

dr. umberto pivetta
geologo

REGIONE DEL VENETO

COMUNE DI COSTABISSARA

PROVINCIA DI VICENZA

Indagine geologica e geotecnica per la realizzazione di un
edificio commerciale in Loc. Motta

Committente: **Soc. VABENE s.r.l.**

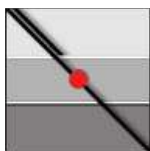
RELAZIONE IDROGEOLOGICA

Il relatore

Data: 12 Luglio 2011



(Geologo Dott. Umberto Pivetta)



1 - INTRODUZIONE

Su incarico della **Soc. VABENE s.r.l.** è stata eseguita un'indagine geologica e geotecnica a supporto del progetto di realizzazione di un edificio commerciale in Loc. Motta, Comune di Costabissara.

Dal punto di vista generale, la presente relazione geologica e geotecnica si propone di valutare le possibili interazioni tra le azioni di progetto dei nuovi edifici e l'ambiente geologico, ed in particolare di:

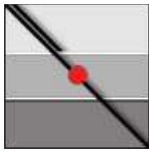
- Ricostruire l'assetto stratigrafico del sottosuolo
- Determinare le caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione
- Fornire al Progettista i parametri tecnici necessari per la corretta scelta e dimensionamento delle strutture fondazionali.

Della stessa area è stata precedentemente eseguita una indagine a carattere generale al fine di verificare la fattibilità dal punto di vista geologico ed idrogeologico (v. *relaz. del 27 Luglio 2010*). Ai fini della presente relazione é stata effettuata un'indagine sperimentale in sito che ha richiesto l'esecuzione di:

- **N° 4 Prove Penetrometriche "Statiche"** (CPT), spinte sino alla profondità massima di 16,00 metri dal piano di campagna locale,
- **Caratterizzazione sismica del sottosuolo** tramite la tecnica passiva HVSr
- **N° 2 prove di permeabilità** in foro di sondaggio

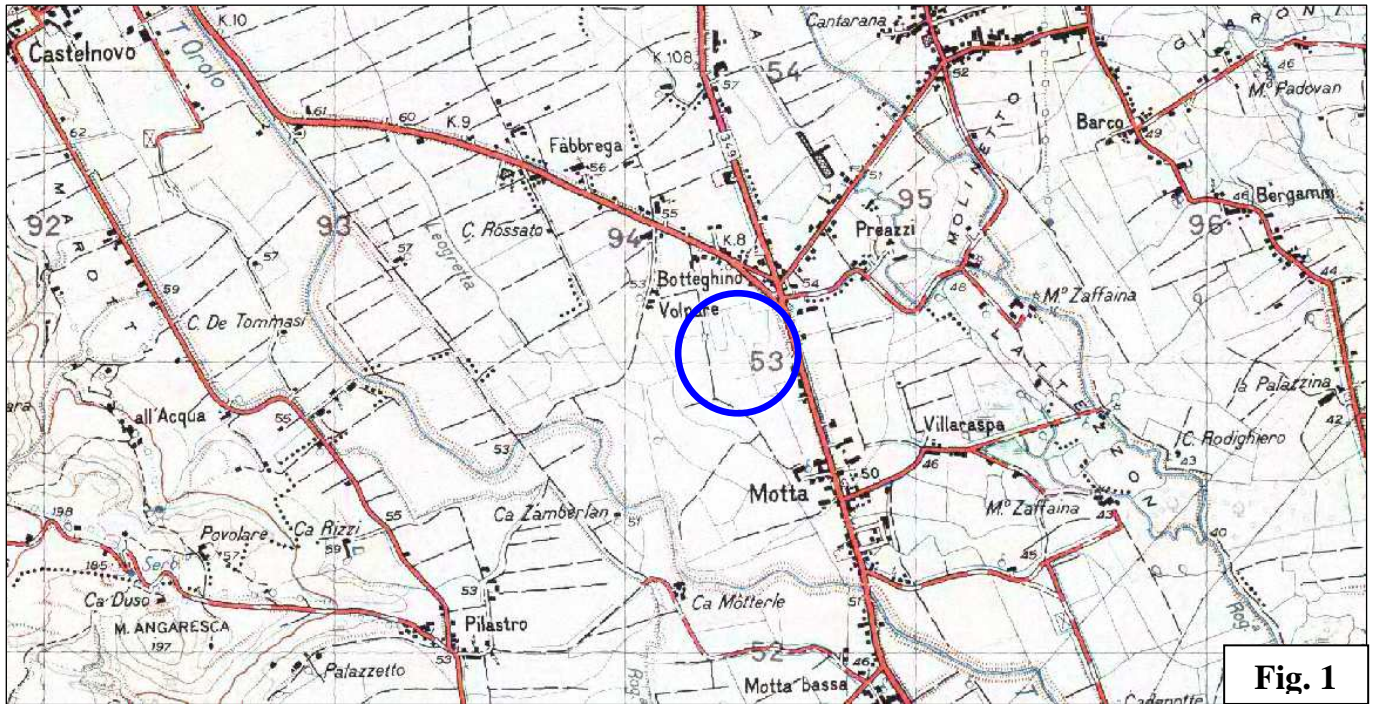
Con la LEGGE 24 giugno 2009, n. 77, "*Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, recante interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile.* (09G0088) (Suppl. Ordinario n. 99)" - Gazzetta Ufficiale N. 147 del 27 Giugno 2009, entra definitivamente in vigore il **Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008** (supplemento ordinario n. 30 Gazzetta ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2007) recante "**Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni**" che introducendo il concetto di Stato Limite, ovvero la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata, prevede, per la definizione del grado di sicurezza, un approccio di tipo semiprobabilistico, o di primo livello, adottando i cosiddetti Coefficienti parziali di sicurezza (CP).

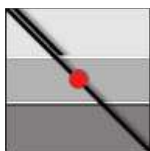
Salvo alcuni casi particolari, il concetto di tensioni ammissibili, previsto nel D.M. 11.03.1988, non è più adottabile.



2 - INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

2.1 - Ubicazione e caratteri geomorfologici principali





La zona oggetto di questo studio, attualmente campo agricolo in gran parte incolto, è ubicata nella porzione più settentrionale del territorio di Costabissara, a nord della Loc Motta, in prossimità del bivio Schio-Thiene.



Fig. 3

Il sito in oggetto è situato in un tratto di piana alluvionale di stretta competenza del T. Orolo. L'abbondanza delle acque superficiali è regimata da una serie di rogge, rii e fossati.

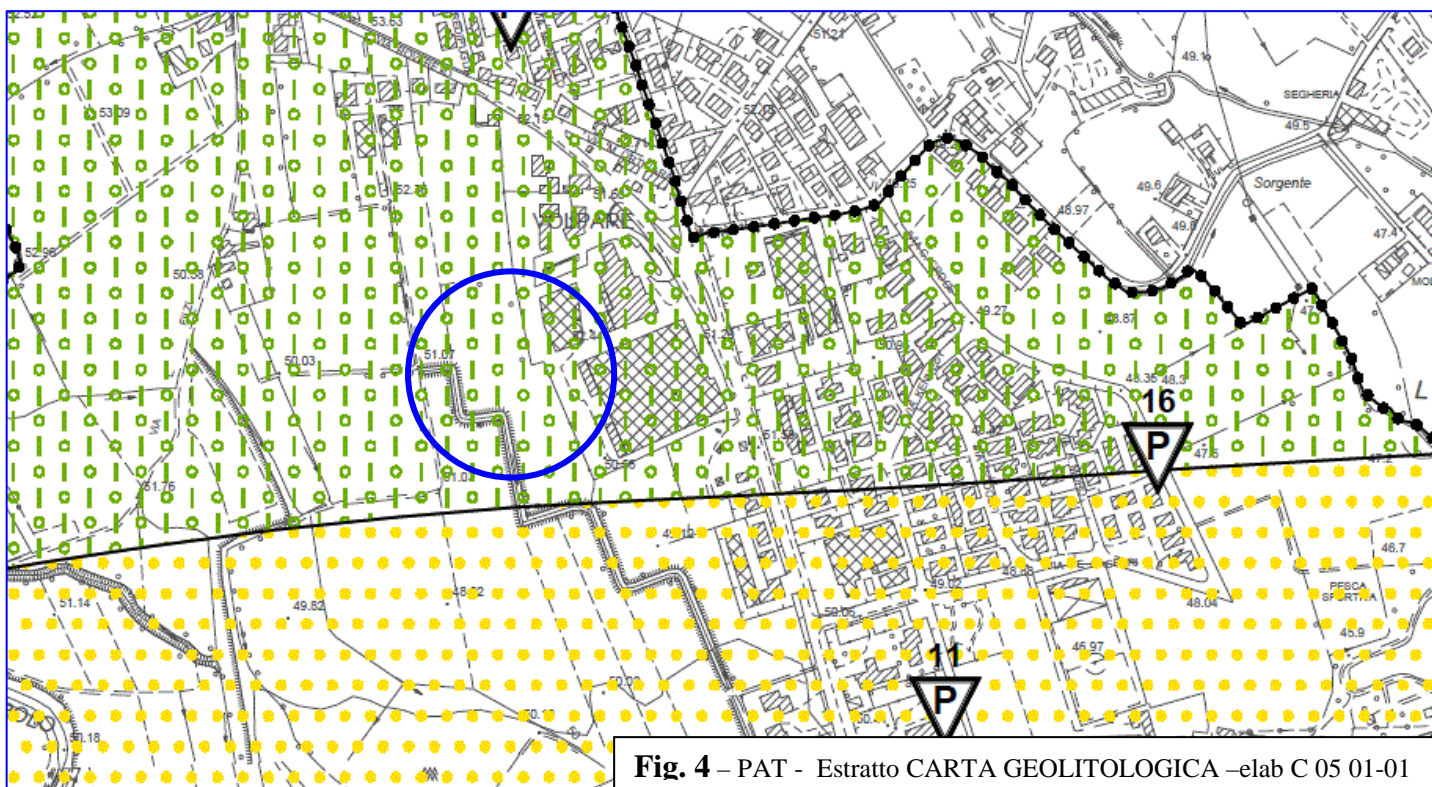
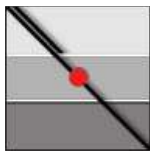
Dal punto di vista morfologico l'area è pianeggiante, con quote medie attorno a 47 m s.l.m., debolmente degradanti verso sud-est.

Questo tratto di pianura i terreni sono caratterizzati da elevata variabilità litologica, dovuta alle passate esondazioni e divagazioni dei corsi d'acqua sopra citati: in generale la situazione geologica generale può essere descritta come una **copertura prevalentemente argillosa, dello spessore dell'ordine dei 8,00 – 9,00 m, sopra depositi lentiformi di sabbie talora ghiaiose.**

Dalla Carta Geolitologica allegata al P.A.T. l'area risulterebbe invece interessata da materiali alluvionali a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa (**Fig. 4**)

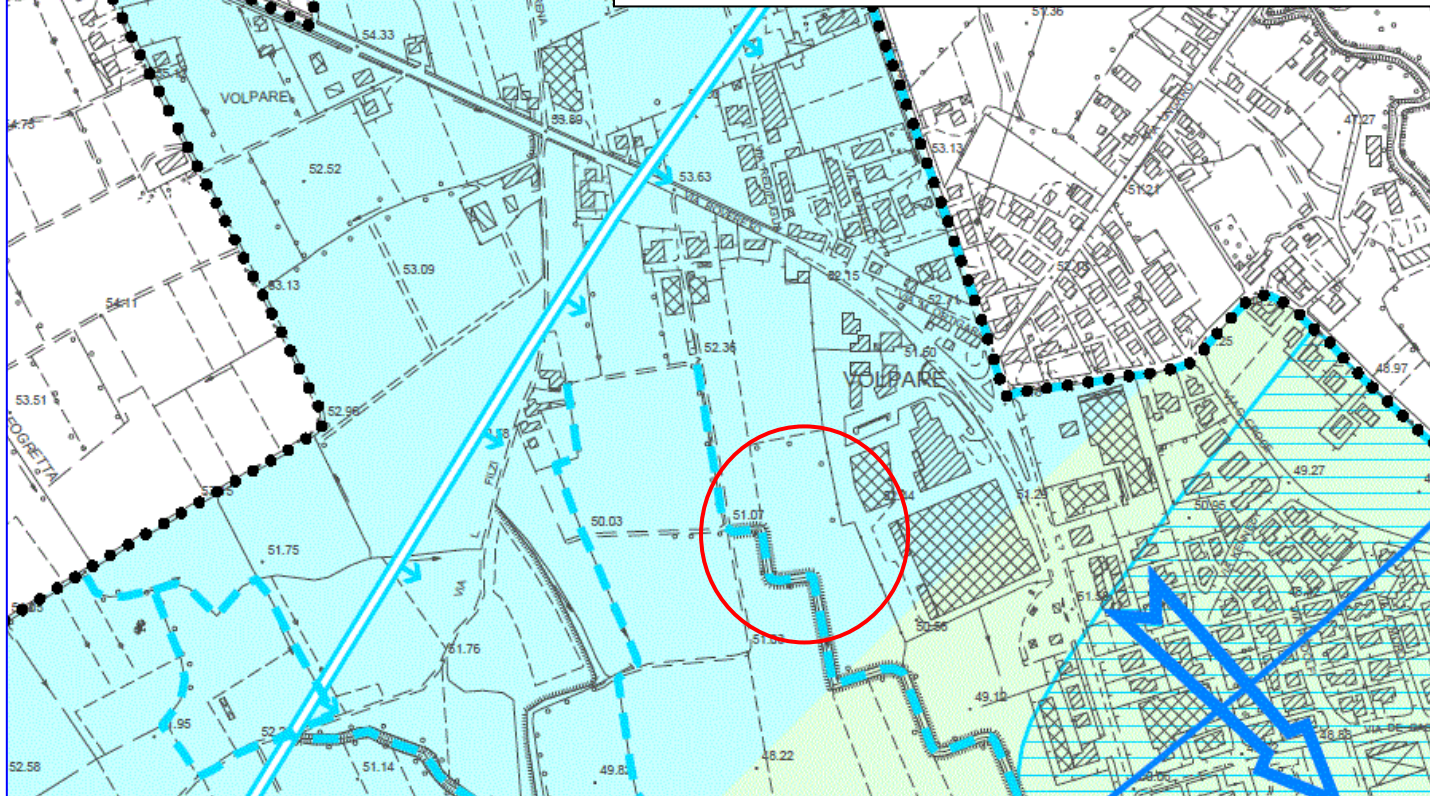
Dal punto di vista idrogeologico l'area è posta al di sotto della linea sup. delle risorgive, con falda prossima al p.c. : **dalle indagini eseguite risulta ad una profondità dell'ordine di 1 m dal p.c.**

