguenti caratteristiche:

- convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta;
- range dinamico: 144 dB (teorico);
- bistorsione massima: $\pm 0,0010\%$;
- banda passante: 2Hz-30KHz;
- common mode rejection: 110 dB a 60 Hz;
- diafonia: -120dB a 20 Hz;
- soglia di rumore dell'amplificatore programmabile: 27nV;
- precisione del trigger: 1/30 del tempo di campionatura.





Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/m ³]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qe [kPa]
1	1.00	1.00	169.74	317.56	1800.00	0.30	51.86	181.52	112.37	134.85	N/A	333.52
2	4.11	3.11	335.08	626.88	1800.00	0.30	202.10	707.36	437.89	525.47	N/A	N/A
3	10.29	6.18	471.39	881.89	1800.00	0.30	399.98	1399.9	866.62	1039.9	N/A	N/A
4	14.93	4.64	510.46	954.98	1800.00	0.30	469.02	1641.5	1016.2	1219.4	N/A	N/A
5	oo	oo	775.01	1449.9	1800.00	0.30	1081.1	3784.0	2342.5	2811.0	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

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

Profondità piano di posa fondazioni	V_{s30}
1 m da p.c.	$V_s (1-31) \sim 574 \text{ m/s}$
2 m da p.c.	$V_s (2-32) \sim 593 \text{ m/s}$
3 m da p.c.	$V_s (3-33) \sim 614 \text{ m/s}$

Quindi per il progetto specifico, 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 $e_{Cu,30} > 250 \text{ Kpa}$ nei terreni a grana fine).

H.V.S.R.: 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 V_s* per la definizione delle V_{s30} e della successiva categoria di sottosuolo,
-
- 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:

$$f_0 = 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

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:

$$f_0 = \frac{1}{C_1 Z^2}$$

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

RAPPORTO SPETTRALE:

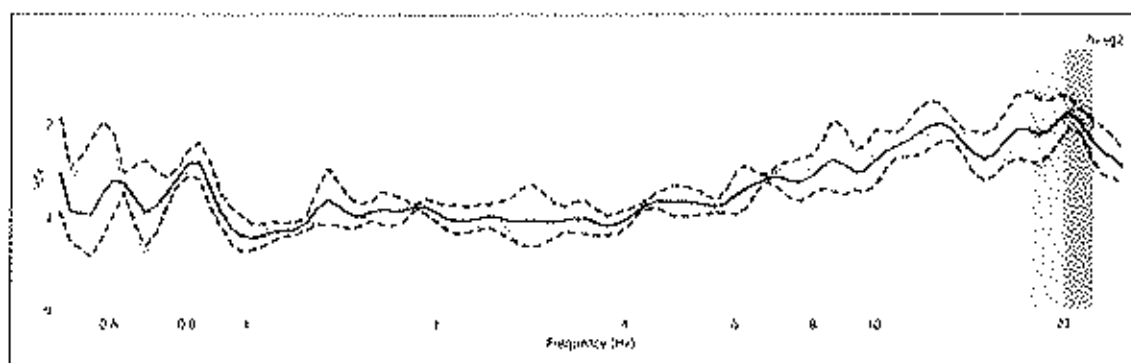
La frequenza caratteristica di risonanza del sito, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale (H/V), è di circa 20 Hz. Un altro picco meno significativo si trova a circa 12 Hz. Le due frequenze sono comunque al di fuori del range di frequenze ingegneristiche per l'edificio in progetto e non si evidenziano altri picchi significativi.

Dati riepilogativi:

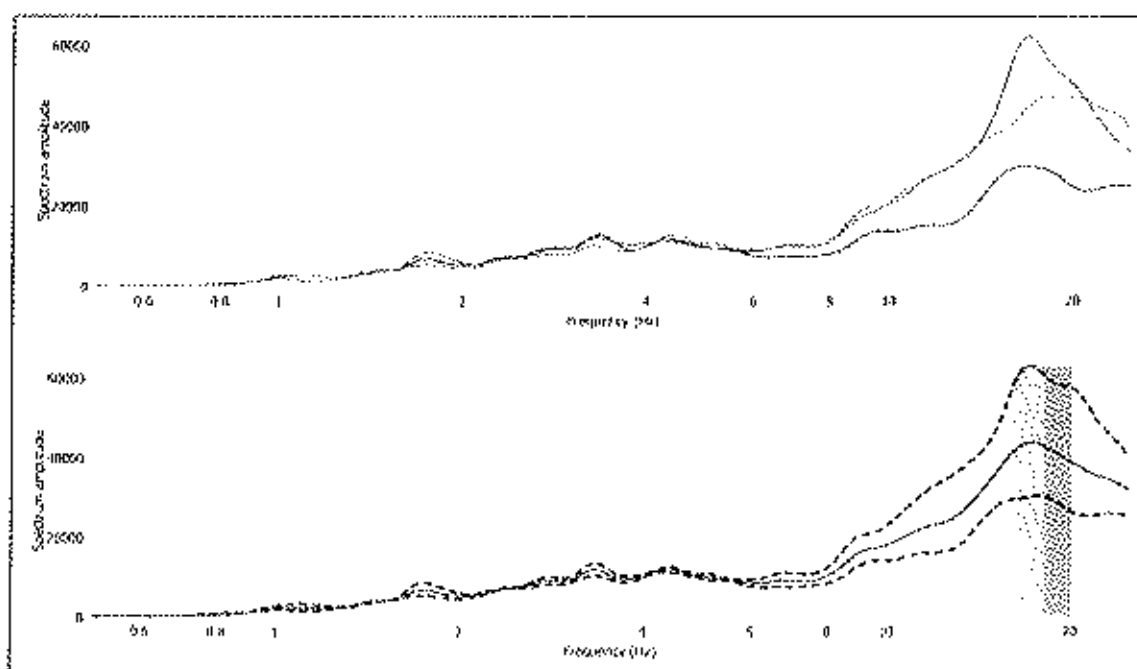
Frequenza massima: 100,00 Hz
 Frequenza minima: 0,50 Hz
 Tipo lisciamiento: Kono e Omachi
 Percentuale di lisciamiento: 30,00 %
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

