

**REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA
PROVINCIA DI PORDENONE**

COMUNE DI PORDENONE

Committente:
Comune di Pordenone

Progetto:
**Opera 53.22 – Ricostruzione scuola primaria “M.Grigoletti” facente
parte dell’Istituto comprensivo Rorai-Capuccini
CUP B59J21022700006**

Elaborato:
Relazione geologica e di caratterizzazione geotecnica dei terreni

Tecnico:
DOTT. GEOL. ELENA RUZZENE
via Cairoli 1 - 33170 Pordenone, tel 0434/28090

Progetto: Opera 53.22 – Ricostruzione scuola primaria “M.Grigoletti” facente parte dell’Istituto comprensivo Rorai-Capuccini – CUP B59J21022700006

Committente: Comune di Pordenone

Data: ottobre 2022

Introduzione

La presente relazione è stata commissionata dal Comune di Pordenone con determinazione n. 2022/502/47 n. cron. 729 del 31.03.2022 ed è finalizzata a determinare le caratteristiche geologiche, geotecniche, idrogeologiche e relativa caratterizzazione sismica del terreno che prevede la ristrutturazione/ricostruzione della scuola primaria Grigoletti in Comune di Pordenone.

Successivamente ad un rilevamento di campagna, per la stesura della presente relazione sono state eseguite n. 3 indagini penetrometriche dinamiche, n. 2 trincee, una prova di permeabilità in trincea e le indagini geofisiche MASW e HVSR. Sono stati inoltre consultati i dati litologici di letteratura dell’area, in particolare il “Progetto di 1a Variante del Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico del bacino Idrografico del fiume Livenza” redatto dall’ Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, lo “Studio geologico-idraulico” del PRGC di Pordenone a firma del geol. G. Contratti e dell’Ing. M. Nicolini, l’*Aggiornamento ed integrazione dello studio inerente la sicurezza idraulica del territorio comunale a supporto del Nuovo Piano Regolatore Generale ai sensi della lettera E), comma 3, art. 63 bis della L.R. n. 5/2007 e s.m.i.*” a firma dell’ing. M. Nicolini ed il “Piano Gestione Rischio Alluvioni – PGRA” redatto dall’ Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali.

I provvedimenti normativi presi in considerazione sono quelli che regolano le competenze in materia edilizia, in particolare il D.M. 11/03/1988 “*Norme tecniche riguardanti indagini sui terreni e sulle rocce, stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, criteri generali e prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*” e smi, ed il D.M. 17/01/2018 “*Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*” e smi.

DOTT. GEOL. ELENA RUZZENE
Via Cairoli 1 - 33170 Pordenone, tel 0434 28090

Progetto: Opera 53.22 – Ricostruzione scuola primaria “M.Grigoletti” facente parte dell’Istituto comprensivo Rorai-Capuccini – CUP B59J21022700006

