



COMUNE DI VALEGGIO SUL MINCIO

PROVINCIA DI VERONA

"Attivazione di un Partenariato Pubblico-Privato mediante Proposta di Locazione Finanziaria di Opera Pubblica ex art. 183 co. 16 del D.Lgs. n. 50/2016 avente ad oggetto la progettazione esecutiva (con acquisizione della progettazione definitiva in sede di offerta), la riqualificazione, il completamento, il finanziamento, nonché la manutenzione ordinaria e straordinaria per 20 (venti) anni del

CENTRO SPORTIVO COMUNALE DI VIA DELLO SPORT NEL COMUNE DI VALEGGIO SUL MINCIO (VR)."

PROGETTO DI FATTIBILITÀ

RELAZIONE GEOLOGICA

Soggetto Realizzatore



Via Catello, 40 – 24030 BERGAMO
Tel 0354376440 Fax 035460662

E-mail: tipiesse@tipiesse.it

Soggetto Finanziatore



Via Lucrezia Romana nn 41/47 – 00178 ROMA
Tel 0672071 Fax 0672078409

E-mail: info@iccreabi.bcc.it

Soggetto Progettista



Via Giosuè Carducci, 5 – 24127 BERGAMO
Tel 0352652157

E-mail: info@studiocronos.com

Bergamo, Settembre 2017

Il Soggetto Realizzatore

Il Soggetto Finanziatore

Il Soggetto Progettista

**COMUNE DI
VALEGGIO SUL MINCIO**

PROVINCIA DI VERONA

***Realizzazione di un nuovo edificio spogliatoi
nell'ambito di riqualificazione e
completamento del centro sportivo comunale
di Via Berto Barbarani***

**RELAZIONE GEOLOGICA
con indicazioni di carattere geotecnico**

Dott. Geol.
Davide Dal Degan



Data

15 maggio 2017

DAVIDE DAL DEGAN
GEOLOGO
GEOLOGIA - GEOTECNICA - AMBIENTE

Via Strà n. 116 - 37042 - Caldiero (Verona)
Tel. Fax. 0457650996 – Cell. 3483680529
e - mail: geologo.daldegan@gmail.com
pec: davidedaldegan@epap.sicurezza postale.it

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. RELAZIONE GEOLOGICA	3
2.1. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI, GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI GENERALI	3
2.2. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE	4
2.3. MODELLO GEOLOGICO LOCALE.....	4
2.4. PERICOLOSITÀ IDRAULICA E GEOLOGICA.....	6
3. INDICAZIONI DI CARATTERE GEOTECNICO	7
3.1. INTERVENTO IN PROGETTO	7
3.2. MODELLO GEOTECNICO LOCALE.....	7
3.3. CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA	8
3.4. ANALISI SISMICA LOCALE	9
3.5. STIMA PRELIMINARE DEL CARICO LIMITE DELL'INSIEME FONDAZIONE – TERRENO (CAPACITÀ PORTANTE - SLU).....	10
4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	12
5. BIBLIOGRAFIA	14
6. CARTOGRAFIA	14
7. ALLEGATI	14

1. PREMESSA

La presente relazione, redatta per conto della **Tipiese S.r.l. - Impianti Sportivi**, riguarda la caratterizzazione geologica dell'area riportata nella figura sottostante, sita a Valeggio Sul Mincio, in cui è prevista la realizzazione di un nuovo edificio ad uso spogliatoi, nell'ambito della riqualificazione e completamento del centro sportivo comunale di Via Berto Barbarani.

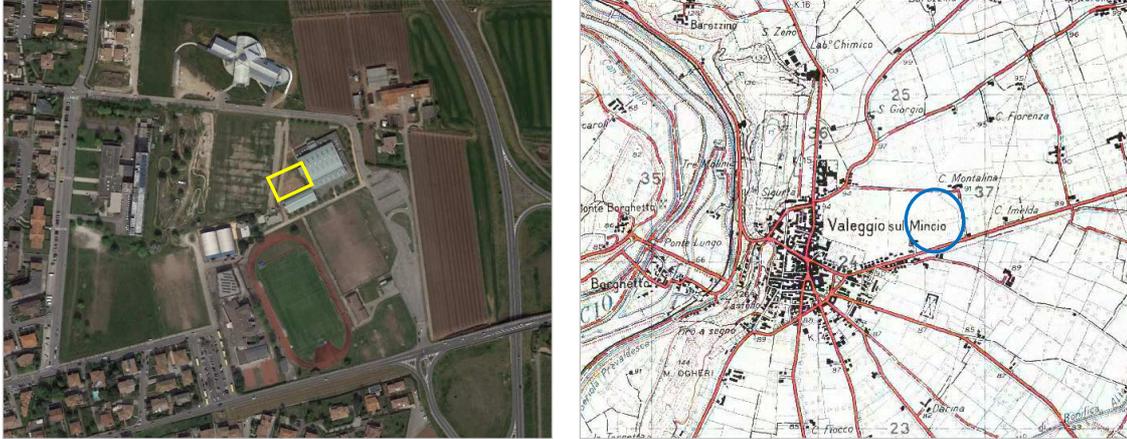


Figura 1. A sinistra, immagine estratta da [Google Maps](#) con ubicazione dell'area e, a destra, corografia fuori scala estratta dalla [Carta Topografica d'Italia I.G.M.](#)

Lo scopo principale del presente rapporto è di riportare i risultati delle indagini condotte, in modo da fornire al Progettista gli elementi tecnici utili alla scelta delle soluzioni progettuali ritenute più idonee in rapporto alle caratteristiche geologiche locali.

Tale elaborato è stato svolto in ottemperanza al **D.M. 14 Gennaio 2008 “Norme tecniche per le costruzioni”**, facendo riferimento alla **Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 02 Febbraio 2009, n. 617**, contenente le istruzioni per l'applicazione delle NTC.

Lo studio si è articolato nei seguenti punti:

- 1) sopralluogo e raccolta organica delle informazioni desunte dalla bibliografia e da alcuni studi eseguiti dallo scrivente nei dintorni dell'area;
- 2) rilievo di superficie ed esecuzione di n. 2 trincee esplorative;
- 3) esecuzione di n. 1 stendimento di sismica passiva Re.Mi. e di n. 1 registrazione di rumore sismico ambientale H.V.S.R. mediante Tromino®;
- 4) stesura della presente relazione tecnica cui sono allegati:
 - Corografia Scala 1:5.000
 - Carta Geologica Generale Scala 1:50.000
 - Stratigrafia delle trincee esplorative
 - Relazione allegata alle indagini geofisiche

2. RELAZIONE GEOLOGICA

2.1. Lineamenti geomorfologici, geologici ed idrogeologici generali

L'area è ubicata presso gli impianti sportivi comunali, nella porzione orientale del centro abitato di Valeggio sul Mincio, ad una quota altimetrica di circa 90 m s.l.m. (cfr. allegato n. 1).

Considerando la **geomorfologia** generale, l'area si inserisce nel contesto dell'Alta Pianura Veronese, poco ad Est della fascia di raccordo con le colline moreniche più esterne dell'anfiteatro del Garda. L'evoluzione geomorfologica dell'area rientra nell'ambito della massima espansione del ghiacciaio del Garda e nelle variazioni climatiche che si sono ad essa susseguite: il paesaggio è pertanto dolce, con rilievi collinari molto arrotondati che sfumano gradualmente verso l'Alta Pianura, da un lato, e verso le depressioni inframoreniche, dall'altro. Va rilevato, comunque, che il rimodellamento legato alle incisioni del Fiume Mincio rende un pò più articolate e talora aspre le condizioni morfologiche locali.

Sotto l'aspetto **geologico**, secondo la cartografia consultata i litotipi locali sono costituiti da *"Alluvioni fluvio - glaciali e fluviali, da molto grossolane a ghiaiose, con strato di alterazione superficiale argilloso, giallo – rossiccio, di ridotto spessore"* ascrivibili all'età del Riss (cfr. fg^{R2} in allegato n. 2), poste immediatamente ad Est delle *"Alluvioni fluvio – glaciali e fluviali prevalentemente ghiaiose, alterate per oltre un metro in argille rossastre"*, del Riss antico (cfr. fg^{R1} in allegato n. 2). Tali depositi derivano dall'accumulo di grandi quantitativi di materiali prevalentemente granulari (ghiaie, ciottoli, sabbie e limi) trasportati in varie fasi dagli apporti idrici provenienti dallo scioglimento dei ghiacciai in seguito alle variazioni climatiche che si sono succedute nel Quaternario e dal disfacimento delle colline moreniche.

Le indagini eseguite in questa fase ed i dati raccolti, hanno dimostrato che il sottosuolo locale è generalmente caratterizzato da una coltre di spessore limitato di colore bruno – rossastro (non individuata nell'area in esame per la presenza di terreni riportati e/o rimaneggiati), al di sotto della quale affiorano ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa e sabbioso – limosa, con locali corpi sedimentari argillosi o limosi, più frequenti verso la superficie.

Dal punto di vista **idrogeologico**, l'area si trova al passaggio tra il sistema morenico e quello dell'Alta Pianura Veronese, per cui è possibile la presenza di una struttura differenziata caratterizzata da una prima falda freatica, molto produttiva, posta a profondità decrescenti allontanandosi dalla zona pedecollinare in direzione Sud Est, e da una serie di falde molto profonde a diverso grado di artesianesimo.

Le indagini eseguite non hanno verificato venute d'acqua di alcun tipo, in conformità con le informazioni idrogeologiche raccolte che segnalano la falda ad elevate profondità, come indica la cartografia riprodotta in Figura 2: nel dettaglio, i pozzi n. 45 e n. 46 dimostrano livelli statici compresi tra circa 59 m s.l.m. e circa 62,5 m s.l.m., corrispondenti a soggiacenze minime di circa 27 m dal p.c. assunto alla quota di circa 90 m s.l.m. Inoltre, il pozzo descritto in seguito, ubicato circa 300 ÷ 350 m a Sud Sud Ovest, riporta il livello statico della falda alla profondità di 38 m dal piano campagna, posto alla quota di 89 m s.l.m.

L'**idrografia** della zona, ivi rappresentata dal Fiume Mincio e da una serie di corsi d'acqua secondari, si dimostra ben incanalata artificialmente. Il Fiume Mincio, attualmente emissario del Lago di Garda, rappresentò il massimo scaricatore del ghiacciaio benacense; esso scorre incassato nella sua valle a terrazzi, ad Ovest dell'area, e risulta rettificato e canalizzato artificialmente in gran parte del suo corso.

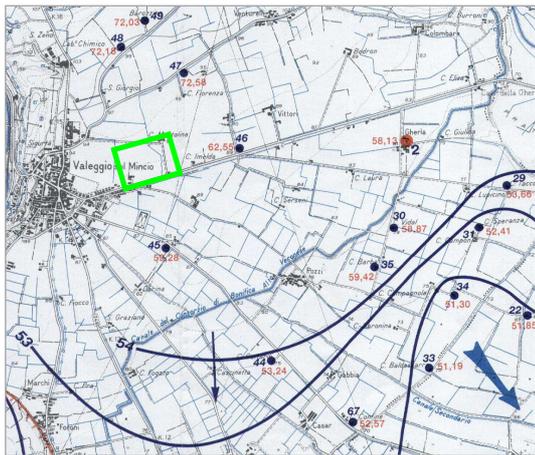


Figura 2. Carta Idrogeologica dell'Alta Pianura Veronese Occidentale (Dal Prà - De Rossi - Leso - Siliotti, 1999).