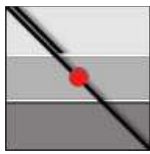
Dalla Carta Idrogeologica allegata al P.A.T. la falda risulterebbe compresa tra 2 e 5 m dal p.c. (**Fig. 5**)



Materiali alluvionali granulari più o meno addensati e/o fluvio-glaciali antichi
terrazzati a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa

Fig. 5 – PAT - Estratto CARTA IDROGEOLOGICA - elab. C 05-02-01





Area con profondità falda freatica compresa tra 2 e 5 m dal p.c.



Linea isofreatica e sua quota assoluta



Direzione di flusso della falda freatica



Limite superiore della linea delle risorgive

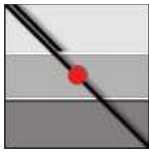
3 – INDAGINI IN SITO

Al fine di ottenere la caratterizzazione del sottosuolo interessato dalle opere di fondazione sono state eseguite alcune indagini geognostiche in sito, la cui ubicazione è presente in Allegato. Sulla base delle indicazioni geologiche e litostratigrafiche date dalla bibliografia esistente e derivate da indagini pregresse in aree limitrofe,

- **N° 4 Prove Penetrometriche "Statiche" (CPT),**
- **Caratterizzazione sismica del sottosuolo** tramite la tecnica passiva HVSR
- **N° 2 Prove di permeabilità** in foro di sondaggio.

3.1 – Prove penetrometriche - Descrizione della strumentazione utilizzata

Il funzionamento del Penetrometro Statico (CPT *Cone Penetration Test*) è basato sull'infissione di una punta metallica nel terreno tramite un pistone idraulico che spinge la batteria di aste, su cui è montata la punta stessa (*Punta tipo Begemann*), a velocità costante di 2 cm al secondo, con potenza di spinta variabile. L'attrezzatura può essere montata su veicoli che, tramite il peso proprio o l'ancoraggio al terreno a mezzo di elicoidi, forniscono il contrasto necessario alla spinta. Lo strumento posto alla base della batteria di aste è costituito da una punta conica e da un manicotto mobile posizionato immediatamente dietro il cono, che misurano rispettivamente la resistenza alla penetrazione di punta (R_p in Kg/cm^2) e la resistenza di attrito laterale (R_l in Kg/cm^2). Tali grandezze sono quantitativamente correlabili alle caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati. Dal rapporto di questi due valori (R_p/R_l) è possibile inoltre risalire alla stratigrafia del sottosuolo (*Begemann, 1966; Schmertmann, 1978*). La Prova Penetrometrica Statica è compresa negli standard ASTM e ISSMFE, oltre che nelle "*Raccomandazioni per le Indagini Geotecniche*



(1977)" dell'Associazione Geotecnica Italiana (AGI), ed è disponibile un'ampia letteratura sull'interpretazione dei dati sperimentali.

Nello specifico è stata utilizzato un Penetrometro Statico della ditta PAGANI, da 200 KgN (20 t) di spinta, con angolo di apertura della punta conica di 60°: le letture di *resistenza alla penetrazione di punta* (Rp) e *resistenza di attrito laterale* (Rl) sono state effettuate ogni 20 cm di infissione nel terreno.

3.1.1 – Modello geologico

La serie stratigrafica è stata indirettamente desunta, oltre che caratterizzata dal punto di vista geotecnico, utilizzando metodologie proposte da diversi Autori applicate ai risultati delle Prove Penetrometriche eseguite.

L'interpretazione dei risultati relativi alle Prove Penetrometriche Statiche (CPT) ha permesso una ricostruzione stratigrafica, sia tramite l'analisi del *Rapporto di Begemann Rp/Rl*, sia attraverso l'applicazione del *Metodo di Schmertmann*, il cui grafico è riportato a seguire (Fig. 6 - *Metodo di Schmertmann per la classificazione dei terreni da risultati di prove CPT con punta meccanica*).

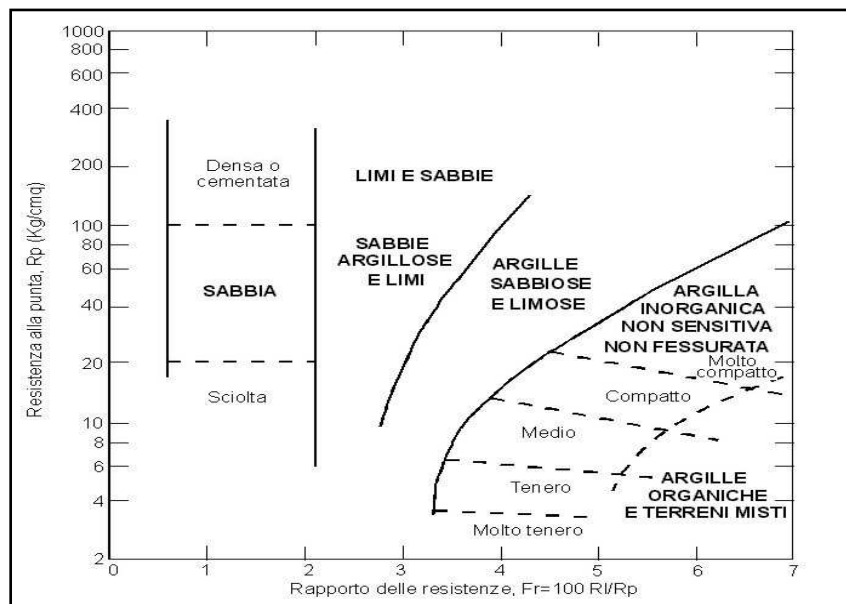
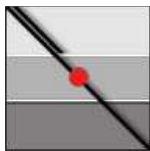


Fig. 6

Dal punto di vista geologico i terreni di natura alluvionale presenti nel sito oggetto d'indagine si presentano caratterizzati da una elevata variabilità sia in senso verticale, che in senso orizzontale, sulla base dei risultati ottenuti dalle Prove Penetrometriche Statiche (CPT):, i dati sperimentali evidenziano una prevalenza di sedimenti limoso – argillosi fino a circa 8-9 metri dal



p.c., a cui si intercalano sottili lenti di sabbie limose e sabbie; queste ultime tendono a divenire predominanti oltre i 10 m dal p.c..

Considerando le Prove Penetrometriche Statiche eseguite, ed in particolare la prova n° 2 presa come rappresentativa, il terreno indagato può essere suddiviso come sintetizzato nella Tabella seguente:

Profondità (m da p.c.)	Litologia correlata	Orizzonte	Rp media Kg/cm ²
0,00 - 5,20	Limo argilloso complessivamente poco consistente	A	5,4
5,20 - 8,60	Sabbia limosa	B	51,5
8,60 - 14,00	Sabbia debolmente ghiaiosa	C	223,8

3.1.2 - Falda d' acqua

La falda al momento dell' indagine è risultata alla profondità compresa tra 1,00 e 1,80 m dal p.c.

E' da sottolineare che si tratta non della profondità alla quale viene incontrata la falda, ma il livello misurato dopo la perforazione, ovvero il livello piezometrico raggiunto.

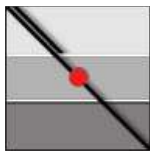
3.1.3 - Modello geotecnico (DM 14 gennaio 2008)

Con il passaggio dal *DM 11 marzo 1988* alle *Norme Tecniche per le Costruzioni* si sostituisce il concetto deterministico con quello probabilistico.

In particolare la vecchia normativa prevedeva l' utilizzo dei fattori di sicurezza intesi come riduzione del valore ultimo (da Q_{ult} a Q_{amm}) mentre le NTC adottano un' analisi probabilistica, più precisamente semiprobabilistica, che include l' utilizzo di FS parziali, applicati a valori cautelativi dei parametri di interesse.

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione del sito in esame sono stati utilizzati in particolare i risultati delle Prove Penetrometriche Statiche CPT 1 e CPT 2, prese a modello per i terreni limosi - argillosi, a cui si intercalano subordinatamente sabbie.

Dal punto di vista generale, per la valutazione delle caratteristiche meccaniche dei depositi di natura prevalentemente coesiva, limoso - argillosa, è stato utilizzato il *Metodo di Lunne ed Eide*, valido per argille di bassa, media ed alta plasticità e poco sensibili, che relaziona la Rp delle Prove Penetrometriche Statiche con la *Coesione non drenata* (C_u), secondo la formula:



$$C_u = R_p - \sigma'_v / N_k$$

R_p = Resistenza penetrometrica di punta (kg/cm^2);

σ'_v = Pressione verticale efficace alla profondità di calcolo (kg/cm^2);

N_k = fattore adimensionale.

Per la valutazione dell'angolo di attrito (Φ), relativamente agli orizzonti di natura granulare sabbioso-limosi, sono stati utilizzati alcuni metodi riferibili a diversi autori, dipendenti dal medesimo valore di R_p ottenuto nel corso delle prove penetrometriche statiche. Più precisamente sono state utilizzate le seguenti relazioni:

$$\text{De Beer: } V'b = 1.3 e^{2\pi \tan \Phi} \cdot \tan^2(45 + \Phi/2)$$

$$\text{Koppejan: } V'b = 1.3 e^{(2.5\pi - \Phi) \cdot \tan \Phi} \cdot [(1 - \sin \Phi)/(1 + \sin^2 \Phi)]$$

$$\text{Caquot: } V'b = 10^{3.04 \tan \Phi}$$

dove $V'b = R_p / \sigma'_v$ (kg/cm^2)

Il valore di progetto, X_d (C_{ud} e Φ_d nei vari stati limite) sarà quello da utilizzare nelle verifiche e sarà ricavato a partire da un valore caratteristico (X_k : calcolati con medie statistiche e con l'utilizzo di variabili aleatorie) al quale verrà applicato un fattore riduttivo γ_M (FS parziale) tabellato nelle Norme Tecniche.

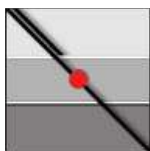
$$x_k = \bar{x} + t_{0,05}(n-1) \left(\frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$

I parametri di resistenza penetrometrica medi caratteristici derivati dall'indagine in sito sono di seguito illustrati, limitatamente ai vari orizzonti stratigrafici precedentemente individuati.

Per quanto riguarda un dato parametro il valore caratteristico corrisponde ad un valore al di sotto del quale ci si può attendere che si collochi non più del 5% dei valori ottenibili da una serie teoricamente illimitata di prove (5° percentile).

Facendo riferimento al modello geologico.- stratigrafico sopra indicato, sono stati utilizzati, per la verifica dei valori di Resistenza di Progetto, i seguenti parametri:

ORIZZONTE	Hs	Peso unità di Volume [kg/m^3]	Peso Unità di volume Saturo [kg/m^3]	c [kg/cm^2]	Fi (°)
A	5,20	1744	1824	0,30	0,00
B	3,40	1900	2200	0,00	32,00
C	5,40	1900	2200	0,00	34,00



3.2 - Caratterizzazione sismica del sottosuolo tramite la tecnica passiva HVSr

Scopi dell'indagine geofisica sono stati

- ✓ calcolare la profondità *bedrock sismico*;
- ✓ l'individuazione delle discontinuità sismiche superficiali;
- ✓ la determinazione della frequenza caratteristica di vibrazione del sito;
- ✓ stimare le velocità di propagazione delle onde sismiche fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni ($V_{s,30}$) per l'assegnazione della categoria del suolo di fondazione.

Al fine di verificare le velocità di propagazione delle onde Vs e per determinare la profondità del *bedrock sismico* è stata eseguita un'indagine geofisica mediante la tecnica di sismica passiva HVSr: da questa (v. allegato) è possibile attribuire al picco localizzato a circa 1,3 Hz il maggior contrasto sismico presente nel sito in esame (**frequenza caratteristica di risonanza di sito**).