Committente: Comune di Pordenone

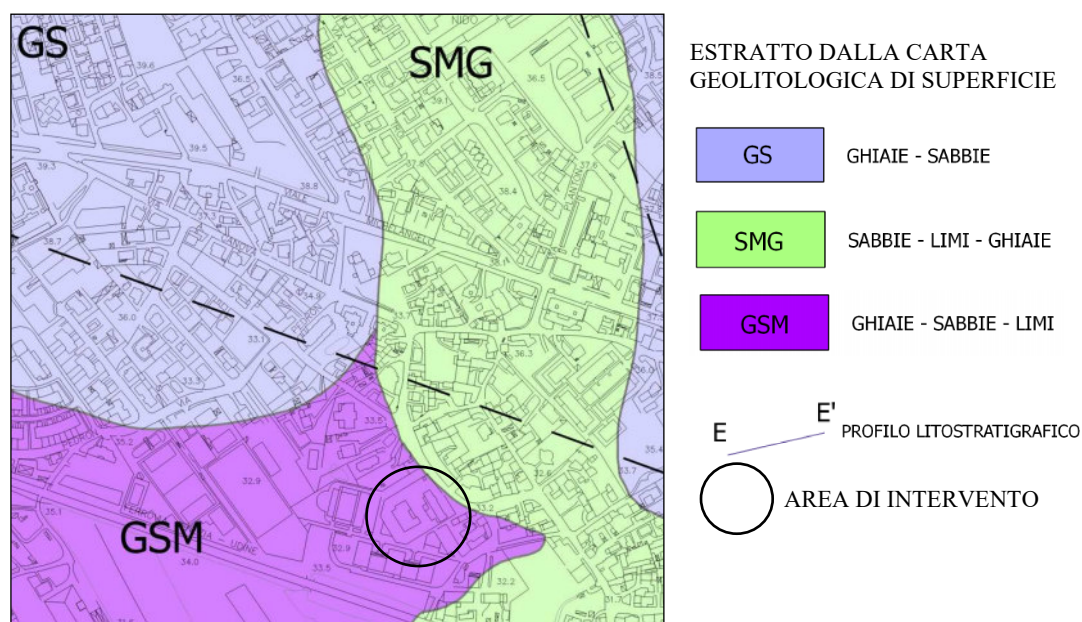
Data: ottobre 2022

Inquadramento geologico e geomorfologico

Il territorio comunale di Pordenone si trova a cavallo della fascia territoriale denominata linea delle risorgive, interessato, quindi, sia dall’Alta che dalla Bassa Pianura pordenonese. Il terreno presente lungo questa fascia è caratterizzato da una rapida diminuzione delle granulometrie dei depositi che, da prevalentemente ghiaiosi, caratteristici dell’Alta Pianura, diventano sabbioso-argillosi.

Più precisamente, l’area oggetto del nostro studio, appartiene alla fascia territoriale “linea delle risorgive” e, conseguentemente, dal punto di vista geologico, la costituzione del terreno è caratterizzata prevalentemente da sedimenti a granulometria grossolana, alternati a strati a granulometria fine.

La “Carta litologica di superficie” relativa allo “Studio geologico-idraulico” del PRGC citato in Introduzione evidenzia nell’area di intervento la presenza di ghiaie sabbioso-limose. La “Carta litologica del sottosuolo”, invece, caratterizza l’intera area con ghiaie e sabbie. Si riporta, di seguito, un estratto fuori scala delle “Carte” citate.



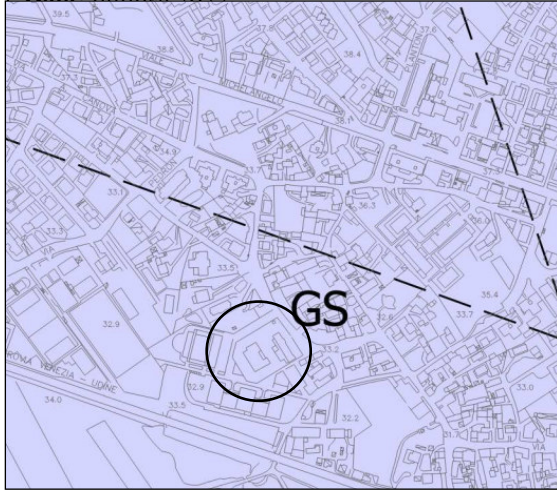
DOTT. GEOL. ELENA RUZZENE

Via Cairoli 1 - 33170 Pordenone, tel 0434 28090

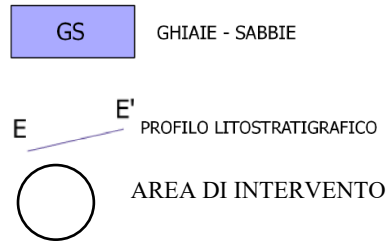
Progetto: Opera 53.22 – Ricostruzione scuola primaria “M.Grigoletti” facente parte dell’Istituto comprensivo Rorai-Capuccini – CUP B59J21022700006

Committente: Comune di Pordenone

Data: ottobre 2022



ESTRATTO DALLA CARTA
GEOLOGICA DEL SOTTOSUOLO (5m)