I numeri a fianco delle linee blu (isofreatiche) indicano la quota in metri sul livello del mare della superficie libera della falda, misurata nell'Agosto 1994. La freccia ne indica la direzione di deflusso.

I punti blu e rossi rappresentano i pozzi di misura della falda con riportata, in rosso, la quota in metri s.l.m.

In verde è indicata l'area in esame

2.2. Descrizione delle indagini eseguite

Per la descrizione della geologia locale è stato fatto un rilievo di superficie, sono state realizzate n. **2 trincee esplorative** denominate **TA** e **TB** (cfr. allegato n. 3), e si sono considerati i dati ricavati da alcune indagini realizzate dallo scrivente nei dintorni dell'area.

Vista l'affidabilità del modello geologico e geotecnico locale, gli scavi sono stati realizzati sostanzialmente per prendere visione direttamente dei terreni in giacitura naturale e per verificare l'eventuale presenza di materiale rimaneggiato e/o riportato.

Invece, per la caratterizzazione sismica del sito è stata eseguita **n. 1 prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi.** (Refraction Microtremor) e **n. 1 registrazione di rumore sismico ambientale mediante Tromino®** (cfr. allegato n. 4), confrontate con altre indagini geofisiche di tipo sismico (Re.Mi. ed H.V.S.R.), eseguite dallo scrivente nei pressi dell'area ed all'interno dello stesso contesto deposizionale.

Le indagini eseguite nel sito sono ubicabili come riportato nella seguente Figura 3.

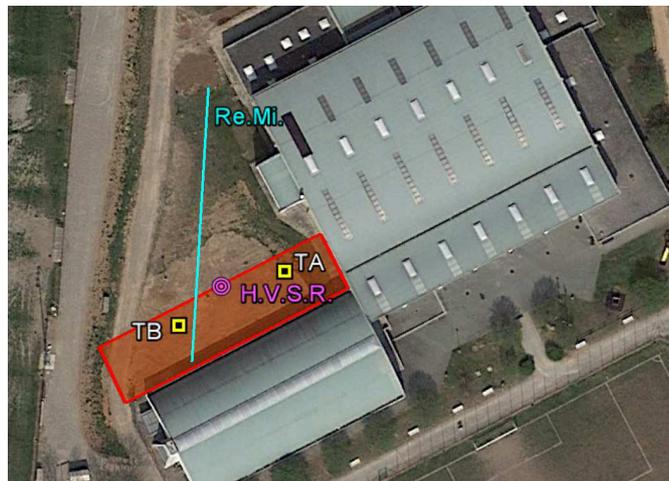


Figura 3. Ubicazione delle indagini eseguite (TA, TB = trincee esplorative, Re.Mi. = stendimento geofisico di sismica passiva, H.V.S.R. = misura a stazione singola di rumore sismico ambientale. In rosso, sviluppo indicativo dell'intervento

2.3. Modello Geologico Locale

L'intervento si sviluppa all'interno dell'Alta Pianura Veronese, in un settore generalmente subpianeggiante, localmente disturbato dalle morfologie antropiche legate alla realizzazione degli impianti sportivi in essere: nel dettaglio, l'area si trova alla stessa quota del parcheggio dello stadio, ribassata rispetto il piano della strada che passa sul confine a Nord e rispetto al campo di calcio che la delimita ad Ovest.

Dal punto di vista stratigrafico, le trincee hanno permesso di osservare direttamente i terreni costituenti il sottosuolo e di verificare che l'area risulta interessata dalla presenza, in superficie, di materiale riportato / rimaneggiato, legato ragionevolmente alla pregressa attività edificatoria.

In sostanza, nelle trincee TA e TB è stata verificata la presenza di materiali riportati e/o rimaneggiati fino a circa 1,4 ÷ 1,6 m di profondità dal p.c., al di sotto dei quali si trovano i depositi fluvioglaciali tipici dei luoghi, in giacitura naturale, costituiti da ghiaie con ciottoli e sabbie, talora debolmente limose, con massi.

Si segnala il forte disturbo del primo sottosuolo legato alla presenza di numerosi sottoservizi e di impianti per la regimazione e lo smaltimento delle acque.

Per completare il quadro geologico locale sono state esaminate anche alcune informazioni desumibili dalla bibliografia e, in particolare, è stata analizzata la stratigrafia di un pozzo (ad uso irriguo) desunta dal sito dell'I.S.P.R.A. ed ubicata circa 300 ÷ 350 m a Sud Sud Ovest dell'area, circa alla stessa quota del sito ed all'interno dello stesso ambito deposizionale.

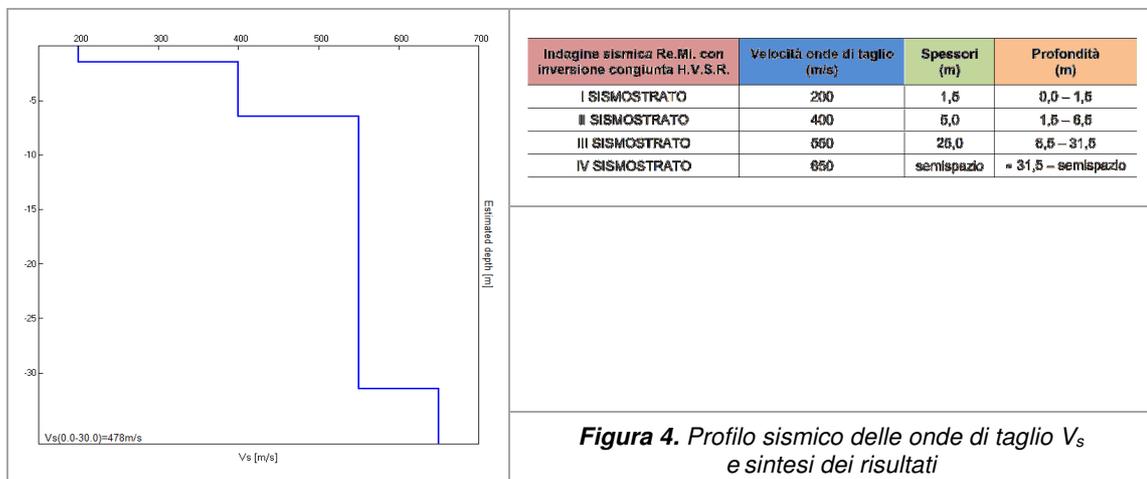
Tale stratigrafia conferma quanto riportato in precedenza e dimostra la presenza di ghiaie prevalenti fino ad almeno 68 m dal p.c., intercalate da un orizzonte di "argilla grigia con ghiaia", tra 22 m e 38 m di profondità, come riassunto nella tabella sotto.

Dati del pozzo	Longitudine	ED 50. 10,744167	WGS 84. 10,743174
	Latitudine	ED 50. 45,355278	WGS 84. 45,354358
	Quota p.c.	89 m s.l.m.	
	Profondità	68 m	
	Cod. ISPRA	165282	

Stratigrafia	da profondità (m)	a profondità (m)	Spessore (m)	Descrizione litologica
	0	3	3	Suolo
	3	9	6	Ghiaia rossa
	9	22	13	Ghiaia
	22	38	16	Argilla grigia con ghiaia
38	68	30	Ghiaia grossa con sabbia	

Falda	Livello statico = 38 m dal p.c. (misura di luglio 1992)
-------	---

Il profilo verticale delle velocità delle onde di taglio S (V_s) evidenzia un deposito poco / mediamente addensato fino ad 1,5 m dal p.c. e con una V_s di circa 200 m/s; per profondità maggiori, il grado di rigidità aumenta ed assume una velocità V_s di circa 400 m/s fino a 6,5 m dal p.c. e di circa 550 m/s fino a 31,5 m. A seguire, la velocità aumenta nuovamente ed assume un valore di 650 m/s (cfr. Figura 4).



Dal punto di vista idrogeologico, durante l'esecuzione delle indagini non è stata osservata alcuna venuta d'acqua, in accordo con le informazioni bibliografiche descritte in precedenza.

In linea generale, le trincee eseguite ed i dati raccolti permettono di riassumere le condizioni stratigrafiche locali come indicato nella seguente Tab. 1.

STRATO	Prof. dal piano campagna (m)	Litologia	Prof. falda
A	0,0 – (1,4 ÷ 1,6)	Materiale di riporto e/o rimaneggiamento, eterogeneo, costituito generalmente da sabbie con ghiaia, ciottoli e frammenti di laterizi o sabbie limose e limi sabbiosi con ghiaia o sabbie e ghiaie fini, sabbie fini limose e limi sabbioso argillosi	> 27 m da bibliografia
B	(1,4 ÷ 1,6) – 4,2	Ghiaie con ciottoli e sabbie, talora debolmente limose, con massi. <i>Localmente, tale strato risulta disturbato dalla presenza di sottoservizi e di opere per lo smaltimento delle acque</i>	

Tab. 1. Stratigrafia indicativa dell'area in esame

2.4. Pericolosità idraulica e geologica

Dall'analisi della cartografia del “Progetto di Piano stralcio di Assetto idrogeologico – Autorità di bacino del Fiume Fissero – Tartaro - Canalbianco”, l'area interessata dall'intervento non ricade all'interno delle zone segnalate nella perimetrazione della pericolosità o del rischio idraulico come definite dall'Autorità di Bacino stessa.

Inoltre, si segnala che la “Carta della Fragilità” allegata al vecchio Piano Territoriale Provinciale di Verona (Foglio 144 no - Scala 1:20.000 - Marzo 2003), non riporta problematiche di carattere geologico o idraulico per l'area in esame.

Dall'analisi del P.A.T. di Valeggio Sul Mincio dell'Agosto 2013, per quanto riguarda le penalità ai fini edificatori, la Tavola n. 3 “Carta delle Fragilità” individua l'area tra quelle “idonee” (cfr. Figura 5).