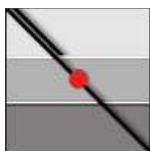
Frequenza fondamentale di risonanza registrata
1,31 ± 0,06 Hz

La ricostruzione sismo - stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 5 m dal p.c. locale caratterizzato da una Vs di ≈ 160 m/s mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato: Vs ≈ 230 m/s (vedi *modello sismo - stratigrafico interpretativo* riportato a seguire).

Si segnalano incrementi delle velocità di propagazione delle onde di taglio a circa 10 m dal p.c. locale (Vs ≈ 350 m/s) e a circa 33 m dal p.c. locale (Vs ≈ 500 m/s) probabilmente correlabili alla presenza di un materiale più o meno addensato di natura granulare.

L'ammasso roccioso più o meno compatto (Vs ≈ 800 m/s) o quel materiale che, dal punto di vista sismico, si comporta come un *bedrock geofisico* è individuabile a ≈ 100 m dal p.c. locale.

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

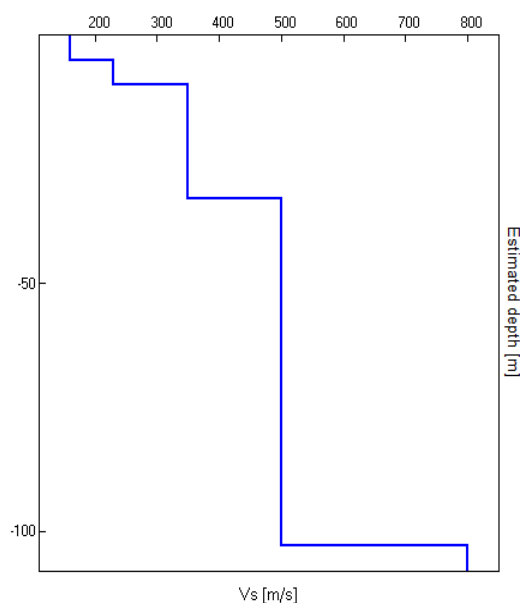


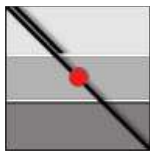
H.V.S.R.	Velocità di taglio [m/s]	Spessori (m)	Profondità (m)
I SISMOSTRATO	160	5	0,0 – 5
II SISMOSTRATO	230	5	5 – 10
III SISMOSTRATO	350	23	10 – 33
IV SISMOSTRATO	500	70	33 – \approx 100
V SISMOSTRATO	800	Semisp.	\approx 100 – Semisp.

È stato quindi possibile stimare la velocità delle onde Vs fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni come esplicitamente richiesto dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008*. A seguire si riportano i valori medi di Vs ipotizzando varie profondità delle future opere di fondazione:

Profondità piano di posa fondazioni	Vs,30
0 m da p.c.	Vs (0-30) \approx 272 m/s
1 m da p.c.	Vs (1-31) \approx 281 m/s
2 m da p.c.	Vs (2-32) \approx 290 m/s
3 m da p.c.	Vs (3-33) \approx 300 m/s

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal seguente studio, si ritiene opportuno inserire il sito in oggetto di studio nella **Categoria C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 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)).





3.2.1 – Coefficienti sismici

L'ordinanza del PCM 3274 del 20/03/2003 e il successivo DM 14 gennaio 2008 regolano l'analisi sismica locale: l'azione sismica di progetto per una determinata area è affrontata attraverso un'approccio "sito dipendente" (cfr. NTC 2008), a partire dalla pericolosità sismica di base (ovvero la probabilità che un'evento sismico di prefissata entità si verifichi nel sito entro un fissato intervallo di tempo, detto "periodo di riferimento").

L'azione sismica di progetto viene definita dai seguenti parametri definiti dalla normativa, tenendo conto sia della pericolosità sismica di base, sia dell'effetto della risposta sismica locale:

Vita Nominale: 50

Si tratta del numero di anni nel quale la struttura deve poter essere usata allo scopo al quale è destinata; il valore viene riferito ad "Opere Ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale".

Classe dell'edificio: II

Definisce la categoria d'uso dell'edificio e il grado di affollamento previsto; la Classe II è riferita ad "Costruzioni il cui uso prevede normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche o sociali essenziali....."

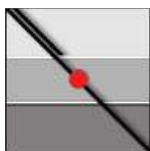
Coefficiente d'uso Cu: 1

Definisce l'importanza strategica della costruzione stessa ed è relativo alla Classe dell'edificio.

Categoria del suolo: C

Categoria topografica: T1

Definisce le caratteristiche topografiche dell'area in esame; La categoria T1 si riferisce ad "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$ ".



Stato Limite	Tr [anni]	a ₀ [g]	F ₀	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0,043	2,456	0,240
Danno (SLD)	50	0,058	2,500	0,252
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,162	2,404	0,286
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,210	2,437	0,288
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno
 Paratie

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss* Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,47	1,39
Cc* Coeff. funz categoria	1,68	1,65	1,59	1,58
St* Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

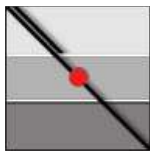
3.3 - Permeabilità dei terreni

Al fine di determinare la capacità di assorbimento dei terreni delle acque meteoriche superficiali, sono state eseguite N° 2 prove di permeabilità in altrettanti fori di sondaggio.

3.3.1 – modalità di esecuzione

La prova di permeabilità è stata eseguita, secondo le "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" A.G.I.-Giugno 1977, su un tratto di foro di sondaggio di diametro 0,05 m.

La prova è eseguita riempiendo d' acqua il foro e misurando, dopo saturazione del terreno, la velocità di abbassamento del livello in funzione del tempo (prova a carico variabile).



Per la valutazione del coefficiente di permeabilità si utilizzano formule empiriche, valide per un terreno omogeneo, isotropo, quali:

$$K = \frac{A}{C_L (t_2 - t_1)} * \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (\text{m s}^{-1})$$

dove:

A = area di base del foro di sondaggio

C_L = coefficiente di forma

t₂-t₁ = intervallo di tempo

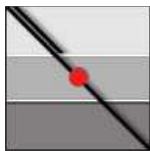
h₂-h₁ = variazione del livello di acqua nell'intervallo t₂-t₁

3.3.2. Risultati

In questo caso, come hanno dimostrato le prove stesse, durante le quali l' assorbimento è stato dell'ordine dei 4-5 cm ora, tali terreni si possono definire a "**bassissima permeabilità**": dalla bibliografia esistente, per tale materiale può essere stimata una permeabilità non superiore a 10⁻⁵ cm/sec

K (m/s)	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	
K (cm/s)		10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	
Drenaggio	<i>Buono</i>			<i>Povero</i>				<i>Praticamente impermeabile</i>					
	Ghiaia Pulita	Sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita			Sabbia fine, limi organici e inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati				Terreni impermeabili, argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici				

Grado di permeabilità	Valore di K	
	(m/s)	(cm/s)
<i>Alto</i>	$K > 10^{-3}$	$K > 10^{-1}$
<i>Medio</i>	$10^{-3} < K < 10^{-5}$	$10^{-1} < K < 10^{-3}$
<i>Basso</i>	$10^{-5} < K < 10^{-7}$	$10^{-3} < K < 10^{-5}$
<i>Molto basso</i>	$10^{-7} < K < 10^{-9}$	$10^{-5} < K < 10^{-7}$
<i>Impermeabile</i>	$K < 10^{-9}$	$K < 10^{-7}$



4 – INTERVENTO PREVISTO E STRUTTURE DI FONDAZIONE

Nell'area in oggetto è prevista la realizzazione di edificio commerciale, senza interrato.

In considerazione delle scarse caratteristiche geotecniche dei terreni superficiali, in rapporto ai carichi di progetto, ovvero degli eccessivi cedimenti potenzialmente indotti, risulta opportuno il ricorso a fondazioni profonde mediante PALI.

L'indagine eseguita ha verificato la presenza di un substrato resistente, rappresentato da sabbie, solo a partire da 8,00 – 9,00 m da p.c.: si consiglia l'utilizzo di pali PREFABBRICATI CILINDRICI o TRONCOCONICI.

Per la portanza dei pali si fa riferimento a quanto suggerito dalla normativa vigente e dalle raccomandazioni A.G.I. (dicembre 1984).

Relativamente alla verifica della portanza del palo, l'Ec7 prevede 2 metodi:

- “metodo pile”: utilizzo diretto di Q_c
- Metodo “alternative procedure”: prove in situ con misura dei parametri geotecnici del terreno.

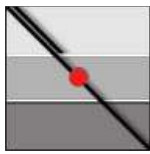
Il NTU (D.M. 14/01/2008) prevede per la verifica della portanza del palo il solo metodo “model pile” EC7, ovvero non si utilizzano i valori caratteristici delle proprietà del terreno, bensì i valori medi, allo scopo di ricavare una resistenza caratteristica del palo, secondo la seguente procedura:

- Si calcola la resistenza alla base e laterale tramite le solite formule, utilizzando i parametri medi di C_u , Φ e c' .
- Si trasforma la resistenza così calcolata in resistenza caratteristica, che è funzione del numero di verticali indagate (fattori ξ , tab. 7.3. III., ovvero TAB. 6.4. IV del N.T.U)

Tabella 6.4.IV – Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

La R_k si trasforma in R_d applicando i fattori di Tab. 7.3.1, a seconda della tipologia di pali, riportati anche nella tabella 6.4 II della bozza di revisione



Il valore di progetto R_d della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando i coefficienti parziali γ_R della Tab. 6.4.II.

CALCOLO DELLA RESISTENZA CARATTERISTICA DEL PALO R_k

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale ^(*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

^(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Il calcolo della portata utile Q_a del palo singolo viene generalmente svolto con la seguente relazione che considera il contributo della resistenza alla punta Q_p , di quella di attrito laterale Q_l e quello dovuto alla eventuale conicità Q_c del palo.

$$Q_a = Q_l + Q_c + Q_p - \text{Peso del palo} + \text{Volume palo immerso}$$

$$\text{con } Q_l = Q_{la} / F$$

$$Q_p = Q_{pa} / F$$

F: coefficiente di sicurezza

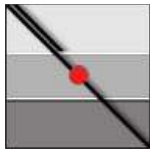
Esistono differenti metodi per la valutazione dei singoli contributi, determinati principalmente dalla differente modalità di misurazione dei vari parametri geotecnici.

Sono stati qui considerati i due principali metodi:

- utilizzo i parametri geotecnici secondo il metodo Classico di Terzaghi,
- utilizzo dei valori da Prove Penetrometriche Statiche CPT (Metodo α - CPT)

La PORTATA LATERALE Q_{lc} per ogni singolo concio Q_{lc} viene calcolata:

	Metodo Classico Terzaghi	Metodo α - CPT
In strati coesivi	$Q_{lc} = \alpha \times C_u \times A_l$	$Q_{lc} = \alpha \times C_u \times A_l$
In strati incoerenti	$Q_{lc} = k p' \tan \Phi A_l$	$Q_{lc} = A_l \times R_l$



con C_u = Coefficiente di coesione

R_l = resistenza laterale del concio (da lettura al penetrometro)

A_l = superficie laterale del palo nel concio

α = coefficiente riduttivo (Tomlison 1971)

k = coefficiente di spinta sul terreno

p' = pressione litostatica nel baricentro del concio

Φ = valore di attrito palo/terreno

da cui $Q_{la} = \Sigma Q_{lc}$

	Metodo Classico Terzaghi	Metodo α - CPT
In strati coesivi	$Q_{pa} = A_p(C_u N_c + p' N_q)$	$Q_{pa} = A_p \times R_p$
In strati incoerenti	$Q_{pa} = A_p p' N_q$	

Con A_p = superficie di punta

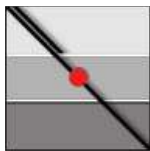
N_q, N_c = fattori adimensionali di capacità portante (funzione di Φ)

R_p = resistenza di punta del concio

Stima orientativa della portata dei pali

Per una **palo troncoconico** di lunghezza utile 10 metri, diametro punta 26 cm risulta una Resistenza Minima pari a: $R = 60$ tonnellate

Considerato il numero di verticali indagate, pari a 5, il valore di ξ risulta pari a 1,34 e la Resistenza caratteristica R_k risulta pertanto pari a circa 45 t/palo, mentre la Resistenza di Progetto R_d risulta dell'ordine di 30 t/palo



5 - OPERE DI URBANIZZAZIONE - STRUTTURE DI FONDAZIONE

Nell'area di intervento si pongono, per la realizzazione delle opere di urbanizzazione, due principali problemi:

- 1 – presenza di una falda molto superficiale, che può arrivare a – 0.,80 m dal p.c.
- 2 – presenza di terreni coesivi (argille limose), suscettibili di consolidazione nel tempo (cedimenti)

Circa l'eventuale abbassamento artificiale della falda, l'utilizzo del sistema tipo well point si renderà necessario, considerata la bassissima permeabilità dei terreni, solo per scavi di rilevanti dimensioni (abbassamento della falda superiore al metro ed aree superiori ai 10 x 10 m).