DOTT. GEOL. ELENA RUZZENE
Via Cairoli 1 - 33170 Pordenone, tel 0434 28090

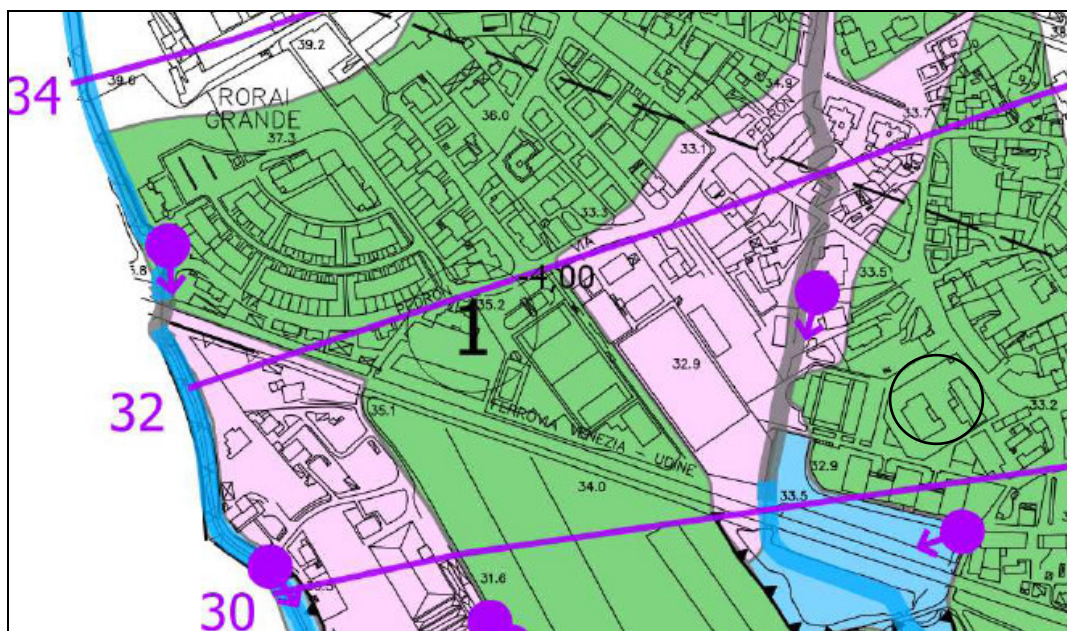
Progetto: Opera 53.22 – Ricostruzione scuola primaria “M.Grigoletti” facente parte dell’Istituto comprensivo Rorai-Capuccini – CUP B59J21022700006

Committente: Comune di Pordenone

Data: ottobre 2022

Inquadramento idrogeologico

In seguito alla sua struttura litostratigrafica la zona è caratterizzata da una falda freatica e falde sospese prossime al p.c.. La “Carta idrogeologica con elementi di morfologia” dello “Studio geologico-idraulico” del PRGC, di cui di seguito si riporta un estratto fuori scala, pone la falda tra -2 e -4 m dal p.c. nell’area di intervento. Essendo quest’ultimo compreso tra le isofreatiche 30 m e 32 m slmm, rispetto ad una quota media di circa 33 m slmm desunta dalla CTR, quindi, la falda è posta alla profondità media di circa -2,0 m dal p.c., valore soggetto ad oscillazioni.



DOTT. GEOL. ELENA RUZZENE

Via Cairoli 1 - 33170 Pordenone, tel 0434 28090

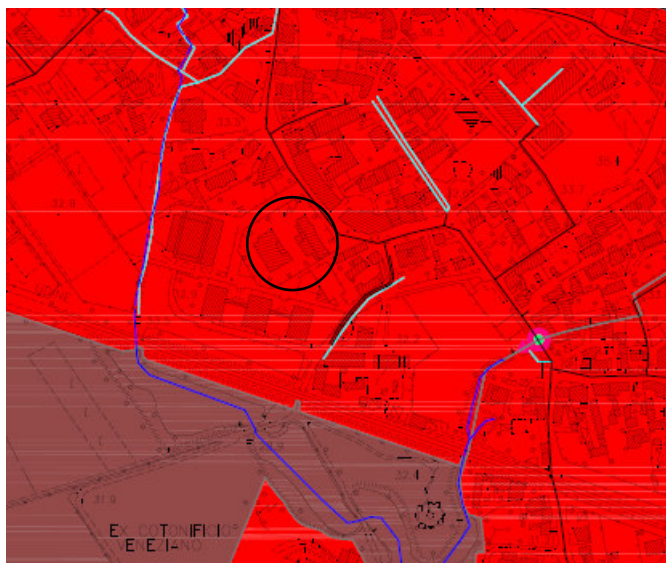
Progetto: Opera 53.22 – Ricostruzione scuola primaria “M.Grigoletti” facente parte dell’Istituto comprensivo Rorai-Capuccini – CUP B59J21022700006

Committente: Comune di Pordenone



Data: ottobre 2022

Nelle indagini condotte nel mese di aprile 2022 (periodo siccitoso), non è stata rilevata la presenza della falda fino a -2,1 m dal p.c.. Considerando comunque la sua oscillazione e l’eventuale presenza di falde sospese, si consiglia di prevedere l’impermeabilizzazione di eventuali strutture interrato.