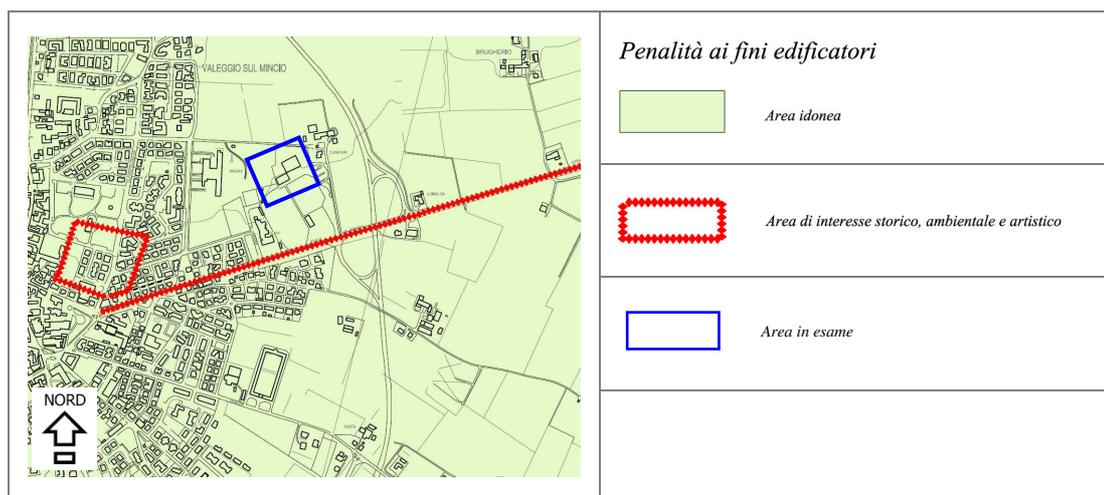
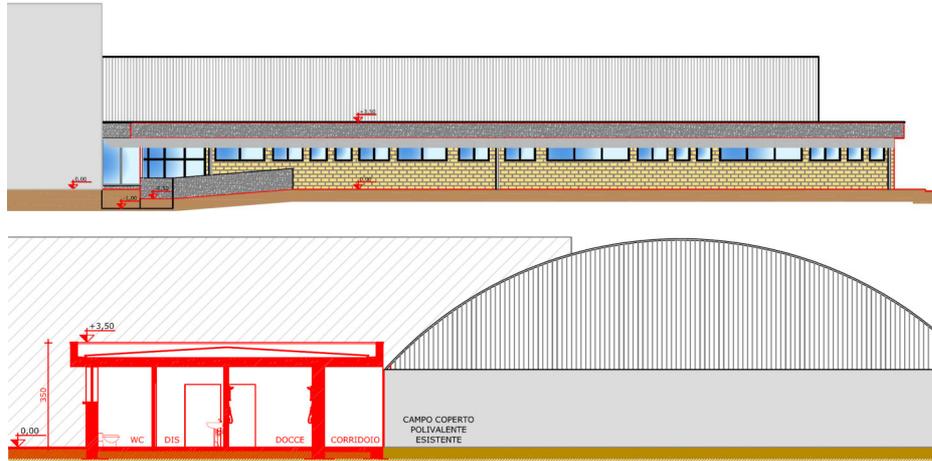


Figura 5. Estratto dalla “Carta delle Fragilità” del P.A.T. – Agosto 2013

3. INDICAZIONI DI CARATTERE GEOTECNICO

3.1. Intervento in progetto

Il progetto di riqualificazione e completamento del centro sportivo comunale (a cura dello Studio Cronos – architettura e ingegneria) prevede la realizzazione di un nuovo edificio spogliatoi, avente una superficie coperta di circa 420 m², che si svilupperà su un unico piano fuori terra (cfr. figure seguenti: edificio in primo piano nel prospetto e, in rosso, sezione dell'intervento).



3.2. Modello Geotecnico Locale

Per la caratterizzazione dei terreni si sono considerati i risultati delle trincee eseguite fino alla profondità di circa 4,2 m dal p.c. attuale ed i risultati di altri studi ed indagini condotte dallo scrivente nei pressi dell'area (ad es. sondaggi geognostici con prove SPT in foro), che hanno permesso di indagare profondità maggiori.

Lo **Strato A** di Tab. 1 è costituito dal terreno di riporto e/o di rimaneggiamento: esso è stato trascurato nella parametrizzazione, poiché non dovrà costituire il sedime di fondazione delle opere.

Lo **Strato B** è costituito da terreni grossolani di buone qualità, prevalentemente ghiaiosi con ciottoli e sabbie, con grani ben arrotondati. Il loro stato di addensamento è considerabile, dall'analisi osservazionale, generalmente di tipo medio - alto.

Una prima caratterizzazione geotecnica di questi materiali è stata eseguita valutando le loro caratteristiche meccaniche, utilizzando il metodo di Sanglerat sotto descritto.

Il metodo osservazionale proposto da Sanglerat, consente una stima del valore dell'angolo di resistenza al taglio ϕ sulla base di alcuni aspetti quali:

- il grado di addensamento
- la forma e la rugosità dei grani
- la dimensione dei grani
- la granulometria

e precisamente:

$$\phi' = 36^\circ + \phi'_1 + \phi'_2 + \phi'_3 + \phi'_4$$

dove:

VALORI DELL'ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO DI MATERIALI GRANULARI			
Compattezza	ϕ'_1	Molle	- 6°
		Media	0
		Serrata	+ 6°
Forma e rugosità dei grani	ϕ'_2	Spigolosa	+ 1°
		Media	0
		Arrotondata	- 3°
		Assai arrotondata	- 5°
Grossezza dei grani	ϕ'_3	Sabbia	0
		Ghiaia fine	+ 1°
		Ghiaia grossa	+ 2°
Granulometria	ϕ'_4	Uniforme	- 3°
		Media	0
		Estesa	+ 3°

I valori **minimi** che si ottengono sono i seguenti:

<i>Depositi prevalentemente ghiaiosi</i>	$\phi' = 36 + 0 - 5 + 2 + 0 = 33^\circ$
--	---

Al fine di valutare ulteriormente le caratteristiche meccaniche di tali terreni, si è proceduto alla stima dell'angolo di resistenza al taglio (ϕ) mediante il *metodo clisimetrico*. Esso consiste nel determinare l'inclinazione di cumuli di materiale granulare, opportunamente predisposti, attraverso uno strumento denominato *clisimetro*. Il metodo si basa sul principio che, in assenza di coesione o con valori trascurabili della stessa, un pendio risulta stabile solo se la sua inclinazione è uguale od inferiore all'angolo di attrito interno del materiale che lo costituisce.

Il valore di ϕ misurato (angolo di natural declivio) in corrispondenza dei cumuli ghiaiosi depurati superficialmente dai ciottoli più grossi, è risultato prevalentemente pari a circa $32^\circ \div 33^\circ$: in realtà, il valore di angolo di resistenza al taglio così ottenuto risulta inferiore tra quelli di picco possibili poiché il materiale, tolto dalle sue condizioni naturali, risulta sempre disturbato e non mostra, di conseguenza, le stesse caratteristiche meccaniche che aveva in giacitura naturale, come indicano ad esempio le modalità di correlazione dei vari angoli di resistenza al taglio con l'angolo di "natural declivio" descritte in alcuni testi specifici (*Lambe & Whitman, 1969*).

Tali considerazioni, unite alle caratteristiche di permeabilità dei terreni, indicano come il sottosuolo naturale sia costituito da depositi rapidamente drenanti e di scarsa ed immediata compressibilità, aventi un comportamento meccanico incoerente la cui resistenza al taglio è governata indicativamente da angoli di attrito di valore medio.

Pertanto, le caratteristiche geotecniche di tali terreni possono essere generalmente schematizzate come in Tab. 2, dove sono riportati i parametri geotecnici x_d di progetto secondo le due modellazioni M1 ed M2 previste dalle NTC.

I valori di progetto x_d derivano dai valori caratteristici fissati sulla base dei metodi osservazionali sopra descritti, confrontati con la bibliografia specifica e considerando le altre indagini condotte dallo scrivente nello stesso ambito deposizionale.

	Strato	Litologia	C_d (kPa)	ϕ_d (°)	γ_{nat} (kN/m ³)
Modello M1	A	Materiale di riporto / rimaneggiamento	-	-	17
	B	Depositi prevalentemente ghiaiosi	-	33	19
Modello M2	A	Materiale di riporto / rimaneggiamento	-	-	17
	B	Depositi prevalentemente ghiaiosi	-	27,5	19

Tab. 2. Modellazioni M1 ed M2 dei parametri dei litotipi locali
 C_d = coesione efficace di progetto, ϕ_d = angolo di resistenza al taglio di progetto,
 γ_{nat} = peso di volume del terreno naturale

3.3. Classificazione sismica dell'area

Secondo l'O.P.C.M. n. 3519 del 28 Aprile 2006, la cui applicazione è stata definita dalla Regione Veneto con D.G.R.V. n. 71 del 22 Gennaio 2008 e considerata nell'emanazione delle NTC 08, l'area è inseribile al passaggio tra la fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s compreso tra **0,125g** e **0,150g** (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni – mappa 50° percentile) e quella con valore di accelerazione sismica orizzontale a_g compreso tra **0,150g** e **0,175g**.

Infatti, per quanto riguarda la **pericolosità di base**, in riferimento ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ($T_r = 475$ anni), il calcolo eseguito con il programma “Spettri di risposta – ver. 1.0.3” del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici mediante interpolazione per media ponderata (cfr. figura seguente), individua la pericolosità sismica del sito di intervento con un valore di a_g riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s pari a **0,150g**, mentre, interpolando per superficie rigata, restituirebbe un valore di a_g pari a **0,148g**.

Le coordinate dell'area sono state acquisite con sistema GPS Garmin Geko 301 (Datum WGS 84) e successivamente corrette e convertite nel Datum ED 50, come riportato nella figura sotto, per l'individuazione della pericolosità del sito con l'utilizzo del software “Spettri di risposta – ver. 1.0.3” del Consiglio Superiore dei LL.PP.

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C [s]
30	0,039	2,571	0,234
50	0,052	2,480	0,251
72	0,063	2,528	0,255
101	0,075	2,493	0,260
140	0,088	2,459	0,262
201	0,104	2,427	0,268
475	0,150	2,426	0,276
975	0,195	2,470	0,278
2475	0,275	2,379	0,289

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C per i periodi di ritorno T_R di riferimento. Estratti da “Spettri di risposta – ver. 1.0.3” del Consiglio Superiore dei LL. PP.

Coordinate ED 50 del sito.

Longitudine 10,74543

Latitudine 45,35829

I valori base di accelerazione a_g ed i parametri sismici da utilizzare nei calcoli dovranno essere successivamente stabiliti sulla base della “Strategia di Progettazione” che sarà adottata dal Progettista, una volta assegnate all’opera la Vita nominale, la Classe d’uso ed il Periodo di riferimento (cfr. NTC).

3.4. Analisi sismica locale

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E FREQUENZA FONDAMENTALE DI RISONANZA DEL SITO

Ai fini della definizione dell'azione sismica, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi o in rapporto ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di Categorie di Sottosuolo di riferimento.

Per definire tali Categorie, il D.M. 14/01/08 prevede il calcolo del parametro $V_{s,30}$, ovvero della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_s entro 30 m di profondità dal piano di posa di fondazioni superficiali, dalla testa dei pali per fondazioni indirette, dal piano di imposta delle fondazioni per muri di sostegno di terrapieni o dalla testa delle opere di sostegno di terreni naturali.

La **Categoria di Sottosuolo** è stata quindi ottenuta mediante un'indagine di sismica passiva Re.Mi. accoppiata ad una misura H.V.S.R. che, confrontata con altre indagini Re.Mi. ed H.V.S.R. eseguite dallo scrivente nello stesso ambito geomorfologico, ha permesso di calcolare il valore della $V_{s,30}$.

Il profilo verticale delle velocità delle onde di taglio S (V_s), esposto in Figura 4, evidenzia un deposito poco / mediamente addensato fino ad 1,5 m dal p.c. e con una V_s di circa 200 m/s; per profondità maggiori, il grado di rigidità aumenta ed assume una velocità V_s di circa 400 m/s fino a 6,5 m dal p.c. e di circa 550 m/s fino a 31,5 m. A seguire, la velocità aumenta nuovamente ed assume un valore di 650 m/s.

Assumendo il piano di posa ad una profondità minima di almeno 1,6 m dal piano campagna attuale, al di sotto dei terreni rimaneggiati / riportati, si otterrebbe un valore del parametro $V_{s,30}$ compreso tra 500 m/s e 520 m/s per cui, sulla base di tali risultati, è possibile inserire l'area nella seguente **Categoria di Sottosuolo B**:

Categoria B – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina) – Tabella 3.2.II al paragrafo 3.2.2 delle NTC.