Per il dimensionamento delle opere stradali è da sottolineare che il sottofondo, dopo scotico del terreno agrario, è costituito da argilla limosa a modeste caratteristiche geotecniche: al materiale in questione è attribuibile, da prove su piastra eseguite in aree limitrofe e da dati di bibliografia, un valore di **indice C.B.R. compreso tra il 2 ed il 4% .**

6 - VALUTAZIONE DELLA COMPATIBILITA' GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

Per una visione più completa delle condizioni idrauliche del territorio in esame è stata analizzata la situazione della rete idrografica, allo stato attuale si è consultato la bibliografia attinente, in particolare si è fatto riferimento a:

Relazione del Progetto di Piano di Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Brenta – Bacchiglione;

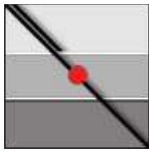
Piano Intercomunale di Protezione Civile, Comuni di Caldogeno –Costabissara -Isola V.na, Caldogeno;

PTCP - **Carta delle Fragilità - elaborato 2.1.B.**

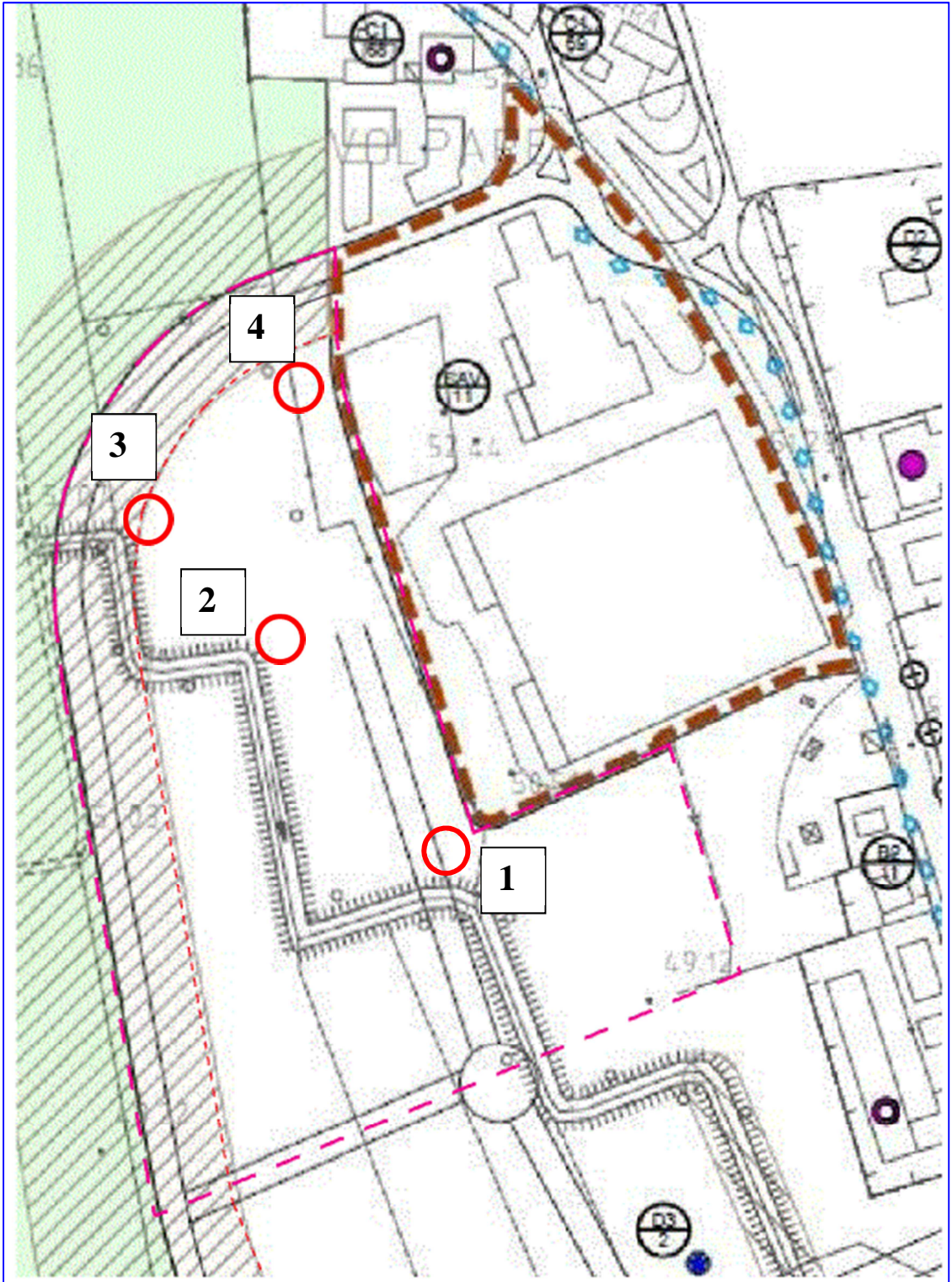
P.A.T. Comune di Costabissara, **Carta delle Fragilità - elaborato 3**

Come si evince dalle Carte sopra citate, **il sito in oggetto non è inserito nelle aree a pericolosità geologica ed idraulica come definito dal D.P.C.M. 29/10/98.**

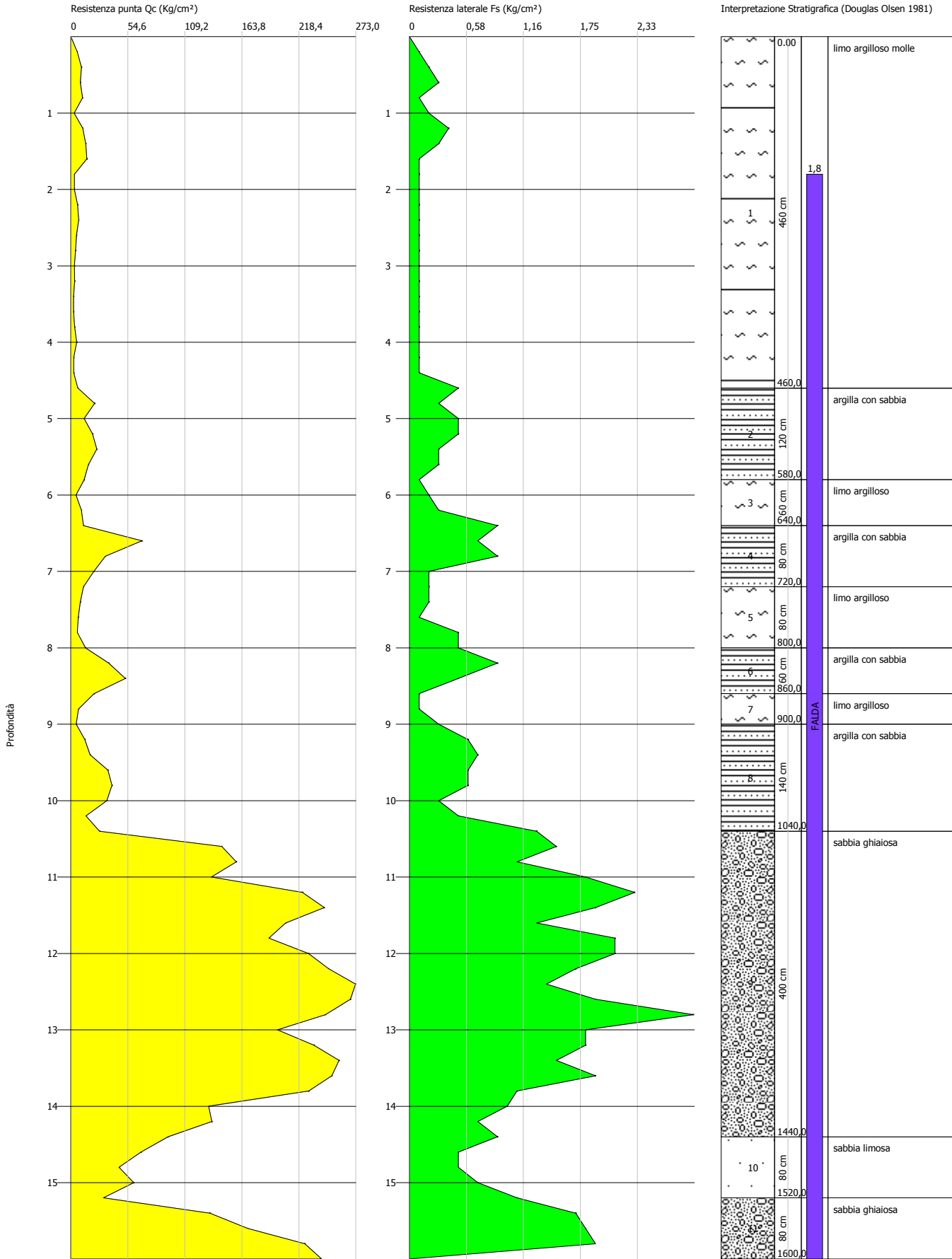
Dall'analisi della tipologia costruttiva e delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell' area, si possono trarre le seguenti conclusioni:

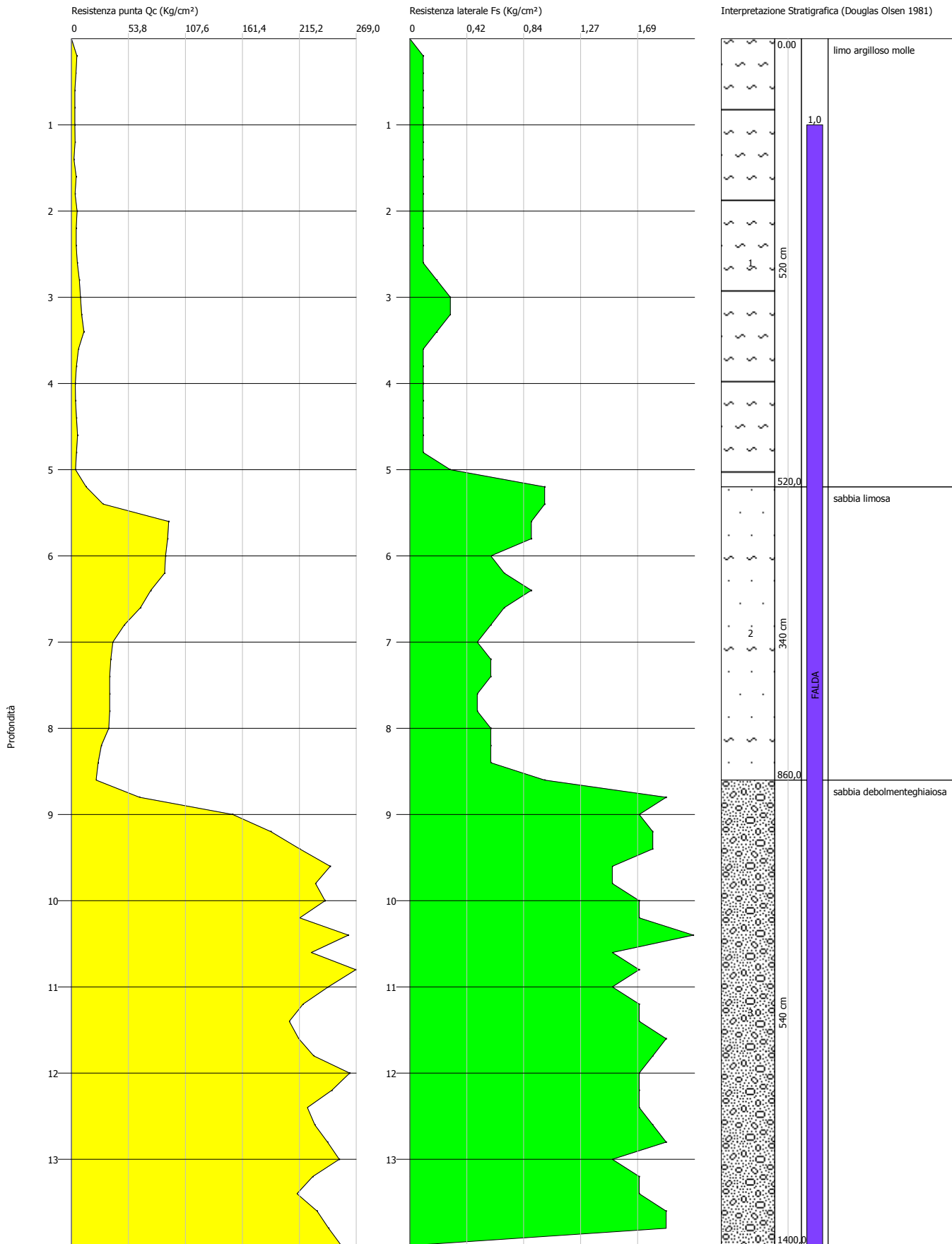


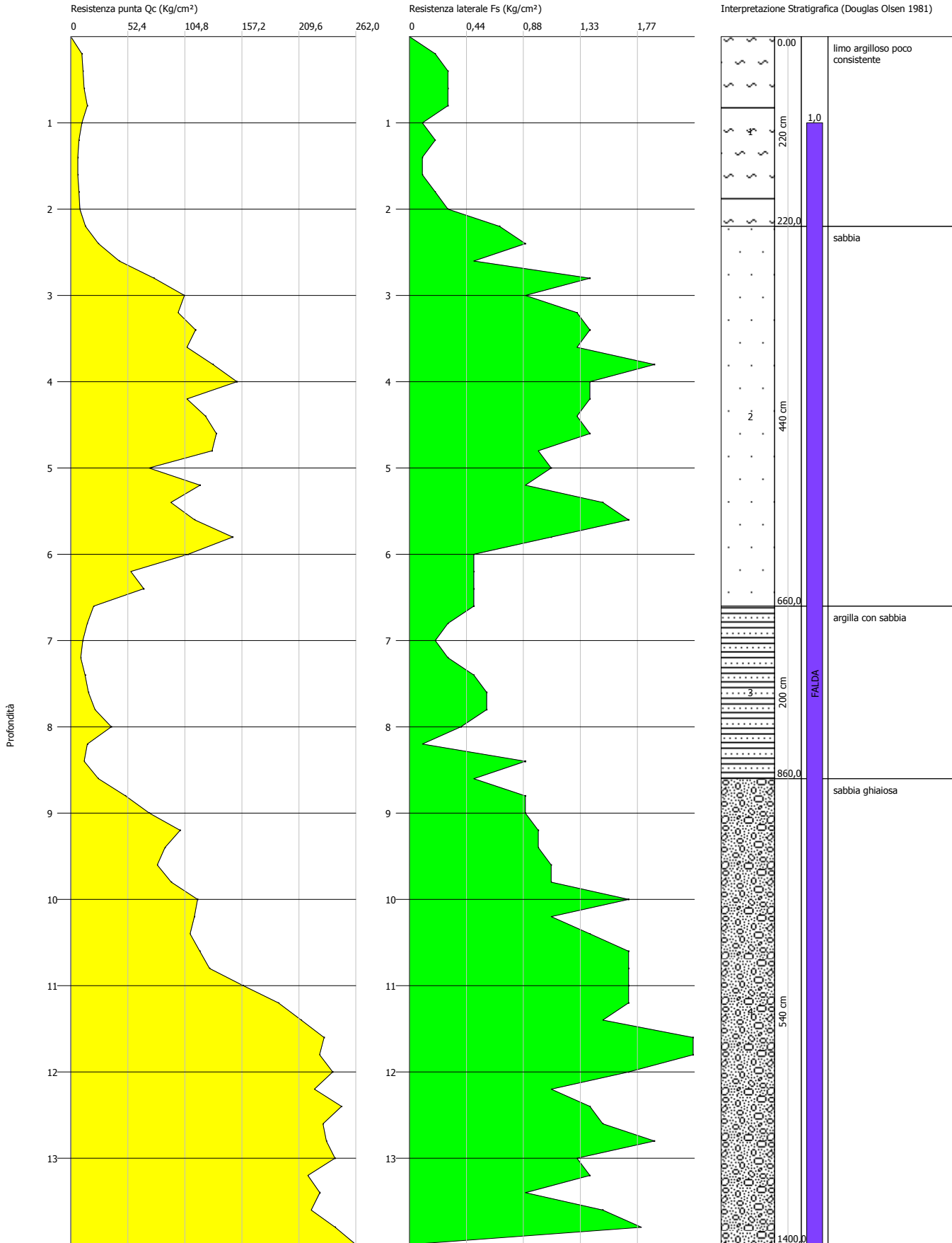
- l'indagine eseguita non ha rilevato motivi di ordine geologico, geomorfologico od idrogeologico sfavorevoli alle opere di progetto;
- non sussistono rischi di esondazioni o innalzamenti della falda tali da comportare rischi di ordine idrogeologico alle opere di progetto

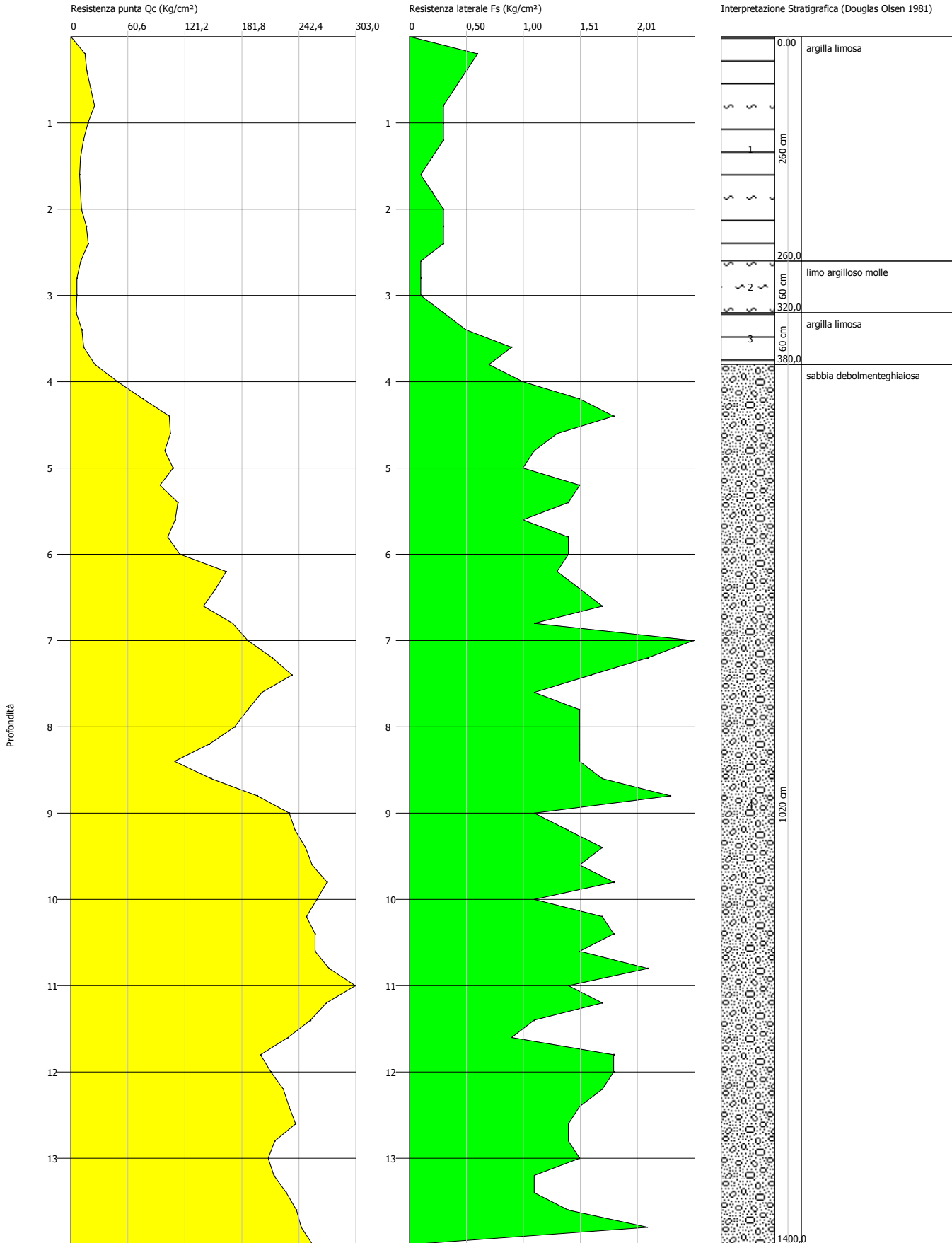


UBICAZIONE PROVE PENETROMETRICHE









PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: VA BENE s.r.l.
Cantiere: Costabissara
Località: Motta



CPT 1



CPT 2



CPT 3



CPT 4

Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 63 (200 kN)

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35,7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

PROVA N° 1

Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN) Prova eseguita in data 27/06/2011 Profondità prova 16,00 m Falda - 1,80 m

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	6,00	8,0	6,1	0,1	61,0	1,6
0,40	10,00	12,0	10,1	0,2	50,5	2,0
0,60	9,00	12,0	9,1	0,3	30,3	3,3
0,80	11,00	15,0	11,1	0,1	111,0	0,9
1,00	3,00	5,0	3,1	0,2	15,5	6,5
1,20	11,00	14,0	11,3	0,4	28,3	3,5
1,40	14,00	20,0	14,3	0,3	47,7	2,1
1,60	15,00	20,0	15,3	0,1	153,0	0,7
1,80	3,00	5,0	3,3	0,1	33,0	3,0
2,00	3,00	5,0	3,3	0,1	33,0	3,0
2,20	6,00	8,0	6,4	0,1	64,0	1,6
2,40	7,00	9,0	7,4	0,1	74,0	1,4
2,60	5,00	7,0	5,4	0,1	54,0	1,9
2,80	4,00	6,0	4,4	0,1	44,0	2,3
3,00	3,00	5,0	3,4	0,1	34,0	2,9
3,20	3,00	5,0	3,6	0,1	36,0	2,8
3,40	2,00	4,0	2,6	0,1	26,0	3,8
3,60	2,00	4,0	2,6	0,1	26,0	3,8
3,80	3,00	5,0	3,6	0,1	36,0	2,8
4,00	5,00	7,0	5,6	0,1	56,0	1,8
4,20	2,00	4,0	2,7	0,1	27,0	3,7
4,40	2,00	3,0	2,7	0,1	27,0	3,7
4,60	6,00	8,0	6,7	0,5	13,4	7,5
4,80	22,00	29,0	22,7	0,3	75,7	1,3
5,00	12,00	16,0	12,7	0,5	25,4	3,9
5,20	20,00	27,0	20,8	0,5	41,6	2,4
5,40	24,00	31,0	24,8	0,3	82,7	1,2
5,60	16,00	21,0	16,8	0,3	56,0	1,8
5,80	12,00	17,0	12,8	0,1	128,0	0,8
6,00	4,00	6,0	4,8	0,2	24,0	4,2
6,20	9,00	12,0	10,0	0,3	33,3	3,0
6,40	11,00	16,0	12,0	0,9	13,3	7,5
6,60	67,00	80,0	68,0	0,7	97,1	1,0
6,80	32,00	43,0	33,0	0,9	36,7	2,7
7,00	21,00	34,0	22,0	0,2	110,0	0,9
7,20	11,00	14,0	12,1	0,2	60,5	1,7
7,40	8,00	11,0	9,1	0,2	45,5	2,2
7,60	6,00	9,0	7,1	0,1	71,0	1,4
7,80	5,00	7,0	6,1	0,5	12,2	8,2
8,00	13,00	20,0	14,1	0,5	28,2	3,5
8,20	35,00	42,0	36,2	0,9	40,2	2,5
8,40	51,00	64,0	52,2	0,5	104,4	1,0
8,60	21,00	28,0	22,2	0,1	222,0	0,5
8,80	6,00	8,0	7,2	0,1	72,0	1,4
9,00	4,00	6,0	5,2	0,3	17,3	5,8
9,20	12,00	16,0	13,4	0,6	22,3	4,5
9,40	17,00	26,0	18,4	0,7	26,3	3,8
9,60	34,00	45,0	35,4	0,6	59,0	1,7
9,80	38,00	47,0	39,4	0,6	65,7	1,5
10,00	33,00	42,0	34,4	0,3	114,7	0,9
10,20	13,00	18,0	14,5	0,5	29,0	3,4
10,40	26,00	33,0	27,5	1,3	21,2	4,7
10,60	143,00	162,0	144,5	1,5	96,3	1,0
10,80	157,00	180,0	158,5	1,1	144,1	0,7
11,00	133,00	150,0	134,5	1,8	74,7	1,3
11,20	220,00	247,0	221,7	2,3	96,4	1,0
11,40	241,00	276,0	242,7	1,9	127,7	0,8
11,60	204,00	233,0	205,7	1,3	158,2	0,6
11,80	188,00	207,0	189,7	2,1	90,3	1,1
12,00	226,00	257,0	227,7	2,1	108,4	0,9
12,20	245,00	277,0	246,8	1,7	145,2	0,7
12,40	271,00	296,0	272,8	1,4	194,9	0,5
12,60	266,00	287,0	267,8	1,9	140,9	0,7
12,80	242,00	271,0	243,8	2,9	84,1	1,2
13,00	196,00	239,0	197,8	1,8	109,9	0,9
13,20	231,00	258,0	232,9	1,8	129,4	0,8
13,40	255,00	282,0	256,9	1,5	171,3	0,6

13,60	248,00	271,0	249,9	1,9	131,5	0,8
13,80	226,00	255,0	227,9	1,1	207,2	0,5
14,00	130,00	147,0	131,9	1,0	131,9	0,8
14,20	133,00	148,0	135,1	0,7	193,0	0,5
14,40	91,00	102,0	93,1	0,9	103,4	1,0
14,60	65,00	78,0	67,1	0,5	134,2	0,7
14,80	44,00	51,0	46,1	0,5	92,2	1,1
15,00	58,00	65,0	60,1	0,7	85,9	1,2
15,20	29,00	40,0	31,2	1,1	28,4	3,5
15,40	131,00	148,0	133,2	1,7	78,4	1,3
15,60	167,00	192,0	169,2	1,8	94,0	1,1
15,80	222,00	249,0	224,2	1,9	118,0	0,8
16,00	238,00	267,0	240,2	0,0		0,0

PROVA N° 2

Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN) Prova eseguita in data 27/06/2011 Profondità prova 14,00 m Falda - 1,00 m