Secondo quanto riportato nella “Tavola di sintesi delle sofferenze idrauliche: Pordenone Centro” del PRGC, di cui di seguito si riporta un estratto fuori scala, l’area di intervento è contraddistinta da elevata sofferenza idraulica.



	ROGGE
	RETE FOGNATURA METEORICA
	RETE FOGNATURA MISTA E NERA

	AREE SOFFERENZA IDRAULICA ELEVATA
	AREE VERDI E FLUVIALI DEL PRGC

 AREA DI INTERVENTO

L’area di interesse non è ricompresa nelle aree a pericolosità o rischio idraulico nel Piano di Gestione Rischio Alluvioni.

DOTT. GEOL. ELENA RUZZENE
Via Cairoli 1 - 33170 Pordenone, tel 0434 28090

Modello geologico e caratteristiche geotecniche dei terreni

Il modello geologico e le caratteristiche geotecniche dei terreni sono state desunte sulla base di n. 3 prove penetrometriche dinamiche, n. 2 trincee, una prova di permeabilità in trincea e le indagini geofisiche MASW e HVSR.

Il penetrometro dinamico utilizzato nelle indagini, presenta le seguenti caratteristiche: peso del maglio: 30 kg; caduta del maglio: 20 cm; area della punta: 10 cm²; peso delle aste: 2,4 kg. La prova consiste nell’infiggere la punta conica nel terreno per tratti consecutivi di 10 cm, misurando il numero di colpi del maglio necessari per tale affondamento.

La relazione tra N₁₀ (numero di colpi per 10 cm di affondamento) e N_{spt} è la seguente : $0.7N_{spt} \geq N_{10} \geq 1.2N_{spt}$. Nel nostro caso si assume cautelativamente $N_{spt} \cong N_{10}$.

Non esiste attualmente in letteratura una correlazione fra il numero di colpi misurato con il penetrometro dinamico e la litologia degli strati attraversati. Sulla base dell’esperienza e di indagini eseguite in area limitrofa a quella di intervento, viene quindi proposta una stratigrafia che differenzia gli strati coesivi da quelli incoerenti.

La resistenza dinamica viene calcolata con la seguente relazione :

$$Rd(Kg/cm^2) = \frac{P^2 H}{Ap Rf (P + Pa + Pt)}$$

dove:

P (kg) = peso del maglio;

H (cm) = volata del maglio;

Ap (cm²) = area della punta;

Rf (cm) = rifiuto medio, dato dal rapporto fra lunghezza del tratto d'avanzamento e numero di colpi per tratto d'avanzamento (30/N_{spt});

Pa (kg) = peso della colonna di aste;

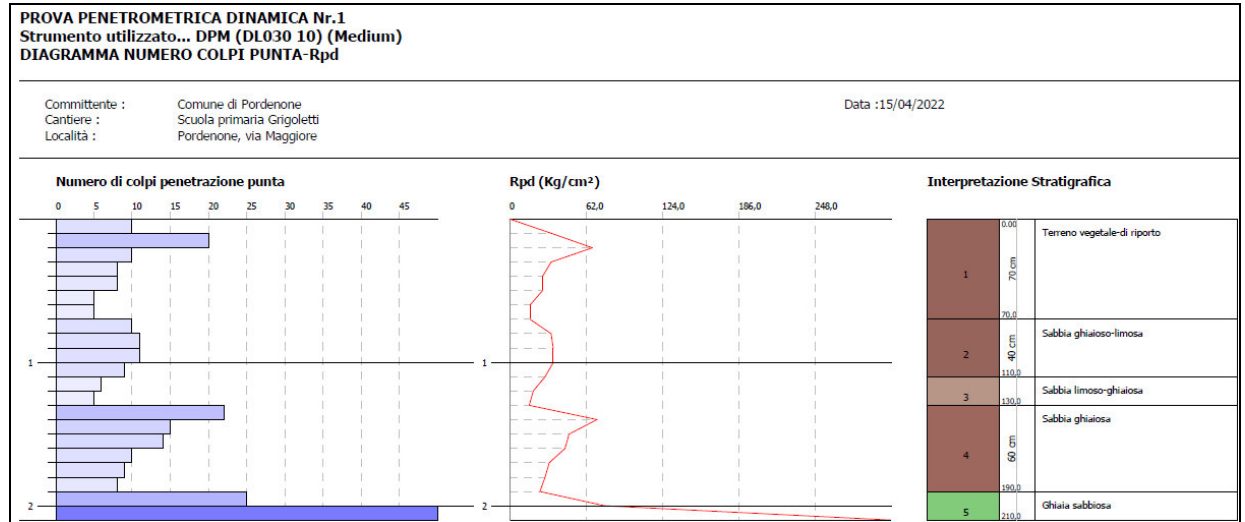
Pt (kg) = Peso della testa di battuta.