L'indagine ha permesso di stimare la **frequenza fondamentale di risonanza di sito (17,5 Hz)**, per la cui descrizione si rimanda all'allegato a fine testo.

CATEGORIA TOPOGRAFICA E COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA S_T

Il sito in esame è modellizzabile nella **Categoria T1** (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ - cfr. Tabella 3.2.IV del par. 3.2.2 delle NTC), per cui il coefficiente di amplificazione topografica S_T si potrà assumere pari ad **1,0** come indicato nella Tabella 3.2.VI del par. 3.2.3.2.1 delle NTC.

SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Sulla base di quanto previsto dal paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC, viste le caratteristiche geologiche locali, la verifica della suscettibilità dei terreni nei confronti della liquefazione può essere omessa.

3.5. Stima preliminare del carico limite dell'insieme fondazione – terreno (capacità portante - SLU)

Il quadro emerso indica che il sedime di fondazione dovrà essere costituito dalle ghiaie prevalenti in giacitura naturale, appartenenti allo Strato B di Tab. 1; invece, la copertura riportata e/o rimaneggiata (Strato A di Tab.1) dovrà essere completamente asportata, provvedendo, dove necessario, ad approfondire ulteriormente lo scavo fino ai terreni in giacitura naturale, eseguendo delle bonifiche per sostituzione con magrone di calcestruzzo per il raggiungimento della quota d'imposta delle fondazioni.

La stima della capacità portante è stata fatta, quindi, ipotizzando l'adozione di fondazioni nastriformi alte 0,4 m, lunghe fino a circa 40 m, e con una larghezza indicativa variabile tra 0,6 m ed 1 m.

Per la verifica della sicurezza degli Stati Limite Ultimi (SLU), il D.M. 14 Gennaio 2008 prevede, al par 2.3., che sia rispettata la condizione $R_d \geq E_d$, dove R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico ed E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione (cfr. par. 6.2.3.1). La verifica della condizione di cui sopra può essere effettuata utilizzando due approcci progettuali differenti che combinano tra loro una serie di coefficienti parziali e tabellati dalle NTC per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici già definiti in precedenza (M1 ed M2) e per le resistenze (R1, R2, R3).

In mancanza di dati a riguardo dei carichi (azioni, effetto delle azioni) che andranno a sollecitare le fondazioni, per orientare il Progettista nel dimensionamento di queste strutture si è eseguito il calcolo della capacità portante **in condizioni statiche**, ipotizzando le tipologie fondazionali sopra menzionate. In ogni caso, sono stati considerati carichi verticali baricentrici, piano campagna e piano di posa orizzontali.

Non essendo a conoscenza dell'Approccio di calcolo scelto dal Progettista, di cui al paragrafo 6.4.2.1, sono state eseguite le verifiche delle resistenze di progetto R_d (capacità portante) come segue:

Approccio 1 – Combinazione 2 = (A2 + M2 + R2) con $R2 = 1,8$

Approccio 2 = (A1 + M1 + R3) con $R3 = 2,3$

Infatti, nelle verifiche di sicurezza rispetto agli Stati Limite Ultimi (SLU) può essere utilizzato l'Approccio 1 o l'Approccio 2. Nell'ambito dell'Approccio 1, la Combinazione 1 è generalmente dimensionante per le verifiche di sicurezza rispetto agli SLU di tipo strutturale (STR – *raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali, compresi gli elementi di fondazione*), mentre la Combinazione 2 risulta in genere dimensionante per le verifiche di sicurezza rispetto agli SLU di tipo geotecnico (GEO – *raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura con sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno - struttura*).

Sono state, quindi, omesse le verifiche con l'Approccio 1 - Combinazione 1 e si sono riportati i risultati dell'Approccio 1 - Combinazione 2 e dell'Approccio 2.

Per determinare la capacità portante sono state scelte le formule generali di Brinch – Hansen dell'EC 7, confrontandole con quelle di Brinch – Hansen riportate nei testi di geotecnica più diffusi (ad es. Bowles, 1991); nei calcoli sono stati considerati i parametri dello Strato B di Tab. 2, assumendo un peso di volume pari a 17 kN/m^3 e, cautelativamente, un incastro pari all'altezza ipotizzata della fondazione.

I risultati ottenuti considerando gli opportuni coefficienti di sicurezza, assunte le debite approssimazioni ed espressi in termini di pressioni, sono i seguenti:

FONDAZIONI NASTRIFORMI		APPROCCIO 1 - Combinazione 2 M2/R2	APPROCCIO 2 M1/R3
CONDIZIONI STATICHE		M2/R2	M1/R3
Incastro D (m)	Larghezza B (m)	R_d (kPa)	R_d (kPa)
0,4	0,6	90	140
0,4	0,8	100	160
0,4	1,0	105	170

Tali valori dovranno essere ricalcolati e convertiti in resistenze di progetto R_d , sulla base delle effettive scelte progettuali, una volta nota l'entità e l'eccentricità dei carichi: essi dovranno tener conto ed essere confrontati con le Azioni di progetto E_d debitamente corrette in funzione dei coefficienti parziali A1 e A2 previsti dalle NTC.

Resta di stretta competenza del Progettista la scelta definitiva ed esecutiva della tipologia e del dimensionamento delle fondazioni da adottare, che sarà subordinata all'individuazione dei parametri progettuali definitivi.

Le verifiche di capacità portante in CONDIZIONI SISMICHE e le verifiche allo scorrimento sul piano di posa dovranno essere eseguite una volta individuate la strategia di progettazione, le caratteristiche dei carichi e della struttura e considerando i parametri geotecnici, la Categoria di Sottosuolo ed il Coefficiente di amplificazione topografica S_t precedentemente esposti.

L'analisi dei cedimenti dovrà essere eseguita sulla base del modello reale di distribuzione dei carichi e dell'effettivo piano di imposta delle fondazioni, una volta cantierizzata l'area e verificate diffusamente le condizioni litotecniche locali.

In ogni caso, per limitare i cedimenti immediati dovrà essere preparato il piano di posa delle fondazioni a regola d'arte, prevedendo che il terreno di fondazione non subisca rimaneggiamenti e deterioramenti; il piano di posa degli elementi strutturali di fondazione dovrà essere regolarizzato e protetto con calcestruzzo magro, per avvantaggiare una diffusione del carico su un'area più ampia di terreno.

Le fondazioni dovranno svilupparsi sempre sui terreni in giacitura naturale, al di sotto dei terreni riportati e/o rimaneggiati, della eventuale coltre vegetale e dello strato potenzialmente interessato da problemi derivanti da variazioni di volume per cambiamenti di umidità stagionali, per essiccazione e per effetto del gelo.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione è stata redatta sulla base delle indagini eseguite e dei dati raccolti, che hanno permesso di ricostruire le condizioni geologiche dell'area in cui è prevista la realizzazione di un nuovo edificio ad uso spogliatoi, a servizio degli impianti sportivi del Comune di Valeggio Sul Mincio.

L'intervento si sviluppa all'interno dell'Alta Pianura Veronese, in un settore generalmente subpianeggiante, localmente disturbato dalle morfologie antropiche legate alla realizzazione degli impianti sportivi in essere: nel dettaglio, l'area si trova alla stessa quota del parcheggio dello stadio, ribassata rispetto il piano della strada che passa sul confine a Nord e rispetto al campo di calcio che la delimita ad Ovest.

Dal punto di vista stratigrafico, le trincee hanno permesso di osservare direttamente i terreni costituenti il sottosuolo e di verificare che l'area risulta interessata dalla presenza, in superficie, di materiale riportato / rimaneggiato in seguito alla pregressa attività edificatoria. In sostanza, nelle trincee è stata verificata la presenza di materiali riportati e/o rimaneggiati fino a circa 1,4 ÷ 1,6 m di profondità, al di sotto dei quali si trovano depositi fluvio-glaciali in giacitura naturale costituiti da ghiaie con ciottoli e sabbie, talora debolmente limose, con massi.

Per quanto riguarda le condizioni idrogeologiche, le indagini eseguite non hanno verificato venute d'acqua di alcun tipo, in conformità con le informazioni idrogeologiche raccolte, che segnalano la falda ad elevate profondità.

In merito alla definizione dell'azione sismica, la Categoria di Sottosuolo ricavata dalle prove geofisiche è del tipo B, mentre la Categoria Topografica è la T1.

Il calcolo della capacità portante in condizioni statiche è stata fatta ipotizzando l'adozione di fondazioni nastriformi che dovranno essere realizzate integralmente sui terreni ghiaiosi in giacitura naturale per cui, vista l'avvenuta manomissione del primo sottosuolo, si dovrà provvedere, dove necessario, ad approfondire lo scavo fino a tali terreni, eseguendo delle bonifiche per sostituzione con magrone di calcestruzzo per il raggiungimento della quota d'imposta delle fondazioni.

I risultati ottenuti, di valore indicativo nell'ambito di una fase di progettazione preliminare, dovranno essere ricalcolati sulla base delle effettive scelte progettuali, una volta nota l'entità e l'eccentricità dei carichi e, quindi, la geometria delle fondazioni adottate: essi dovranno tener conto ed essere confrontati con le Azioni di progetto E_d debitamente corrette in funzione dei coefficienti parziali A1 e A2 previsti dalle NTC, sulla base dell'Approccio di calcolo adottato. Le verifiche in condizioni sismiche dovranno essere definite successivamente, una volta individuate la strategia di progettazione, le caratteristiche dei carichi e della struttura.

L'analisi dei cedimenti dovrà essere eseguita sulla base del modello reale di distribuzione dei carichi e dell'effettivo piano di imposta delle fondazioni, una volta cantierizzata l'area e verificate diffusamente le condizioni litotecniche locali.

In ogni caso, per limitare i cedimenti immediati dovrà essere preparato il piano di posa delle fondazioni a regola d'arte, prevedendo che il terreno di fondazione non subisca rimaneggiamenti e deterioramenti; il piano di posa degli elementi strutturali di fondazione dovrà essere regolarizzato e protetto con calcestruzzo magro, per avvantaggiare una diffusione del carico su un'area più ampia di terreno.

In corrispondenza allo sviluppo dell'intervento in progetto è stata riscontrata la presenza di un impianto di smaltimento delle acque meteoriche e di altri sottoservizi; tale impianto dovrà essere ragionevolmente spostato ed ubicato ad opportuna distanza dalle opere in progetto, in modo tale da evitare che le acque disperse nel suolo interferiscano con le future strutture e con il loro sedime di fondazione.

In virtù di tali disturbi, come detto in precedenza, si rimarca che le fondazioni dovranno svilupparsi sempre sui terreni in giacitura naturale, al di sotto dei terreni riportati e/o rimaneggiati, della eventuale coltre vegetale e dello strato potenzialmente interessato da problemi derivanti da variazioni di volume per cambiamenti di umidità stagionali, per essiccazione e per effetto del gelo.

Il quadro geologico risultante conferma la fattibilità delle opere in progetto. La compatibilità geologica locale è stata peraltro validata dal P.A.T. del Comune di Valeggio Sul Mincio, in fase di pianificazione territoriale, che inserisce il sito tra quelli idonei all'edificazione ed esterni ad aree soggette a dissesto idrogeologico.