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	5,00	7,0	5,1	0,1	51,0	2,0
0,40	4,00	6,0	4,1	0,1	41,0	2,4
0,60	3,00	5,0	3,1	0,1	31,0	3,2
0,80	3,00	5,0	3,1	0,1	31,0	3,2
1,00	3,00	5,0	3,1	0,1	31,0	3,2
1,20	3,00	5,0	3,3	0,1	33,0	3,0
1,40	2,00	4,0	2,3	0,1	23,0	4,3
1,60	4,00	6,0	4,3	0,1	43,0	2,3
1,80	3,00	5,0	3,3	0,1	33,0	3,0
2,00	5,00	7,0	5,3	0,1	53,0	1,9
2,20	4,00	6,0	4,4	0,1	44,0	2,3
2,40	4,00	6,0	4,4	0,1	44,0	2,3
2,60	5,00	7,0	5,4	0,1	54,0	1,9
2,80	7,00	9,0	7,4	0,2	37,0	2,7
3,00	8,00	11,0	8,4	0,3	28,0	3,6
3,20	9,00	13,0	9,6	0,3	32,0	3,1
3,40	11,00	16,0	11,6	0,2	58,0	1,7
3,60	6,00	9,0	6,6	0,1	66,0	1,5
3,80	4,00	6,0	4,6	0,1	46,0	2,2
4,00	3,00	5,0	3,6	0,1	36,0	2,8
4,20	3,00	5,0	3,7	0,1	37,0	2,7
4,40	4,00	6,0	4,7	0,1	47,0	2,1
4,60	5,00	7,0	5,7	0,1	57,0	1,8
4,80	4,00	6,0	4,7	0,1	47,0	2,1
5,00	3,00	5,0	3,7	0,3	12,3	8,1
5,20	13,00	18,0	13,8	1,0	13,8	7,2
5,40	29,00	44,0	29,8	1,0	29,8	3,4
5,60	91,00	106,0	91,8	0,9	102,0	1,0
5,80	90,00	103,0	90,8	0,9	100,9	1,0
6,00	88,00	101,0	88,8	0,6	148,0	0,7
6,20	87,00	96,0	88,0	0,7	125,7	0,8
6,40	74,00	85,0	75,0	0,9	83,3	1,2
6,60	64,00	77,0	65,0	0,7	92,9	1,1
6,80	49,00	60,0	50,0	0,6	83,3	1,2
7,00	38,00	47,0	39,0	0,5	78,0	1,3
7,20	36,00	44,0	37,1	0,6	61,8	1,6
7,40	35,00	44,0	36,1	0,6	60,2	1,7
7,60	35,00	44,0	36,1	0,5	72,2	1,4
7,80	35,00	42,0	36,1	0,5	72,2	1,4
8,00	34,00	41,0	35,1	0,6	58,5	1,7
8,20	27,00	36,0	28,2	0,6	47,0	2,1
8,40	24,00	33,0	25,2	0,6	42,0	2,4
8,60	22,00	31,0	23,2	1,0	23,2	4,3
8,80	63,00	78,0	64,2	1,9	33,8	3,0
9,00	151,00	180,0	152,2	1,7	89,5	1,1
9,20	187,00	212,0	188,4	1,8	104,7	1,0
9,40	214,00	241,0	215,4	1,8	119,7	0,8

9,60	243,00	270,0	244,4	1,5	162,9	0,6
9,80	229,00	252,0	230,4	1,5	153,6	0,7
10,00	238,00	261,0	239,4	1,7	140,8	0,7
10,20	214,00	239,0	215,5	1,7	126,8	0,8
10,40	260,00	285,0	261,5	2,1	124,5	0,8
10,60	225,00	256,0	226,5	1,5	151,0	0,7
10,80	267,00	290,0	268,5	1,7	157,9	0,6
11,00	241,00	266,0	242,5	1,5	161,7	0,6
11,20	217,00	240,0	218,7	1,7	128,6	0,8
11,40	204,00	229,0	205,7	1,7	121,0	0,8
11,60	213,00	238,0	214,7	1,9	113,0	0,9
11,80	227,00	256,0	228,7	1,8	127,1	0,8
12,00	261,00	288,0	262,7	1,7	154,5	0,6
12,20	244,00	269,0	245,8	1,7	144,6	0,7
12,40	221,00	246,0	222,8	1,7	131,1	0,8
12,60	228,00	253,0	229,8	1,8	127,7	0,8
12,80	240,00	267,0	241,8	1,9	127,3	0,8
13,00	251,00	280,0	252,8	1,5	168,5	0,6
13,20	226,00	249,0	227,9	1,7	134,1	0,7
13,40	211,00	236,0	212,9	1,7	125,2	0,8
13,60	230,00	255,0	231,9	1,9	122,1	0,8
13,80	241,00	270,0	242,9	1,9	127,8	0,8
14,00	253,00	282,0	254,9	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
5,20	5,4	0,2	1,7	Coesivo	limo argilloso molle
8,60	51,5	0,7	2,1	Incoerente	sabbia limosa
14,00	223,8	1,7	2,4	Incoerente	sabbia debolmente ghiaiosa

PROVA N° 3

Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN) Prova eseguita in data 27/06/2011 Profondità prova 14,00 m Falda - 1,00 m

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	10,00	14,0	10,1	0,2	50,5	2,0
0,40	11,00	14,0	11,1	0,3	37,0	2,7
0,60	12,00	17,0	12,1	0,3	40,3	2,5
0,80	15,00	20,0	15,1	0,3	50,3	2,0
1,00	10,00	14,0	10,1	0,1	101,0	1,0
1,20	7,00	9,0	7,3	0,2	36,5	2,7
1,40	6,00	9,0	6,3	0,1	63,0	1,6
1,60	6,00	8,0	6,3	0,1	63,0	1,6
1,80	7,00	9,0	7,3	0,2	36,5	2,7
2,00	8,00	11,0	8,3	0,3	27,7	3,6
2,20	13,00	18,0	13,4	0,7	19,1	5,2
2,40	25,00	36,0	25,4	0,9	28,2	3,5
2,60	44,00	57,0	44,4	0,5	88,8	1,1
2,80	76,00	83,0	76,4	1,4	54,6	1,8
3,00	104,00	125,0	104,4	0,9	116,0	0,9
3,20	98,00	111,0	98,6	1,3	75,8	1,3
3,40	114,00	133,0	114,6	1,4	81,9	1,2
3,60	106,00	127,0	106,6	1,3	82,0	1,2
3,80	130,00	149,0	130,6	1,9	68,7	1,5
4,00	152,00	181,0	152,6	1,4	109,0	0,9
4,20	106,00	127,0	106,7	1,4	76,2	1,3
4,40	123,00	144,0	123,7	1,3	95,2	1,1
4,60	133,00	152,0	133,7	1,4	95,5	1,0
4,80	129,00	150,0	129,7	1,0	129,7	0,8
5,00	71,00	86,0	71,7	1,1	65,2	1,5
5,20	118,00	135,0	118,8	0,9	132,0	0,8
5,40	91,00	104,0	91,8	1,5	61,2	1,6
5,60	113,00	136,0	113,8	1,7	66,9	1,5
5,80	148,00	173,0	148,8	1,1	135,3	0,7

6,00	107,00	124,0	107,8	0,5	215,6	0,5
6,20	54,00	61,0	55,0	0,5	110,0	0,9
6,40	66,00	73,0	67,0	0,5	134,0	0,7
6,60	20,00	27,0	21,0	0,5	42,0	2,4
6,80	14,00	21,0	15,0	0,3	50,0	2,0
7,00	10,00	14,0	11,0	0,2	55,0	1,8
7,20	8,00	11,0	9,1	0,3	30,3	3,3
7,40	12,00	17,0	13,1	0,5	26,2	3,8
7,60	15,00	22,0	16,1	0,6	26,8	3,7
7,80	21,00	30,0	22,1	0,6	36,8	2,7
8,00	36,00	45,0	37,1	0,4	92,8	1,1
8,20	14,00	20,0	15,2	0,1	152,0	0,7
8,40	11,00	13,0	12,2	0,9	13,6	7,4
8,60	24,00	37,0	25,2	0,5	50,4	2,0
8,80	49,00	56,0	50,2	0,9	55,8	1,8
9,00	71,00	84,0	72,2	0,9	80,2	1,2
9,20	99,00	112,0	100,4	1,0	100,4	1,0
9,40	85,00	100,0	86,4	1,0	86,4	1,2
9,60	78,00	93,0	79,4	1,1	72,2	1,4
9,80	91,00	108,0	92,4	1,1	84,0	1,2
10,00	115,00	132,0	116,4	1,7	68,5	1,5
10,20	112,00	137,0	113,5	1,1	103,2	1,0
10,40	108,00	125,0	109,5	1,4	78,2	1,3
10,60	117,00	138,0	118,5	1,7	69,7	1,4
10,80	126,00	151,0	127,5	1,7	75,0	1,3
11,00	157,00	182,0	158,5	1,7	93,2	1,1
11,20	189,00	214,0	190,7	1,7	112,2	0,9
11,40	210,00	235,0	211,7	1,5	141,1	0,7
11,60	231,00	254,0	232,7	2,2	105,8	0,9
11,80	227,00	260,0	228,7	2,2	104,0	1,0
12,00	239,00	272,0	240,7	1,7	141,6	0,7
12,20	222,00	247,0	223,8	1,1	203,5	0,5
12,40	247,00	264,0	248,8	1,4	177,7	0,6
12,60	230,00	251,0	231,8	1,5	154,5	0,6
12,80	233,00	256,0	234,8	1,9	123,6	0,8
13,00	241,00	270,0	242,8	1,3	186,8	0,5
13,20	216,00	235,0	217,9	1,4	155,6	0,6
13,40	227,00	248,0	228,9	0,9	254,3	0,4
13,60	219,00	232,0	220,9	1,5	147,3	0,7
13,80	241,00	264,0	242,9	1,8	134,9	0,7
14,00	260,00	287,0	261,9	0,0		0,0

PROVA N° 4

Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN) Prova eseguita in data 27/06/2011 Profondità prova 14,00 m

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	15,00	20,0	15,1	0,6	25,2	4,0
0,40	17,00	26,0	17,1	0,5	34,2	2,9
0,60	21,00	28,0	21,1	0,4	52,8	1,9
0,80	25,00	31,0	25,1	0,3	83,7	1,2
1,00	18,00	23,0	18,1	0,3	60,3	1,7
1,20	13,00	18,0	13,3	0,3	44,3	2,3
1,40	10,00	14,0	10,3	0,2	51,5	1,9
1,60	9,00	12,0	9,3	0,1	93,0	1,1
1,80	10,00	12,0	10,3	0,2	51,5	1,9
2,00	11,00	14,0	11,3	0,3	37,7	2,7
2,20	16,00	21,0	16,4	0,3	54,7	1,8
2,40	18,00	23,0	18,4	0,3	61,3	1,6
2,60	10,00	15,0	10,4	0,1	104,0	1,0
2,80	6,00	8,0	6,4	0,1	64,0	1,6
3,00	6,00	8,0	6,4	0,1	64,0	1,6
3,20	5,00	7,0	5,6	0,3	18,7	5,4
3,40	11,00	15,0	11,6	0,5	23,2	4,3
3,60	13,00	20,0	13,6	0,9	15,1	6,6

3,80	25,00	38,0	25,6	0,7	36,6	2,7
4,00	49,00	60,0	49,6	1,0	49,6	2,0
4,20	76,00	91,0	76,7	1,5	51,1	2,0
4,40	104,00	127,0	104,7	1,8	58,2	1,7
4,60	105,00	132,0	105,7	1,3	81,3	1,2
4,80	99,00	118,0	99,7	1,1	90,6	1,1
5,00	108,00	125,0	108,7	1,0	108,7	0,9
5,20	94,00	109,0	94,8	1,5	63,2	1,6
5,40	113,00	136,0	113,8	1,4	81,3	1,2
5,60	110,00	131,0	110,8	1,0	110,8	0,9
5,80	102,00	117,0	102,8	1,4	73,4	1,4
6,00	115,00	136,0	115,8	1,4	82,7	1,2
6,20	164,00	185,0	165,0	1,3	126,9	0,8
6,40	153,00	172,0	154,0	1,5	102,7	1,0
6,60	140,00	163,0	141,0	1,7	82,9	1,2
6,80	171,00	196,0	172,0	1,1	156,4	0,6
7,00	187,00	204,0	188,0	2,5	75,2	1,3
7,20	213,00	250,0	214,1	2,1	102,0	1,0
7,40	234,00	265,0	235,1	1,6	146,9	0,7
7,60	202,00	226,0	203,1	1,1	184,6	0,5
7,80	187,00	204,0	188,1	1,5	125,4	0,8
8,00	173,00	196,0	174,1	1,5	116,1	0,9
8,20	146,00	169,0	147,2	1,5	98,1	1,0
8,40	109,00	132,0	110,2	1,5	73,5	1,4
8,60	148,00	171,0	149,2	1,7	87,8	1,1
8,80	197,00	222,0	198,2	2,3	86,2	1,2
9,00	231,00	266,0	232,2	1,1	211,1	0,5
9,20	237,00	254,0	238,4	1,4	170,3	0,6
9,40	248,00	269,0	249,4	1,7	146,7	0,7
9,60	255,00	280,0	256,4	1,5	170,9	0,6
9,80	271,00	294,0	272,4	1,8	151,3	0,7
10,00	260,00	287,0	261,4	1,1	237,6	0,4
10,20	249,00	266,0	250,5	1,7	147,4	0,7
10,40	258,00	283,0	259,5	1,8	144,2	0,7
10,60	258,00	285,0	259,5	1,5	173,0	0,6
10,80	273,00	296,0	274,5	2,1	130,7	0,8
11,00	301,00	332,0	302,5	1,4	216,1	0,5
11,20	270,00	291,0	271,7	1,7	159,8	0,6
11,40	253,00	278,0	254,7	1,1	231,5	0,4
11,60	229,00	246,0	230,7	0,9	256,3	0,4
11,80	200,00	213,0	201,7	1,8	112,1	0,9
12,00	211,00	238,0	212,7	1,8	118,2	0,8
12,20	224,00	251,0	225,8	1,7	132,8	0,8
12,40	230,00	255,0	231,8	1,5	154,5	0,6
12,60	237,00	260,0	238,8	1,4	170,6	0,6
12,80	215,00	236,0	216,8	1,4	154,9	0,6
13,00	208,00	229,0	209,8	1,5	139,9	0,7
13,20	214,00	237,0	215,9	1,1	196,3	0,5
13,40	227,00	244,0	228,9	1,1	208,1	0,5
13,60	238,00	255,0	239,9	1,4	171,4	0,6
13,80	243,00	264,0	244,9	2,1	116,6	0,9
14,00	255,00	286,0	256,9	0,0		0,0