Si riportano di seguito i dati relativi alle prove penetrometriche dinamiche eseguite.

Progetto: Opera 53.22 – Ricostruzione scuola primaria “M.Grigoletti” facente parte dell’Istituto comprensivo Rorai-Capuccini – CUP B59J21022700006

Committente: Comune di Pordenone

Data: ottobre 2022



Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Fi (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
1	0,7	7,21	Coesivo				
2	1,1	9,62	Incoerente	1,72	27,55	0	47,22
3	1,3	5,25	Incoerente	1,55	25,25	0	38,25
4	1,9	10,5	Incoerente	1,75	27,85	0	49,03
5	2,1	43,75	Incoerente	2,22	33,24	0	117,33

Prof. (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Resistenz a dinamica RD Coeff. Riduzione e (Kg/cm ²)
0,10	10	1,000	33,708
0,20	20	1,000	67,416
0,30	10	1,000	33,708
0,40	8	1,000	26,966
0,50	8	1,000	26,966
0,60	5	1,000	16,854
0,70	5	1,000	16,854
0,80	10	1,000	33,708
0,90	11	1,000	35,484
1,00	11	1,000	35,484
1,10	9	1,000	29,032
1,20	6	1,000	19,355
1,30	5	1,000	16,129
1,40	22	1,000	70,968
1,50	15	1,000	48,387
1,60	14	1,000	45,161
1,70	10	1,000	32,258
1,80	9	1,000	29,032
1,90	8	1,000	24,742
2,00	25	1,000	77,320
2,10	100	1,000	309,278

DOTT. GEOL. ELENA RUZZENE
 Via Cairoli 1 - 33170 Pordenone, tel 0434 28090

Progetto: Opera 53.22 – Ricostruzione scuola primaria “M.Grigoletti” facente parte dell’Istituto comprensivo Rorai-Capuccini – CUP B59J21022700006

Committente: Comune di Pordenone

Data: ottobre 2022

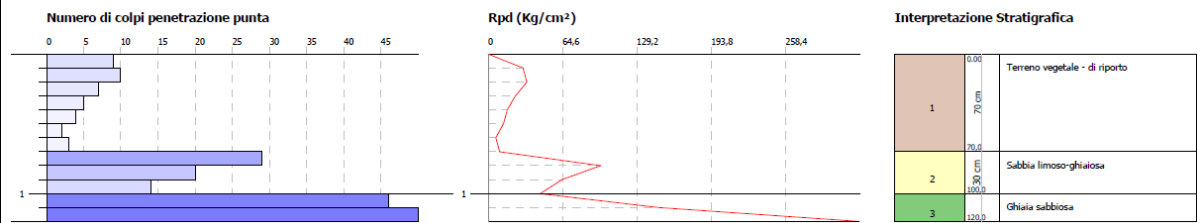
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Committente : Comune di Pordenone
 Cantiere : Scuola primaria Grigoletti
 Località : Pordenone, via Maggiore

Data :15/04/2022



Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m³)	Fi (°)	Cu (Kg/cm²)	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
1	0,7	3,86	Coesivo				
2	1,0	17,5	Incoerente	1,94	29,81	0	63,41
3	1,2	59,5	Incoerente	2,28	34,44	0	149,68