Considerato il disturbo antropico rilevato nel lotto, all'apertura degli scavi dovranno essere controllate le condizioni locali, in modo da verificare le notizie raccolte in questa fase e quindi mantenere valide o meno le considerazioni espresse circa le caratteristiche geotecniche del sottosuolo e le verifiche eseguite.

Dott. Geol. Davide Dal Degan



5. BIBLIOGRAFIA

- ✚ A.G.I. (1977) – Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- ✚ Progetto di Piano stralcio di Assetto idrogeologico – Autorità di bacino del Fiume Fissero – Tartaro – Canalbianco.
- ✚ Bowles J. E. (1991) – Fondazioni. Progetto e analisi. McGraw – Hill Ed.
- ✚ CERI Centro di ricerca “Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici” (2004) – La microzonazione sismica. Metodi, esperienze e normativa.
- ✚ Cestari F. (1990) – Prove geotecniche in sito. Ed. Geo - graph, Segrate.
- ✚ Cestelli Guidi C. – Geotecnica e tecnica delle fondazioni. Hoepli Ed.
- ✚ Colombo P., Colleselli F. (1974) – Elementi di Geotecnica. Zanichelli Ed.
- ✚ Di Bernardo A, Dal Corso M. (2005) – Formula Geo.
- ✚ Di Girolamo M., Filippucci G. (1996) – Il progetto delle fondazioni. NIS Ed.
- ✚ Gruppo di lavoro MPS (2004) – Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’OPCM 3274 del 20 Marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano – Roma.
- ✚ Lambe & Whitman (1969) – Meccanica dei terreni. D. Flaccovio Ed.
- ✚ Lancellotta R. (1987) – Geotecnica. Zanichelli Ed.
- ✚ Lanzo G., Silvestri F. (1999) – Risposta Sismica Locale. Hevelius Ed.
- ✚ Marsan P., Romeo R. (1992) – La relazione geologica e geotecnica. NIS Ed.
- ✚ Panizza M., Slejko D. et al. (1981) – Modello sismotettonico dell’area fra il Lago di Garda e il Monte Grappa.
- ✚ Peli G. (2007) – Geotecnica pratica delle fondazioni dirette. Pitagora Editrice Bologna.
- ✚ Slejko D. et al (1987) – Modello sismotettonico dell’Italia Nord – Orientale. CNR.
- ✚ Viggiani C. – Fondazioni. Hevelius Ed.

6. CARTOGRAFIA

- ✚ C.T.R. della Regione Veneto alla Scala 1:5.000 - Elemento n. 144012 “Valeggio Sul Mincio”
- ✚ Carta Geologica d’Italia alla Scala 1:100.000 – Foglio n. 48 “Peschiera del Garda”
- ✚ Dal Prà, De Rossi, Leso, Siliotti (1999) – Carta Idrogeologica dell’Alta Pianura Veronese Occidentale
- ✚ Venzo S. (1965) – Carta geologica dell’anfiteatro morenico frontale del Garda fra il Chiese e l’Adige

7. ALLEGATI

- ✚ Allegato n. 1 – Corografia Scala 1:5.000
- ✚ Allegato n. 2 – Carta Geologica Generale Scala 1:50.000
- ✚ Allegato n. 3 – Stratigrafia delle trincee esplorative
- ✚ Allegato n. 4 – Relazione allegata alle indagini geofisiche



Dott. Geol. Davide Dal Degan
Via Strà n. 116 - Caldiero (VR)



Area in esame

CARTA GEOLOGICA GENERALE - Scala 1:50.000

estratta dalla Carta Geologica d'Italia – Foglio n. 48 "PESCHIERA DEL GARDA" alla Scala 1:100.000



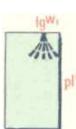
LEGENDA



a¹. Alluvioni sabbioso - ghiaiose, terrazzate, talora esondabili, antiche; conoidi fissati.
OLOCENE



fg^{w2}. Alluvioni fluvio - glaciali e fluviali, a ghiaie grossolane con ciottoli porfirici, terrazzate e raccordate con stadi tardowürmiani.
PLEISTOCENE



fg^{w1}. Alluvioni fluvio - glaciali e fluvio - fluviali, prevalentemente sabbiose, con strato di alterazione brunastro, di spessore limitato. Pluviale würmiano (**pl^w**) esterno all'ambito glaciale con conoidi.
PLEISTOCENE



fg^{R2}. Alluvioni fluvio - glaciali e fluviali, da molto grossolane a ghiaiose, con strato di alterazione superficiale argilloso, giallo - rossiccio, di ridotto spessore.
PLEISTOCENE



fg^{R1}. Alluvioni fluvio - glaciali e fluviali, prevalentemente ghiaiose, alterate per oltre un metro in argille rossastre.
PLEISTOCENE



m^R. Morene ghiaiose talora debolmente cementate, con strato di alterazione argilloso di colore rossastro o rosso, con qualche ciottolo calcareo, dello spessore di 1 - 2 metri. Dove il paleosuolo è dilavato, affiorano le sottostanti ghiaie bianche, anche calcaree, inalterate
PLEISTOCENE



Cordone morenico



Scaricatore fluvio-glaciale



Area in esame

Committente	Tipiesse S.r.l. – Impianti Sportivi	Data. 20/04/17	Trincea esplorativa		A
Cantiere	Impianti sportivi di Valeggio Sul Mincio (VR)				
PROF. DAL P.C. (m)	DESCRIZIONE LITOLOGICA		PP (kPa)	VT (kPa)	L.S. (m)
0,0 – 0,1	Terreno vegetale rimaneggiato di sabbie limose brune, con ghiaia		-	-	-
0,1 – (0,9 ÷ 1,0)	Riporto di sabbie con ghiaia, ciottoli e frammenti di laterizi, di colore bruno chiaro - nocciola; presenza di manufatto in cls a 0,6 m e tubo in PVC a circa 0,9 m		-	-	
(0,9 ÷ 1,0) – 1,5	Rimaneggiamento di sabbie medie con ghiaia, passanti a sabbie grosse con ghiaia fine, ciottolose, di colore grigio		-	-	
1,5 – 2,8	Ghiaie con ciottoli e sabbie medie e grosse, di colore nocciola, in giacitura naturale		-	-	
2,8 – 4,2	Ghiaie con ciottoli e sabbie debolmente limose, con massi (ø max = 25 cm), di colore nocciola		-	-	

P.C. piano campagna attuale
 PP Prova Pocket Penetrometer VT Prova con scissometro tascabile L.S. Livello statico falda - Profondità dal p.c.

Coordinate WGS 84		Note
Latitudine	45,35741	Verticalità dello scavo mantenuta a breve termine
Longitudine	10,74453	Non si sono verificate venute d'acqua

TRINCEA ESPLORATIVA	CUMULI DI SCAVO
	 tra 0,0 m e 1,5 m
	 tra 1,5 m e 4,2 m

UBICAZIONE DELLA TRINCEA



Committente	Tipliesse S.r.l. – Impianti Sportivi	Data. 20/04/17	Trincea esplorativa		B
Cantiere	Impianti sportivi di Valeggio Sul Mincio (VR)				
PROF. DAL P.C. (m)	DESCRIZIONE LITOLOGICA		PP (kPa)	VT (kPa)	L.S. (m)
0,0 – (0,2 ÷ 0,3)	Terreno vegetale rimaneggiato di limi sabbiosi debolmente argillosi, di color bruno, con ghiaia e ciottoli		-	-	-
(0,2 ÷ 0,3) – 0,7	Riporto / rimaneggiamento di sabbie e ghiaie di colore bruno / nocciola		-	-	
0,7 – (1,4 ÷ 1,6)	Lato Ovest: rimaneggiamento di sabbie e ghiaie fino ad 1,3 m e di sabbie fini limose fino ad 1,6 m, nocciola		-	-	
	Lato Est: rimaneggiamento di limi sabbioso argillosi di colore nocciola fino ad 1 m e, quindi, di sabbie limose con ghiaia e ciottoli, di colore bruno		-	-	
(1,4 ÷ 1,6) – 3,0	Ghiaie con ciottoli e sabbie, di colore nocciola, in giacitura naturale		-	-	
3,0 – 4,2	Ghiaie con ciottoli e sabbie debolmente limose con massi (Ø max = 25 cm), di colore nocciola		-	-	

P.C. piano campagna attuale
 PP Prova Pocket Penetrometer VT Prova con scissometro tascabile L.S. Livello statico falda - Profondità dal p.c.

Coordinate WGS 84		Note
Latitudine	45,35733	Verticalità dello scavo mantenuta a breve termine
Longitudine	10,74431	Non si sono verificate venute d'acqua

TRINCEA ESPLORATIVA	CUMULI DI SCAVO
	 

UBICAZIONE DELLA TRINCEA





REGIONE DEL VENETO

Provincia di Verona



Indagine geofisica con metodi Re.Mi. e H.V.S.R. per la caratterizzazione sismica dei terreni secondo la normativa vigente (N.T.C. - D.M. 14 gennaio 2008)

C/o “Spogliatoi centro sportivo comunale di
via Berto Barbarani”
Comune di Valeggio sul Mincio (VR)

Committente:
Dr. Geol. DAVIDE DAL DEGAN

Data: maggio 2017



STUDIOSISMA srl
Via Biron, 102/5 - 36050 Monteviale (VI)
Tel/Fax. 0444/962532 Cell. +39 349/0567455
Mail: info@studiosisma.com
C.F. e P.IVA 03797510249

INDICE

1. PREMESSE	3
2. CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
2.1 Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.)	5
2.2 Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)	7
3. EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA	8
4. ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	9
4.1 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate	9
4.2 Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta all'H.V.S.R.	10
4.3 Indagine sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.)	11
4.4 Categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14 gennaio 2008	12

ALLEGATO

-  Indagine sismica Re.Mi. e H.V.S.R.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE



1. PREMESSE

Il giorno 10 maggio 2017 è stata condotta la presente campagna d'indagine geofisica presso gli impianti sportivi comunali di via Berto Barbarani nel Comune di Valeggio sul Mincio (VR), su incarico del **Dr. Geol. Davide Dal Degan**. Al fine di caratterizzare, dal punto di vista sismico, il sottosuolo dell'area in esame sono stati utilizzati i metodi di prospezione sismica **Re.Mi. (Refraction Microtremor)** e **H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)**, due metodologie che consentono di ottenere un modello verticale delle Vs, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh, e non attraverso quelle di volume come invece accade per i metodi propri della sismica più tradizionale. Inoltre, la tecnica di Nakamura (HVSr) permette di stimare le frequenze fondamentali di risonanza del terreno, indispensabili per una corretta progettazione antisismica. In particolare, sono state effettuate:

- **n° 1 prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor)** sviluppata in un array lineare con n° 16 geofoni a 4,5 Hz ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo e per l'assegnazione della Categoria del Sottosuolo di fondazione (Vs,30) come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14/01/2008*);
- **n° 1 registrazione di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)** per individuare le frequenze di risonanza del terreno al fine di eseguire una corretta progettazione sismica delle strutture.

Nella figura a seguire viene evidenziata l'area in oggetto di studio (*Fig. n° 1 - Estratto di I.G.M. alla scala 1:25.000*).