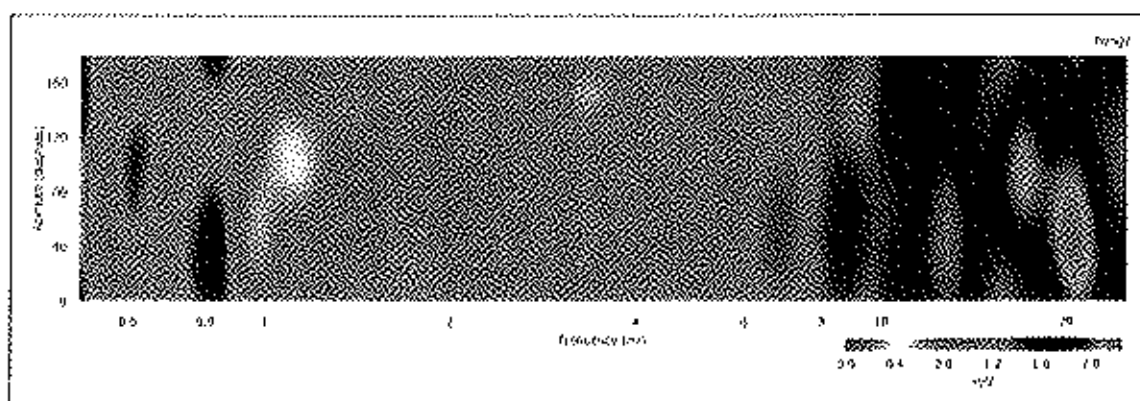
Frequenza del picco del rapporto H/V: 20.016 ±1.5 Hz



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia



Spettro medio complessivo (sotto) e spettri medi delle tre componenti (sopra) in blu comp. verticale



Spettro di direzionalità del rapporto H/V

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_n$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_H(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_H(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] : H_{H,V}(f^-) < H_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] : H_{H,V}(f^+) < H_0/2$	Ok
$H_0 > 2$	Ok
$f_{picco} \{H_{H,V}(f) \pm \sigma_H(f)\} = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < s(f)$	Ok
$\sigma_H(f_0) < \theta \cdot f_0$	Ok

(Si ricorda che qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco, variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione utilizzata e di problematiche incontrate durante la fase di acquisizione)

In base alla condizioni topografiche il sito è 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:

$$a_g \approx S_e S_a a_{bedrock}$$

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	2.512	0.235
SLD	50	0.056	2.522	0.246
SLV	475	0.158	2.430	0.276
SLC	975	0.204	2.469	0.280

Il valore di a_g deve essere moltiplicato per un fattore correttivo S_g (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

12. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

E' stato eseguito lo studio geologico, idrogeologico e la caratterizzazione sismica del sottosuolo di un'area sita in San Massimo all'Adige, nel comune di Verona, con lo scopo di verificare la compatibilità del progetto denominato "Green Residence" per opere di urbanizzazione in via Lugagnano, P.U.A. Scheda Norma 181 del P.I., in rapporto alle problematiche di ordine geologico e geotecnico 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,
- le strutture di fondazione interesseranno terreni dotati di buone caratteristiche geotecniche e bassi valori di compressibilità,
- la falda freatica non interferirà con le strutture di fondazione e quelle interrato,
- non si sono evidenziati particolari problemi geologici, geomorfologici, idrogeologici o geotecnici, tali da sconsigliare l'intervento previsto.

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



Tr1



Tr1 cumulo



Tr2



Tr2 cumulo



Tr3



Tr3 cumulo



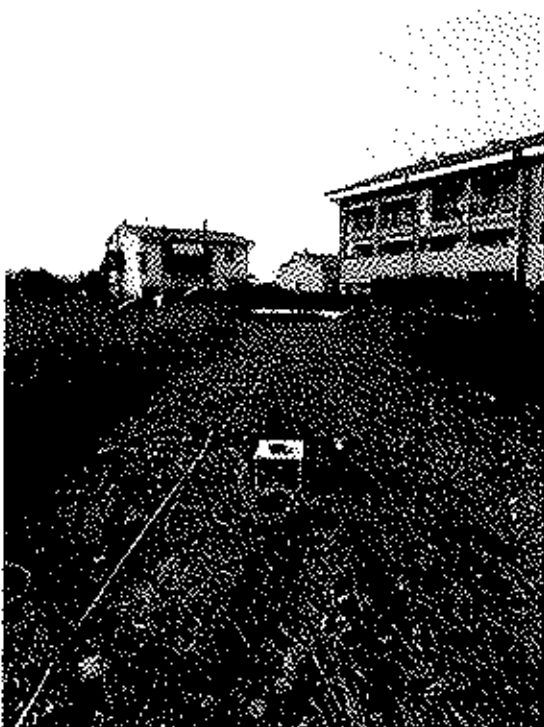
Tr4



Tr4 curnulo



Array MASW



Array MASW