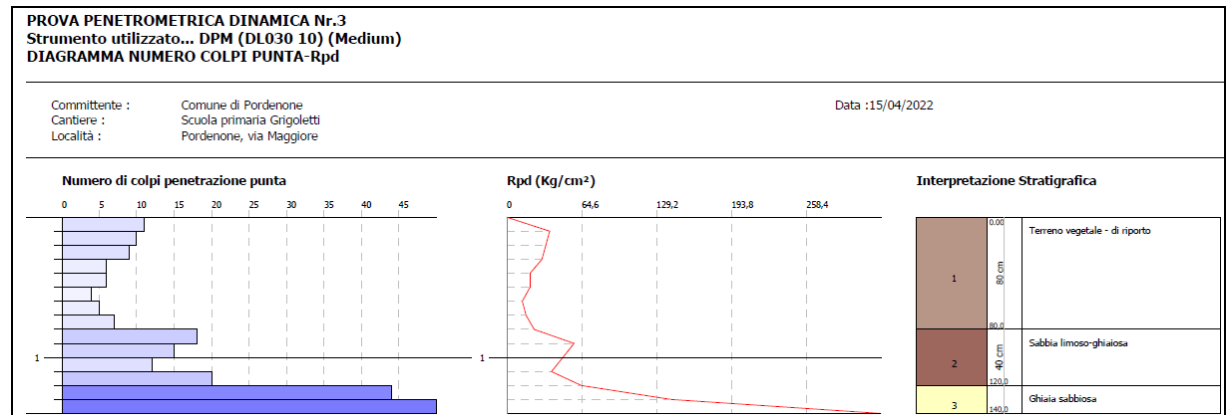
Prof. (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Resistenza dinamica RD Coeff. Riduzione (Kg/cm²)
0,10	9	1,000	30,34
0,20	10	1,000	33,71
0,30	7	1,000	23,60
0,40	5	1,000	16,85
0,50	4	1,000	13,48
0,60	2	1,000	6,74
0,70	3	1,000	10,11
0,80	29	1,000	97,75
0,90	20	1,000	64,52
1,00	14	1,000	45,16
1,10	46	1,000	148,39
1,20	100	1,000	322,581

DOTT. GEOL. ELENA RUZZENE
 Via Cairoli 1 - 33170 Pordenone, tel 0434 28090

Progetto: Opera 53.22 – Ricostruzione scuola primaria “M.Grigoletti” facente parte dell’Istituto comprensivo Rorai-Capuccini – CUP B59J21022700006

Committente: Comune di Pordenone

Data: ottobre 2022



Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Fi (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
1	0,8	5,62	Coesivo				
2	1,2	14,12	Incoerente	1,86	29,00	0	56,47
3	1,4	58,0	Incoerente	2,27	34,33	0	146,6

Prof. (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Resistenza dinamica RD Coeff. Riduzione (Kg/cm ²)
0,10	11	1,000	37,079
0,20	10	1,000	33,708
0,30	9	1,000	30,337
0,40	6	1,000	20,225
0,50	6	1,000	20,225
0,60	4	1,000	13,483
0,70	5	1,000	16,854
0,80	7	1,000	23,596
0,90	18	1,000	58,065
1,00	15	1,000	48,387
1,10	12	1,000	38,710
1,20	20	1,000	64,516
1,30	44	1,000	141,936
1,40	100	1,000	322,581

DOTT. GEOL. ELENA RUZZENE
 Via Cairoli 1 - 33170 Pordenone, tel 0434 28090

Progetto: Opera 53.22 – Ricostruzione scuola primaria “M.Grigoletti” facente parte dell’Istituto comprensivo Rorai-Capuccini – CUP B59J21022700006

Committente: Comune di Pordenone

Data: ottobre 2022



TRINCEA N. 1

da 0,0 m a -0,5 m dal p.c.

da -0,5 m a -0,8 m dal p.c.

da -0,8 m a -1,3 m dal p.c.

terreno vegetale

sabbia limosa con ghiaia

sabbia ghiaiosa



TRINCEA N. 2

da 0,0 m a -0,5 m dal p.c.

da -0,5 m a -0,8 m dal p.c.

da -0,8 m a -1,2 m dal p.c.

da -1,2 m a -1,5 m dal p.c.

terreno vegetale

sabbia limosa con ghiaia

sabbia

sabbia ghiaiosa

DOTT. GEOL. ELENA RUZZENE

Via Cairoli 1 - 33170 Pordenone, tel 0434 28090

Progetto: Opera 53.22 – Ricostruzione scuola primaria “M.Grigoletti” facente parte dell’Istituto comprensivo Rorai-Capuccini – CUP B59J21022700006

Committente: Comune di Pordenone

Data: ottobre 2022

Sul fondo della trincea n.1 è stata eseguita una prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto misurando la velocità di abbassamento del livello in funzione del tempo. Per l’esecuzione della prova il terreno è stato preventivamente parzialmente saturato mediante l’immissione di acqua ed è stato utilizzato un pozzetto circolare di diametro pari a 0,4 m. La prova è stata condotta alla profondità di -1,0 m dal fondo della trincea.