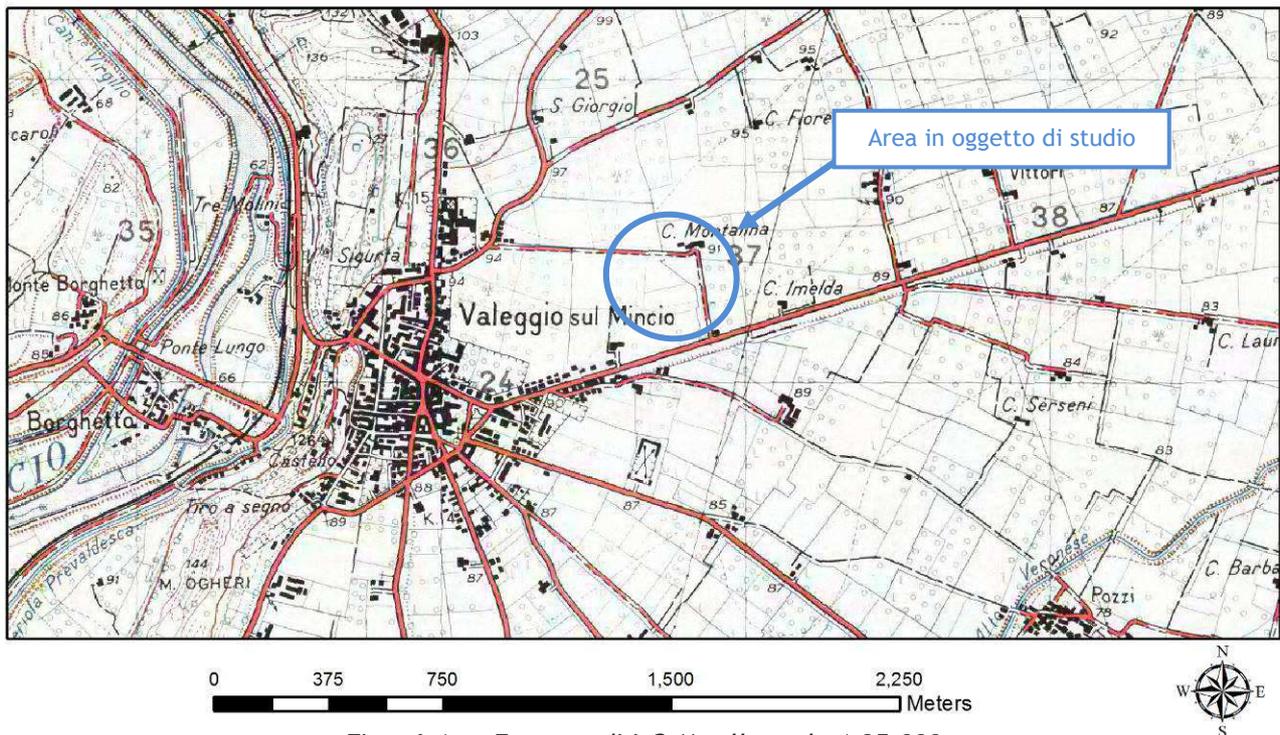


Fig. n° 1 - - Estratto di I.G.M. alla scala 1:25.000

L'ubicazione dell'area è stata ottenuta, secondo i Datum WGS 84 e ED 50, utilizzando un posizionatore GPS: le coordinate ottenute sono specificate nella tabella sottostante. Nella figura seguente (*Fig. n° 2 - Ubicazione prove in sito*) sono invece riportate, in dettaglio, le posizioni di ogni misura effettuata.

Latitudine	Longitudine
45,35747° N (WGS 84)	10,7444° E (WGS 84)
45,358393° N (ED 50)	10,745422° E (ED 50)



Fig. n°2 - Ubicazione prove in sito

2. CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

2.1 Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.)

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Questo comportamento viene definito *dispersione in frequenza* ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario, le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico - matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati con caratteristiche elastiche lineari.

La procedura Re.Mi. è un metodo di prospezione sismica sviluppato presso l'Università di Reno in Nevada (Louie, 2001) e viene classificato come metodo passivo in quanto utilizza il rumore ambientale. I vantaggi promossi da questo metodo sono molteplici: è molto veloce e semplice da usare in fase di acquisizione, raggiunge una buona profondità e risoluzione d'indagine ma soprattutto permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati.

La fase di acquisizione deve essere effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni da prendere in sito e nella pianificazione della registrazione. Tutto è finalizzato alla registrazione di dati contenenti la miglior informazione possibile riguardo alla propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale - rumore.

Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, nel caso Re.Mi. rappresenta la fonte del segnale utile che si vuole registrare. I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh da quelli superiori e dall'aliasing spaziale. C'è, in questo caso, la necessità di soddisfare la condizione di "omnidirezionalità" delle sorgenti, cioè si suppone che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni.

I tempi di registrazione dei microtremori sono decisamente più elevati rispetto alle indagini di tipo attivo. La registrazione sarà analizzata in finestre temporali che variano dai 10 ai 30 secondi.

Sono da considerare la lunghezza dello stendimento L e la distanza intergeofonica Δx . Quest'ultima agisce sul segnale come una specie di filtro in frequenza. Supponendo, infatti, che il segnale arrivi da tutte le direzioni, maggiore è la spaziatura, minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa. Se la frequenza è più bassa aumenta la profondità d'indagine.

La fase più delicata è quella del *data processing*, che consiste nel trattamento dei dati acquisiti con l'obiettivo di stimare la velocità di fase delle onde di Rayleigh (V_r) che sono correlabili con le velocità V_s di propagazione delle onde S ($V_s \approx 1,1 V_r$).

Le varie tecniche di processing trasformano l'informazione registrata nel dominio $x - t$ (spazio tempo), in un dominio dove l'energia associata all'evento è funzione della frequenza e di altre variabili. Tutto questo allo scopo, attraverso lo spettro, di localizzare la densità di energia maggiore, alla quale sono di solito associate le onde di Rayleigh. Con procedura manuale vengono selezionati dei punti sullo spettro, che andranno a formare la curva di dispersione sperimentale. La scelta di questi valori, denominata *picking*, è condizionata da alcune indicazioni ma è imprescindibile dall'abilità e dall'esperienza dell'interprete anche in base ad altre conoscenze in merito al sito in esame.



Il *sampling rate* utilizzato è stato di 512 Hz in modo da ottenere un elevato dettaglio del segnale. La durata (lunghezza temporale) del segnale registrato è stato di circa 6 minuti. Il software utilizzato per l'analisi spettrale è [Grilla v7.0 beta release 2016](#).

Data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 10 Hz), sono stati utilizzati n° 16 geofoni verticali a 4,5 Hz uniti in un *array* lineare totalmente digitale (*SoilSpy Rosina*). Ogni geofono è munito di un digitalizzatore che converte il segnale e lo trasmette al sismografo tramite un'interfaccia USB. Tale sistema permette di avere elevati rapporti di rumore, un perfetto sincronismo e una estrema leggerezza. La spaziatura utilizzata tra i geofoni è stata di 3 m quindi la lunghezza complessiva del profilo è risultata essere di 45 m. Non sono presenti sostanziali variazioni di quota e quindi il sito può essere considerato orizzontale.



Per una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde Vs è necessario adottare una modellizzazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$\hat{v}_s = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}} \quad [2.1]$$

- Vs = valore di velocità delle onde di taglio [m/s];
- H = profondità alla quale si desidera stimare Vs [m] (30 m in caso di Vs30);
- hi = spessore dello strato i - esimo [m];
- vi = velocità delle onde Vs all'interno dello strato i - esimo [m/s].

In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano i valori tabulati da Borchardt (1992; 1994) assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004).

TIPO DI SUOLO	Vs min [m/s]	Vs media [m/s]	Vs max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate)	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - GHIAIOSI (es. ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere)	100	150	200

2.2 Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)

La tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali o H.V.S.R., Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non richiede nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nel costruire edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito (*free field*) e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **velocità media delle onde di taglio V_s** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. Sarà quindi possibile calcolare la $V_{s,30}$ e la relativa categoria di sottosuolo come esplicitamente richiesto dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008*;
- la **stratigrafia del sottosuolo** con un *range* di indagine compreso tra 0,5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostante per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

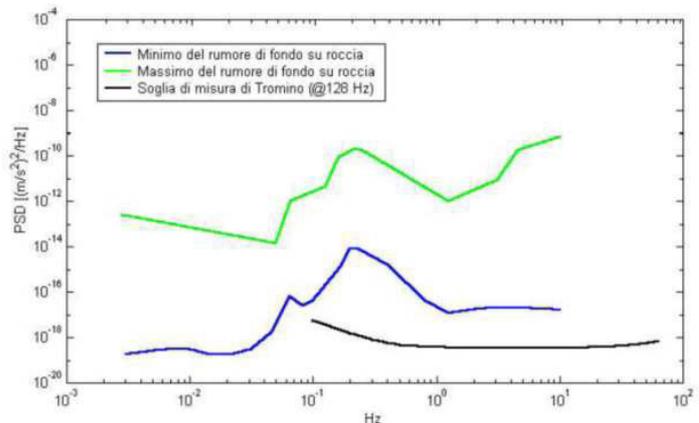
- dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s ;
- dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
- dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

$$\text{segnale registrazione al sito } x = \text{sorgente} * \text{effetti di percorso} * \text{funzione trasferimento strumento}$$

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche *microtremore* poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi poiché il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione riguardante la sorgente è persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni concernenti il percorso del segnale e, in particolare, relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali del sottosuolo; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta Micromed S.r.L modello "Tromino ZERO" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra - leggeri e ultra - compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno una terna velocimetrica con i sensori ortogonali tra loro e con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. Nella figura a fianco si riporta la curva di rumore di "Tromino" a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.



3. EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA

La storia della classificazione sismica Italiana comincia dopo il terribile terremoto di Reggio Calabria e Messina del 1908 (XI grado MCS) che provocò la morte di circa 80.000 persone. In seguito a questo evento ci fu un deciso impegno dello Stato a tradurre in legge le conoscenze scientifiche e tecniche sulle costruzioni sino ad allora maturate. Fu così emanato il Regio decreto n°193 [1909] nel quale è contenuta la prima classificazione sismica del territorio Italiano. Negli anni a seguire si continuò ad aggiornare la normativa tecnica ampliando la classificazione in base alle zone colpite da eventi sismici. Nel 1962 fu pubblicata la Legge n°1684, in seguito ai terremoti di Carnia (1956), Valle del Velino (1961) e Irpinia (1962) dove, per la prima volta, si prescrisse l'applicazione delle norme sismiche ai comuni "soggetti a intensi movimenti sismici" e non solo a quelli colpiti dal terremoto. In seguito ai terremoti dei Monti Nebroli (1967), della Valle del Belice (1968) e di Tuscania (1971), fu emanata la Legge n°64 [1974], che costituisce una pietra miliare nel panorama della normativa sismica poiché stabilì che la classificazione sismica dovesse procedere sulla base di comprovate motivazioni tecniche scientifiche.