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI –PROVA N° 2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 1	5,20	5,4	0,2	0,4	0,3	Terzaghi	0,3

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Eed (Kg/cm ²)
--	---------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	--	------------------------------

				totale (Kg/cm ²)		
Strato 1	5,20	5,4	0,2	0,4	0,3	29,1

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	5,20	5,4	0,2	0,4	0,3	Meyerhof	1,7

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	5,20	5,4	0,2	0,4	0,3	Meyerhof	1,8

Velocità onde di taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 1	5,20	5,4	0,2	0,4	0,3	Jamiolkowski et al 1985	186,1

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 2	8,60	51,5	0,7	1,2	0,7	Harman	59,5
Strato 3	14,00	223,8	1,7	2,2	1,2	Harman	95,0

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	8,60	51,5	0,7	1,2	0,7	Schmertmann	32
Strato 3	14,00	223,8	1,7	2,2	1,2	Schmertmann	34

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 2	8,60	51,5	0,7	1,2	0,7	Buisman -	77,3
Strato 3	14,00	223,8	1,7	2,2	1,2	Buisman -	335,7

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 2	8,60	51,5	0,7	1,2	0,7	Meyerhof	1,9
Strato 3	14,00	223,8	1,7	2,2	1,2	Meyerhof	1,9

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 2	8,60	51,5	0,7	1,2	0,7	Meyerhof	2,2
Strato 3	14,00	223,8	1,7	2,2	1,2	Meyerhof	2,2



REGIONE DEL VENETO

Provincia di Vicenza



Caratterizzazione geofisica del sottosuolo tramite la tecnica sismica H.V.S.R.

Strada Statale Pasubio - Comune di Costabissara (VI)

Committente:
Dr. Geol. UMBERTO PIVETTA

Data: luglio 2011



Dr. Geol. Matteo Collareda

INDICE

1.	PREMESSE	3
2.	CENNI TEORICI E STUMETAZIONE UTILIZZATA	3
3.	EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA	5
4.	INTERPRETAZIONE DELLA MISURA ESEGUITA	7
5.	MODELLO SISMICO LOCALE	9

ALLEGATO

-  Misura sismica H.V.S.R.

BIBLIOGRAFIA

1. PREMESSE

Il giorno 7 luglio 2011 è stata condotta un'indagine geofisica nei pressi della Strada Statale Pasubio nel Comune di Costabissara (VICENZA) su incarico del Dr. Geol. Umberto Pivetta (Fig. 1 - Corografia alla scala 1:25.000, estratto da I.G.M.).

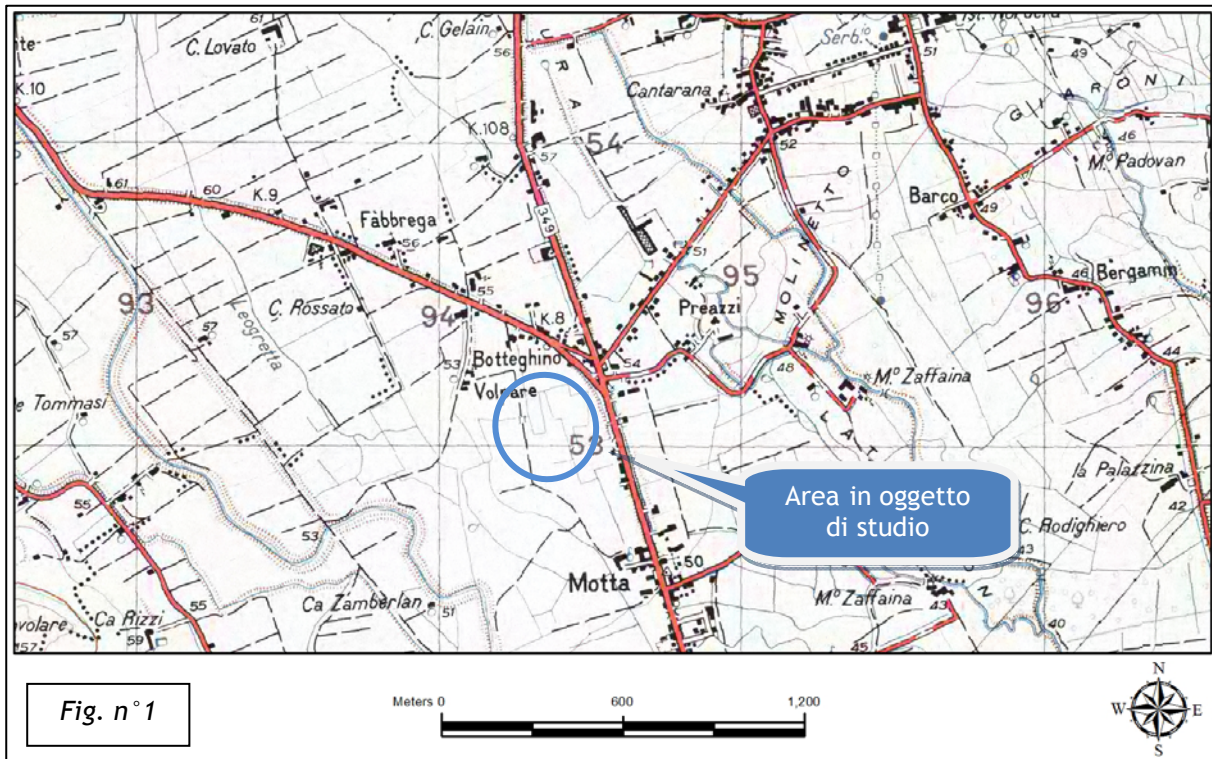


Fig. 1 - Corografia alla scala 1:25.000, estratto da I.G.M.

Lo scopo di quest'indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la profondità del *bedrock geofisico*. Saranno inoltre stimate le velocità di propagazione delle onde di taglio ($V_s,30$) come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14-01-2008*) e le frequenze di vibrazione del terreno. A tal fine è stata eseguita una registrazione di rumore sismico ambientale in seguito elaborata con la tecnica di Nakamura (H.V.S.R.). L'esatta ubicazione della misura effettuata è stata ottenuta tramite un posizionatore GPS interno alla strumentazione geofisica utilizzata e di seguito riportata in gradi e minuti con decimali secondo lo standard WGS-84 e ED50 :

Latitudine	Longitudine
45.60218° N (WGS-84)	11.49117° E (WGS-84)
45.603090° N (ED50)	11.492179° E (ED50)

2. CENNI TEORICI E STUMETAZIONE UTILIZZATA

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 pericoloso 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 H.V.S.R. si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

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

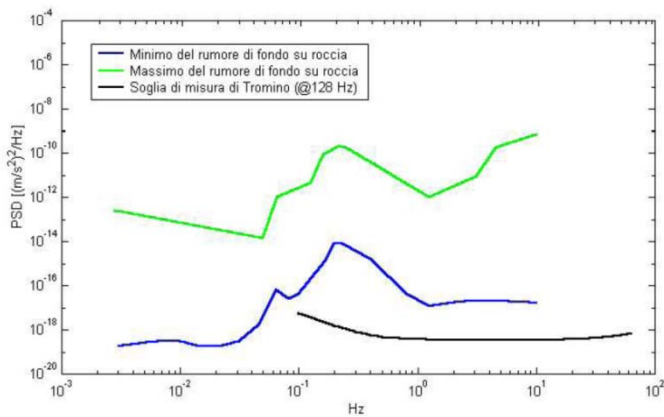
Possiamo scrivere questo come:

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

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, H.V.S.R. 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 ENGY - PLUS" 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 due terne velocimetriche con i sensori ortogonali tra loro e con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. Nella figura seguente 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.





Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (H.V.S.R.) basati sulla simulazione del campo d'onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). Operativamente si costruisce un modello teorico H.V.S.R. avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita. Successivamente, tramite uno specifico

algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale; in questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs. *Per eseguire la procedura sopra descritta in maniera univoca è necessario conoscere la profondità di un riflettore acustico individuabile nello spettro sismico registrato.*

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, a dir poco, 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.

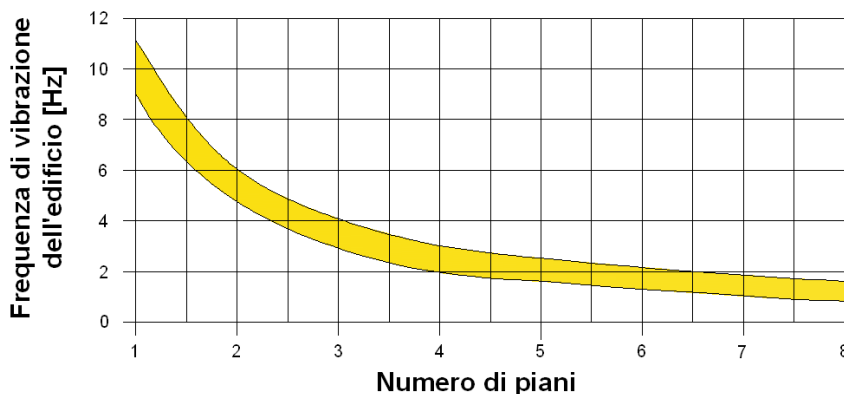


Figura - Frequenza di vibrazione degli edifici rapportata al numero di piani

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

$$\hat{v}_s = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}} \quad [3.5]$$

- V_s = valore di velocità delle onde di taglio [m/s];
- H = profondità alla quale si desidera stimare V_s [m] (30 m in caso di $V_{s,30}$);
- h_i = spessore dello strato i - esimo [m];
- v_i = velocità delle onde V_s 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

4. INTERPRETAZIONE DELLA MISURA ESEGUITA

Nel caso specifico del sito in esame, si è cercato di correlare i valori di picco dello spettro di risposta H.V.S.R. 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.

Sapendo che i valori di picco sono proporzionali ai contrasti di rigidità e utilizzando le informazioni lito - stratigrafiche ricavate dalle prove penetrometriche effettuate nei pressi del punto indagato, si è estrapolata una stratigrafia geofisica del sottosuolo (*Fig. n°2 - Ubicazione prova in sito*).

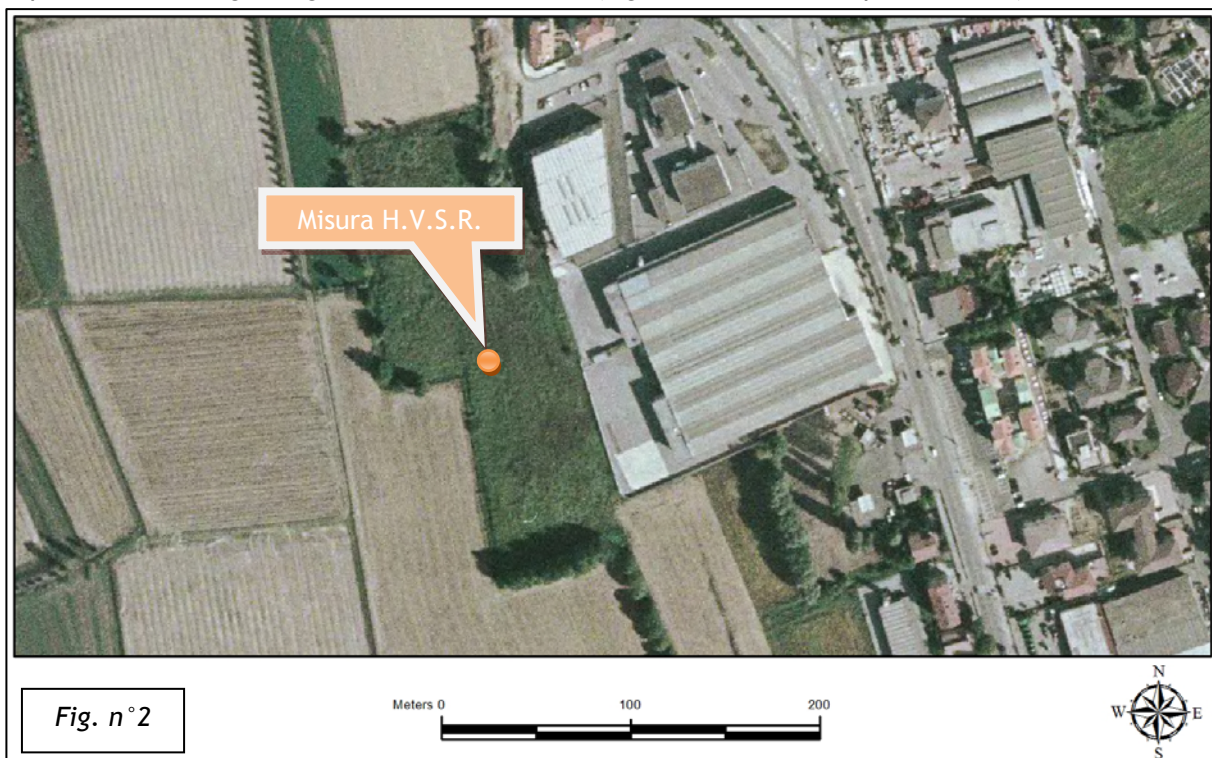


Fig. n°2

Fig. n°2 - Ubicazione prova in sito

La frequenza fondamentale di risonanza di sito, caratterizzata da un rapporto H/V di circa 3,5, è risultata di $\approx 1,3$ Hz.