La permeabilità k è così calcolata:

$$k = \frac{d}{32} \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} \frac{1}{h_m} \quad (\text{m/s})$$

dove:

h_m = altezza media dell’acqua nel pozzetto ($h_m > d/4$);

$t_2 - t_1$ = intervallo di tempo;

$h_2 - h_1$ = variazione di livello dell’acqua nell’intervallo $t_2 - t_1$;

d = diametro del pozzetto.

La prova ha fornito un valore di permeabilità all’incirca $k = 1 \times 10^{-5}$ m/s secondo quanto riportato nella sottostante tabella:

Diametro del cilindro di misura (metri)
0,4
Altezza dell'acqua all'inizio della misurazione (metri)
0,7
Altezza dell'acqua alla fine della misurazione (metri)
0,4
Tempo di misurazione (secondi)
642
K (m/s)
1,06202E-05
Grado di permeabilità
Medio
Drenaggio
Buono



DOTT. GEOL. ELENA RUZZENE

Via Cairoli 1 - 33170 Pordenone, tel 0434 28090

Progetto: Opera 53.22 – Ricostruzione scuola primaria “M.Grigoletti” facente parte dell’Istituto comprensivo Rorai-Capuccini – CUP B59J21022700006

Committente: Comune di Pordenone

Data: ottobre 2022

Considerando che l’area di intervento è urbanizzata ed è occupata da edifici, sarà presente terreno di riporto almeno fino alle fondazioni degli edifici esistenti e dei relativi sottoservizi. Le fondazioni devono poggiare su terreno naturale, non vegetale, di riporto, torba o argilla organica di cui, nel caso fossero incontrati, se ne consiglia la bonifica ad esempio mediante la sua asportazione ed il successivo apporto di ghiaia ben compattata o mediante metodo alternativo. In fase di esecuzione lavori dovrà quindi essere verificata la presenza del terreno di riporto e l’omogeneità areale della litologia su cui baseranno le fondazioni al fine di evitare cedimenti differenziali.

DOTT. GEOL. ELENA RUZZENE
Via Cairoli 1 - 33170 Pordenone, tel 0434 28090

Progetto: Opera 53.22 – Ricostruzione scuola primaria “M.Grigoletti” facente parte dell’Istituto comprensivo Rorai-Capuccini – CUP B59J21022700006

Committente: Comune di Pordenone

Data: ottobre 2022

Opere di scavo

Relativamente agli scavi che saranno effettuati per la realizzazione dell’opera, nella considerazione della loro stabilità, è necessario tenere presente che lo scavo in terreni argillosi può comportare la necessità di sostenere le pareti di scavo mediante opportune opere di sostegno, come pure se lo scavo viene effettuato ad una distanza inferiore a $2H$ da manufatti esistenti, dove H è la profondità dello scavo stesso.

In presenza di acqua o di terreno di riporto sarà sempre necessario sostenere le pareti di scavo.

Ove necessario, quindi, da valutare a cura della Direzione Lavori in sede di lavoro, si consiglia di prevedere adeguate opere di sostegno provvisorie.

DOTT. GEOL. ELENA RUZZENE
Via Cairoli 1 - 33170 Pordenone, tel 0434 28090

Progetto: Opera 53.22 – Ricostruzione scuola primaria “M.Grigoletti” facente parte dell’Istituto comprensivo Rorai-Capuccini – CUP B59J21022700006

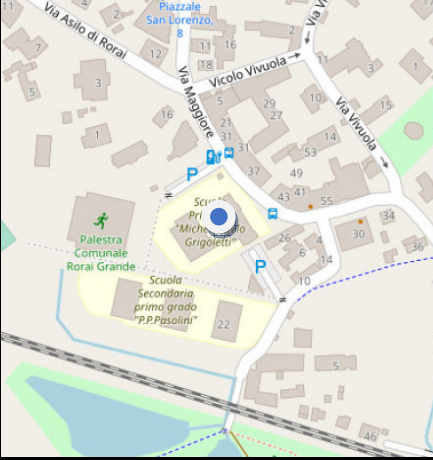
Committente: Comune di Pordenone

Data: ottobre 2022

Inquadramento sismico e categoria di classificazione del sottosuolo – Pericolosità sismica di base

Il territorio comunale di Pordenone è classificato in zona sismica 2.