La promulgazione dell'Ordinanza P.C.M. n°3274 del 20/3/2003 e successive modifiche ed integrazioni ha determinato sul panorama nazionale un grande rinnovamento sul fronte della normativa tecnica in zona sismica, rappresentata fino ad allora dai contenuti del D.M. 16 gennaio 1996. La principale novità introdotta dall'O.P.C.M. n°3274 è l'abbandono del carattere puramente prescrittivo e convenzionale che caratterizzava le norme tecniche di vecchia concezione, come il D.M. 16/01/1996, per abbracciare un'impostazione puramente prestazionale, in cui gli obiettivi della progettazione e quindi il livello di sicurezza sono esplicitamente dichiarati, a seconda della risposta sismica attesa per la struttura e il sito di costruzione, per un prefissato livello di severità dell'azione sismica.

Le attuali norme tecniche per le costruzioni (N.T.C. D.M. - 14 gennaio 2008) ereditano gran parte dei contenuti dell'O.P.C.M. n°3274 in merito alla progettazione in zone sismiche; tuttavia rispetto a quest'ultimo documento sono anche stati apportati importanti cambiamenti, di cui forse il più rilevante riguarda la definizione dell'**azione sismica**.

Per comprendere pienamente il significato della nuova normativa è necessario rifarsi al concetto di **risposta sismica locale**. Dal punto di vista strettamente fisico, per effetto di sito (risposta sismica locale) s'intende l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S). Nel presente lavoro si sfrutterà la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale $H / V = 1$) con quello effettivamente misurato in superficie.

Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze che corrispondono alle frequenze naturali f_n di vibrazione del deposito:

$$f_n = 1 / T_n = (V_s * (2n - 1)) / (4 * H) \quad \text{con } n = 1, 2, \dots, \quad [3.1]$$

mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito denominata frequenza fondamentale di risonanza:

$$f_1 = 1 / T_1 = V_s / 4H \quad [3.2]$$

E' quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di “*doppia risonanza*”, cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero gravose.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [3.3]$$

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. fondamentale di risonanza del sito} \quad [3.4]$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché da luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

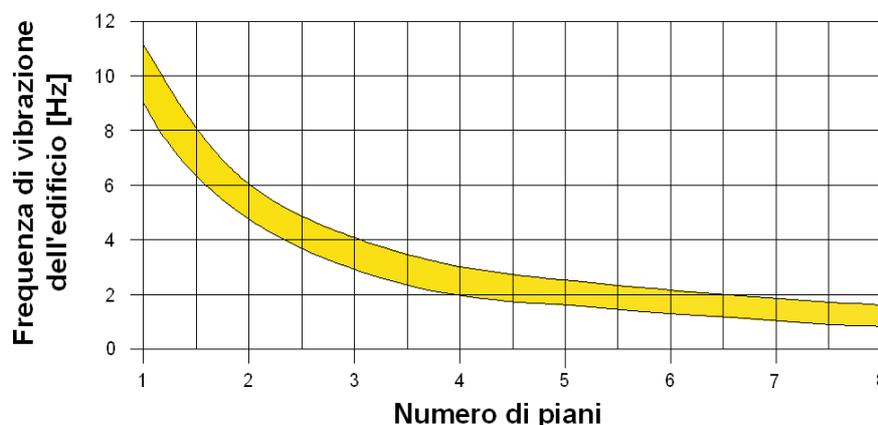


Figura - Frequenza di vibrazione degli edifici rapportata al numero di piani.

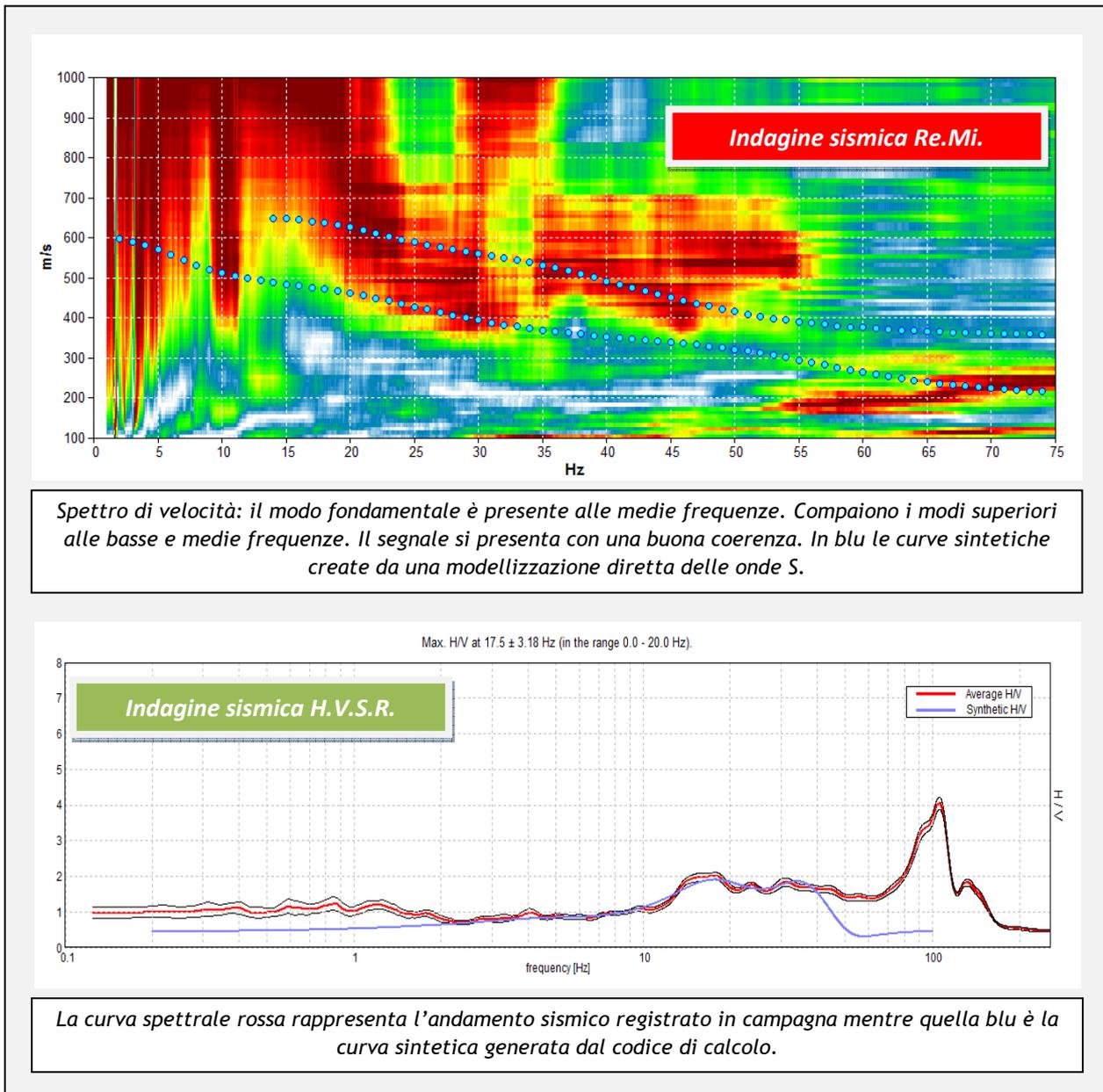
4. ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

4.1 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate

L'utilizzo incrociato delle due tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismo - stratigrafico del sottosuolo robusto e affidabile in corrispondenza della zona d'interesse. L'indagine Re.Mi. ha individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle onde S mentre la prospezione passiva a stazione singola (H.V.S.R.), tramite inversione congiunta, ha stimato il grado di rigidità del sottosuolo ad elevate profondità. Inoltre, la misura H.V.S.R. ha determinato le frequenze di risonanza di sito cioè i valori di frequenza attesi in superficie in occasione di evento sismico.

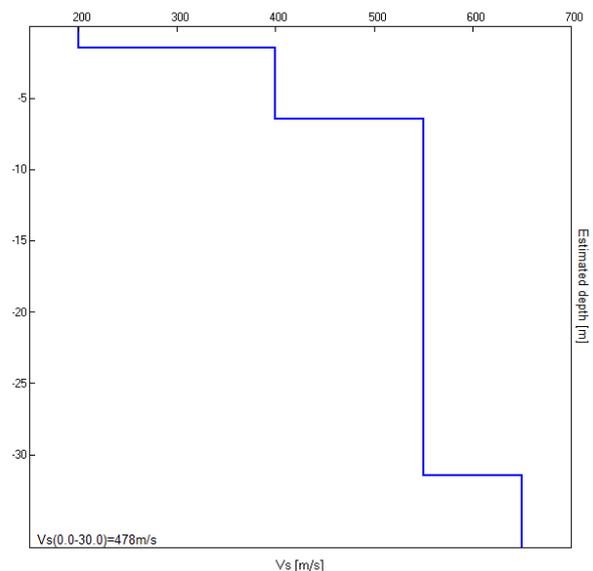
L'attendibilità del modello sismo-stratigrafico desunto è da considerarsi elevata poiché la coerenza del segnale è buona e lo spettro di velocità è ben definito nel modo fondamentale per quasi tutte le frequenze campionate. Il programma di elaborazione utilizzato permette di considerare non solo il modo fondamentale ma, una volta individuati, anche i modi superiori per vincolare con maggior attendibilità la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo.

4.2 Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta all'H.V.S.R.



La ricostruzione sismo - stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato, caratterizzato da una Vs di circa 200 m/s, fino a circa 1,5 m dal p.c. locale; per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato con Vs pari a circa 400 m/s (vedi *modello sismo - stratigrafico interpretativo* riportato a seguire).

A circa 6,5 m e a circa 31,5 m dal p.c. locale si riscontra un incremento delle velocità di propagazione delle onde S rispettivamente a ≈550 m/s e ≈650 m/s.



Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (*modello sismo - stratigrafico interpretativo*):

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	200	1,5	0,0 - 1,5
II SISMOSTRATO	400	5,0	1,5 - ≈ 6,5
III SISMOSTRATO	550	25,0	≈ 6,5 - ≈ 31,5
IV SISMOSTRATO	650	Semisp.	≈ 31,5 - Semisp.

4.3 Indagine sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.)

Nel caso specifico del sito in esame si è cercato di correlare i valori di picco, dello spettro di risposta HVSR, con le frequenze fondamentali di risonanza di sito.

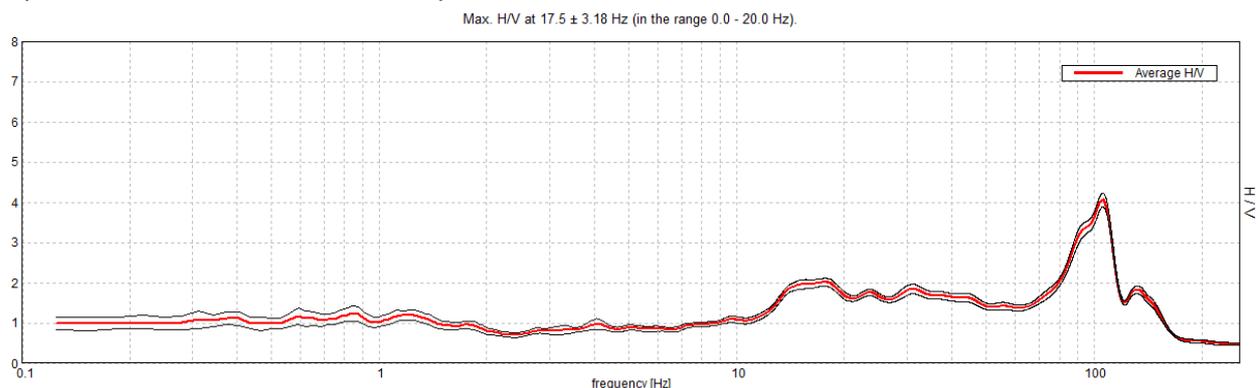
Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si sono potute ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica.