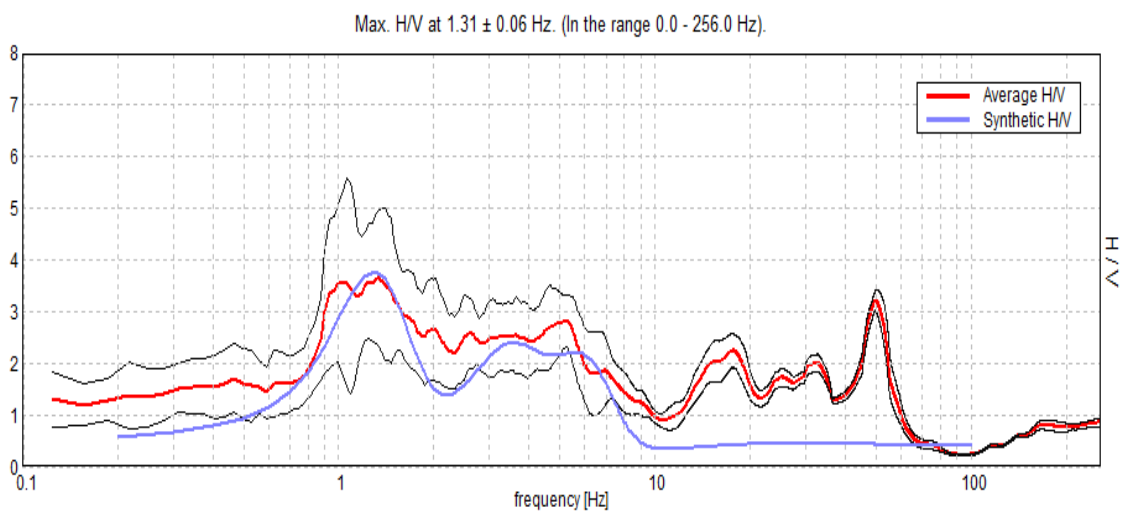
Frequenza fondamentale di risonanza di sito

$1,31 \pm 0,06$ Hz

Si ritiene importante, vista l'ampiezza dei picchi spettrali registrati, considerare la finestra frequenziale di circa 0,8 - 6 Hz come *range* di possibili valori di vibrazione del terreno in caso di evento sismico di magnitudo rilevante poiché d'interesse ingegneristico - strutturale.

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 del terreno poiché il rapporto H/V calcolato è tale da ipotizzare un fattore di amplificazione del moto sismico in superficie.



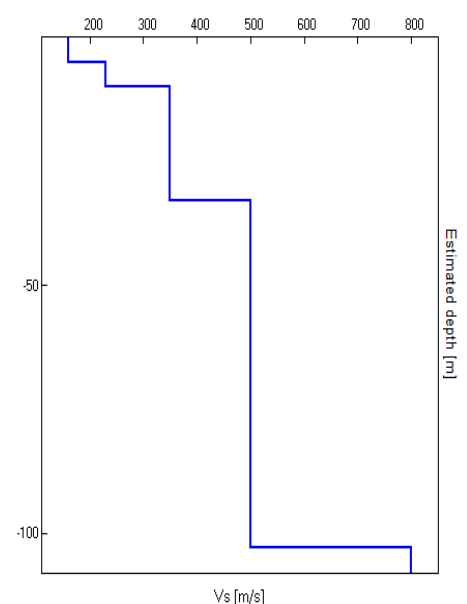
La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo

La ricostruzione sismo - stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 5 m dal p.c. locale caratterizzato da una V_s di ≈ 160 m/s mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato: $V_s \approx 230$ m/s (vedi *modello sismo - stratigrafico interpretativo* riportato a seguire).

Si segnalano incrementi delle velocità di propagazione delle onde di taglio a circa 10 m dal p.c. locale ($V_s \approx 350$ m/s) e a circa 33 m dal p.c. locale ($V_s \approx 500$ m/s) probabilmente correlabili alla presenza di un materiale più o meno addensato di natura granulare.

L'ammasso roccioso più o meno compatto ($V_s \approx 800$ m/s) o quel materiale che, dal punto di vista sismico, si comporta come un *bedrock geofisico* è individuabile a ≈ 100 m dal p.c. locale.

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



Misura H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	160	5	0,0 - 5
II SISMOSTRATO	230	5	5 - 10
III SISMOSTRATO	350	23	10 - 33
IV SISMOSTRATO	500	70	33 - ≈ 100
V SISMOSTRATO	800	Semisp.	≈ 100 - Semisp.

Nella tabella seguente s'illustra la qualità del segnale acquisito in base al progetto [SESAME](#) (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva H.V.S.R. 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 1,31 Hz soddisfa tutti i criteri e può pertanto essere assunto come frequenza fondamentale di risonanza del sito.

Max. H/V at 1.31 ± 0.06 Hz (in the range 0.0 - 256.0 Hz).			
Criteria for a reliable H.V.S.R. curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.31 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	525.0 > 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 $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 38	OK	
Criteria for a clear H.V.S.R. peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.781 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	3.65 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01974 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.02591 < 0.13125	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.5849 < 1.78	OK	

5. MODELLO SISMICO LOCALE

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 delle fondazioni.

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>Depositi 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>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di 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 $10 < cu_{,30} < 20$ 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

La stima, tramite la formula [3.5] del parametro $V_{s,30}$, è stata effettuata, come esplicitamente richiesto dalle N.T.C. del 14 gennaio 2008, per l'assegnazione della categoria di sottosuolo. Dall'indagine sismica effettuata e dal modello sismico ricavato è stato possibile calcolare le velocità di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni. A seguire si riportano i valori di $V_{s,30}$ ipotizzando varie profondità delle fondazioni:

Profondità piano di posa fondazioni	$V_{s,30}$
0 m da p.c.	$V_s(0-30) \approx 272$ m/s
1 m da p.c.	$V_s(1-31) \approx 281$ m/s
2 m da p.c.	$V_s(2-32) \approx 290$ m/s
3 m da p.c.	$V_s(3-33) \approx 300$ 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 C, così definita:

Categoria C - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente 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 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)

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.

Isola Vicentina, luglio 2011



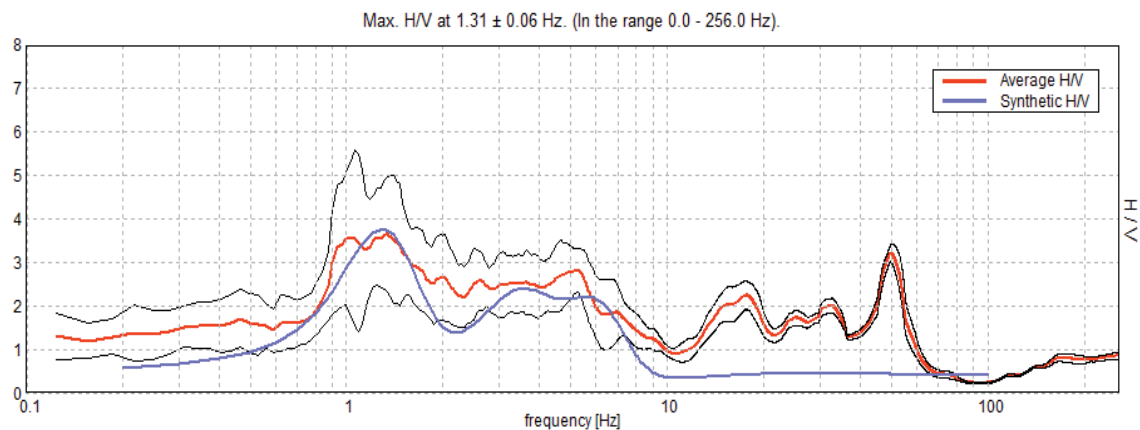
Dr. Geol. MATTEO COLLAREDA

ALLEGATO

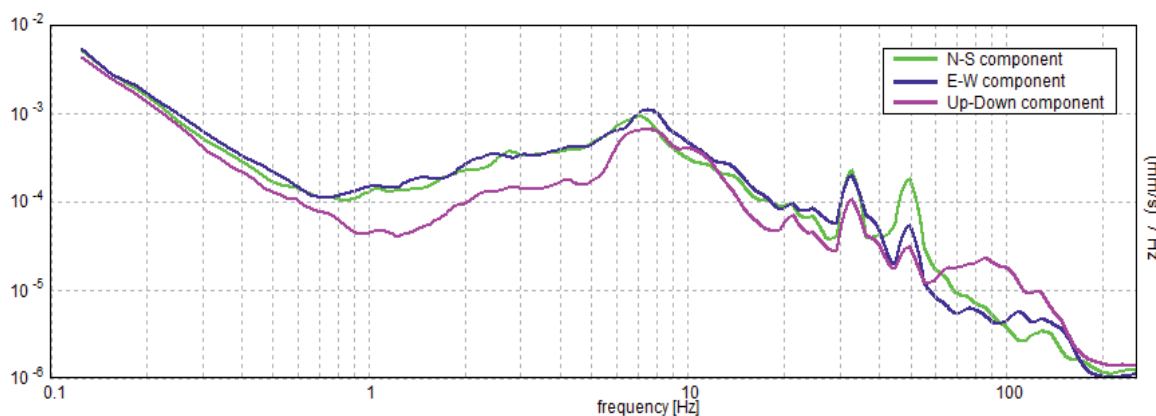
- ✚ Misura sismica H.V.S.R.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ 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 Tropenscovino S., 2004. Quick estimates of soft sediments thicknesses from ambient noise horizontal to vertical spectral ratios: a case study in southern Italy, *J. Earthq. Eng.*, 8, p. 895 - 908.
- ✓ 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.
- ✓ 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.
- ✓ [SESAME Project](#): "Site Effects Assessment Using Ambient Excitations", 2005.



Curva H/V acquisita ed elaborata



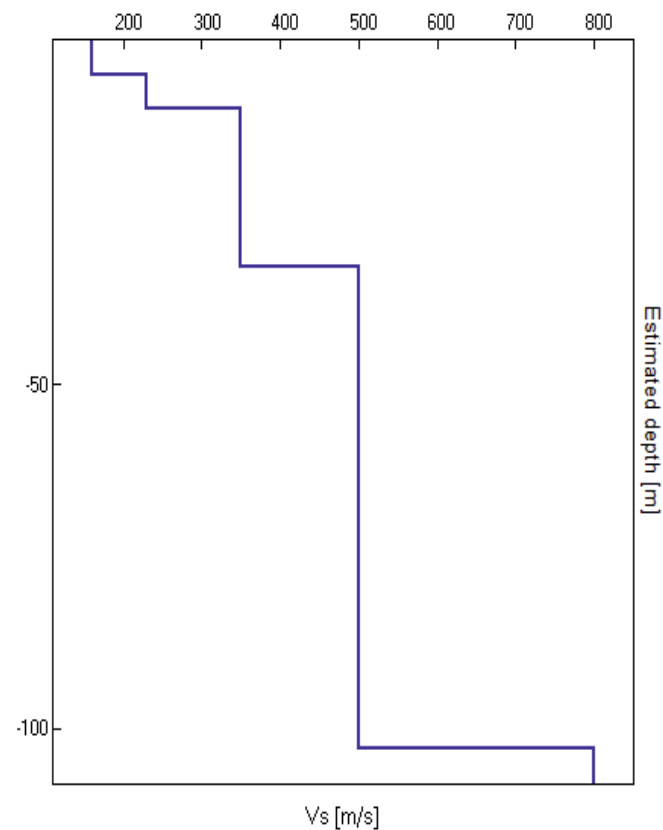
Andamento delle tre componenti del moto sismico

Valori di $V_{s,30}$ calcolati

0 m p.c.	1 m p.c.	2 m p.c.	3 m p.c.
272 m/s	281 m/s	290 m/s	300 m/s



Categoria C di Sottosuolo



Profilo verticale onde S (V_s)

Misura sismica H.V.S.R.

Ubicazione: S. S. Pasubio - Costabissara (VI)
 Lat: 45.60218° N - Long: 11.49117° E (WGS-84)

Committente
Dr. Geol. Umberto Pivetta