La frequenza fondamentale di risonanza di sito, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale ($H/V \approx 2$) nell'intervallo di interesse ingegneristico-strutturale (0,0 - 20,0 Hz), è di circa 17 Hz.

Frequenza fondamentale di risonanza
$17,5 \pm 3,18$ Hz

E' ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l'ipotesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un'onda sismica e quella naturale dell'edificio.

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



Rapporto spettrale H/V misurato. In rosso è indicato l'HV medio mentre in nero l'intervallo di confidenza al 95%.

Nella tabella seguente, s'illustra la qualità del segnale acquisito in base al progetto [SESAME](#) (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi tre parametri mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti almeno cinque dei sei criteri successivi. Si osserva quindi che il picco a 17,5 Hz soddisfa tutti i criteri e può pertanto essere assunto come frequenza fondamentale di risonanza del sito.

Max. H/V at 17.5 ± 3.18 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve			
$f_0 > 10 / L_w$	17.50 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	14000.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 841 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	8.875 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.678 Hz	OK	
$A_0 > 2$	0.95 < 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00158 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	3.17758 < 5.875	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.0968 < 1.58	OK	

4.4 Categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14 gennaio 2008

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi o in rapporto ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di Categorie di Sottosuolo di riferimento. Per definire tali categorie, il D.M. 14/01/08 prevede, il calcolo del parametro $V_{s,30}$, ovvero della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_s entro 30 m di profondità dal piano di posa di fondazioni superficiali, dalla testa dei pali per eventuali fondazioni indirette, dal piano di imposta delle fondazioni per muri di sostegno di terrapieni o dalla testa delle opere di sostegno di terreni naturali.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)

Esistono poi due categorie speciali di sottosuolo, che sono quelle denominate dalle sigle S1 e S2, per le quali le NTC08 richiedono che l'azione sismica sia definita tramite il ricorso a studi speciali. Per queste categorie di sottosuolo non è quindi possibile utilizzare l'approccio semplificato basato sul coefficiente di amplificazione stratigrafica.

S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti

Dalle indagini sismiche effettuate è possibile calcolare la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14/01/2008*), a partire da varie profondità dal piano campagna:

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_{s,30}$
0 m dal p.c.	$V_s(0 - 30) \approx 478$ m/s
1 m dal p.c.	$V_s(1 - 31) \approx 504$ m/s
2 m dal p.c.	$V_s(2 - 32) \approx 522$ m/s

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si prevede l'inserimento del sito d'indagine nella **Categoria di Sottosuolo denominata B**, così definita:

Categoria B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)

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. Infine, i profili di V_s ricavati con questa metodologia, come tutti i metodi indiretti, non presentano una soluzione univoca e quindi più modelli possono fornire curve sintetiche simili tra loro.

Monteviale, maggio 2017


STUDIOSISMA srl
 Via Biron, 102/5 - 36050 Monteviale (VI)
 Tel/Fax. 0444/962532 Cell. +39 349/0567455
 Mail: info@studiosisma.com
 C.F. e P.IVA 03797510249

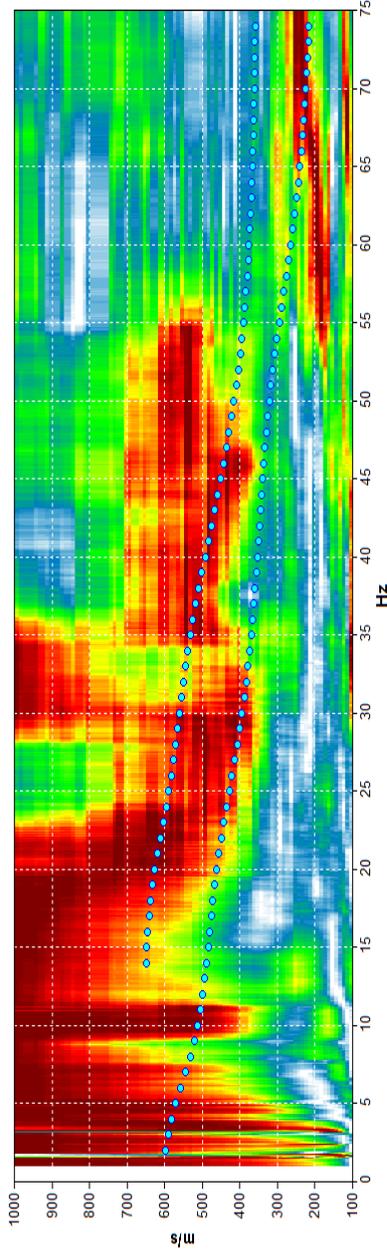


ALLEGATO **Indagine sismica Re.Mi. e H.V.S.R.****BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE**

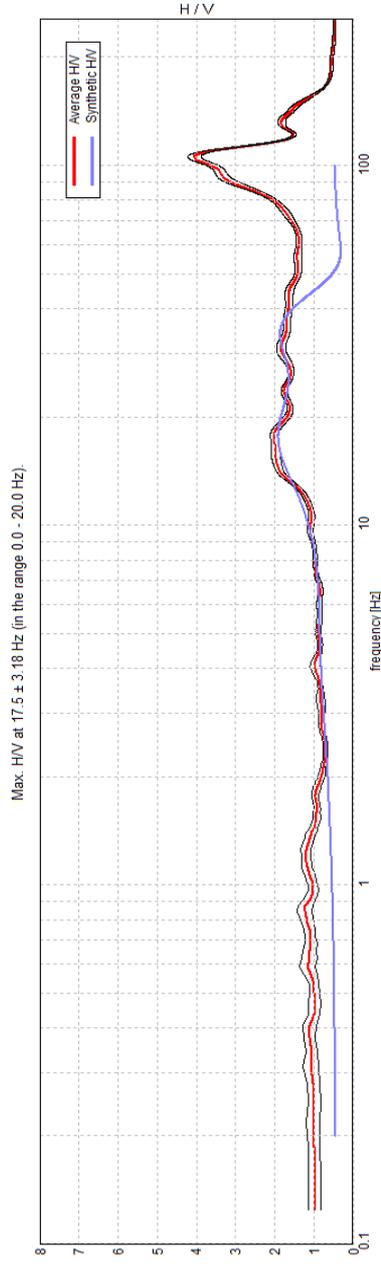
- ✓ Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, p. 665 - 666.
- ✓ Arai H. e Tokimatsu K., 2004. S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 94, p. 53 - 63.
- ✓ Castellaro S., Mulargia F. Bianconi L., 2005. Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *Geologia Tecnica Regionale*, vol. 3.
- ✓ D'Amico V., Picozzi M., Albarello D., Naso G. e Tropescovino S., 2004. Quick estimates of soft sediments thicknesses from ambient noise horizontal to vertical spectral ratios: a case study in southern Italy, *J. Eartq. Eng.*, 8, p. 895 - 908.
- ✓ Dal Moro G., 2008b, Rapporto sulla campagna Vs30 in Friuli Venezia Giulia, Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine, Università di Trieste.
- ✓ Dal Moro G & Pipan M., 2007, Joint Inversion of Surface Wave Dispersion Curve and Reflection Travel Times via Multi-Objective Evolutionary Algorithms, *J. Appl. Geophysics*, 61, 56-81.
- ✓ Gallipoli R., La Penna V., Lorenzo P. et al., 2000. Comparison of geological and geophysical prospecting techniques in the study of a landslide in southern Italy, *European J. Environm. and Eng. Geophys.*, 4, p. 117 - 128.
- ✓ Ibs-von Seht M. e Wohlenberg J., 1999. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seismol. Soc. America*, 89, p. 250 - 290.
- ✓ Ivanov, J., Miller, R.D., Xia, J., Steeples, D., and Parck, C.B., 2006, Joint Analysis of Refractions with Surface Waves. An Inverse Refraction-Traveltime Solution: *Geophysics*, 71, R131-R138.
- ✓ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2001. A critical review of 10 Years of microtremor HVSR technique, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 42, P. 255 - 266.
- ✓ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2006. Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy, *Conf. Eartq. Eng. And Seismol.*, Ginevra, 3-8 Sept. no 270.
- ✓ Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L., 2007. Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica", *Il geologo - Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna*.
- ✓ Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTRI*, 30, p. 25 - 30.
- ✓ Roth M. & Holliger K- 1999. Inversion of Sourcegenerated noise in high-resolution seismic data. *The Leading Edge*, 18, 1402-1406.
- ✓ [SESAME Project](#): "Site Effects Assessment Using Ambient Excitations", 2005.



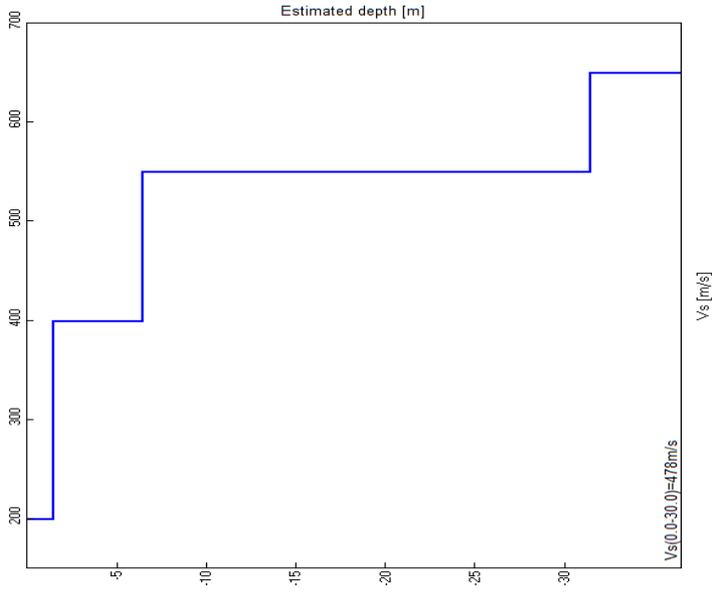
Spettro di velocità e curve sintetiche da indagine sismica in array (Re.Mi.)



Spettro di velocità e curve sintetiche da misura a stazione singola (H.V.S.R.)



Profilo verticale onde S (Vs)



Profondità piano di posa delle fondazioni	Vs, 30
0 m dal p.c.	Vs (0 - 30) = 478 m/s
1 m dal p.c.	Vs (1 - 31) = 504 m/s
2 m dal p.c.	Vs (2 - 32) = 522 m/s
CATEGORIA B DI SOTTOSUOLO	

Modello sismo-stratigrafico interpretativo

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	200	1,5	0,0 - 1,5
II SISMOSTRATO	400	5	1,5 - 6,5
III SISMOSTRATO	550	25	6,5 - 31,5
IV SISMOSTRATO	650	Semisp.	31,5 - Semisp.

Ubicazione indagini



INDAGINE SISMICA

Via Berto Barbarani

Comune di Valeggio sul Mincio (VR)

Comm.: Dott. Geol. Davide Dal Degan

**Indagine sismica
Re.Mi. e H.V.S.R.**

Tav.01

studiosisma srl

Mag. 2017