Nella definizione dell’azione sismica di base è possibile assumere i seguenti parametri di pericolosità sismica, assimilando l’opera a costruzioni di classe d’uso III.

	Sistema:	WGS84	Legenda:									
	Latitudine°	45,9635831	agh base:	Accelerazione sismica orizzontale di base;								
	Longitudine°	12,6375176	F0:	Max fattore di amplificazione spettrale orizzontale;								
	Stato limite	S.L.V.	Tc*:	Periodo inizio tratto a velocità costante;								
	Vita nominale opera (anni)	50	agv base:	Accelerazione sismica verticale di base;								
	Classe opera	III	Fv:	Max fattore di amplificazione spettrale verticale;								
	Coef.di smorzamento %	5,0	Tr:	Tempo di ritorno;								
	Fattore di struttura orizz.le q	3	Pr:	Probabilità di superamento;								
	Fattore di struttura vert.le qv	1,5	agh max:	Accelerazione sismica orizzontale in superficie;								
	Categoria sottosuolo	C	agv max:	Accelerazione sismica verticale in superficie;								
	Categoria topografica	T1	khs:	Coefficiente sismico orizzontale del terreno;								
	Altezza totale dell’opera (m)	0	kvs:	Coefficiente sismico verticale del terreno;								
	Tipo opera:	Opera in c.a.	beta:	Coefficiente di riduzione di agh max.								
Contesto geotecnico:	Fondazione											
ID nodo 1	10311											
ID nodo 2	10312											
ID nodo 3	10533											
ID nodo 4	10534											
Stato	agh base(g)	F0	Tc*	agv base(g)	Fv	Tr(anni)	Pr(%)	agh max(g)	agv max(g)	khs	kvs	beta
S.L.C.	0,3120	2,47	0,36	0,3120	1,86	1462	0,05	0,3860	0,3120	0,108	0,054	0,28
S.L.V.	0,2354	2,47	0,34	0,2354	1,62	712	0,1	0,3182	0,2354	0,089	0,045	0,28
S.L.D.	0,0880	2,45	0,27	0,0880	0,98	75	0,63	0,1319	0,0880	0,026	0,013	0,20
S.L.O.	0,0679	2,45	0,26	0,0679	0,86	45	0,81	0,1018	0,0679	0,020	0,010	0,20
Parametri sismici secondo le NTC2018												

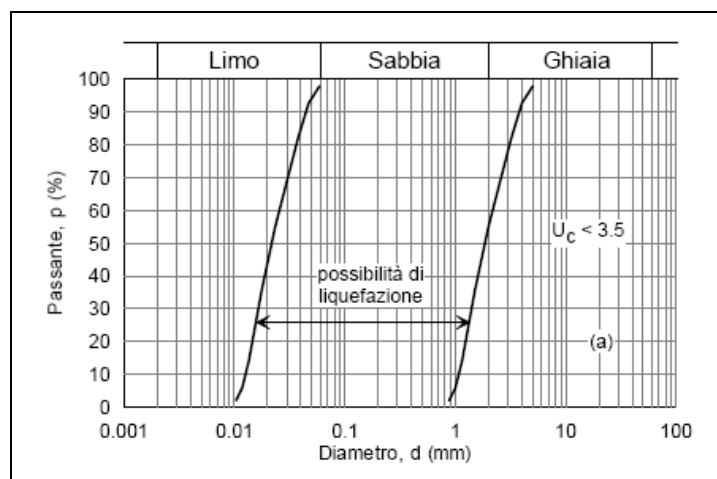
In riferimento ad indagini geofisiche MASW e HVSr condotte in sito e riportate in allegato, il sottosuolo è ricondotto alla categoria “C–depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”. Il rilievo di campagna non ha evidenziato aree di dissesto geostatico reale o presunto nelle vicinanze. Non sono state riscontrate evidenze morfologiche indicatrici di deformazioni tettoniche. La bibliografia disponibile non segnala la prossimità di faglie sismogenetiche nell’area in esame (“Mappa delle sorgenti sismogenetiche” e “Catalogo delle faglie capaci Ithaca”, entrambi a cura di INGV).

DOTT. GEOL. ELENA RUZZENE
Via Cairoli 1 - 33170 Pordenone, tel 0434 28090

Liquefazione dei terreni

La valutazione del potenziale di liquefazione in caso di evento sismico di un terreno granulare quale un suolo limoso o sabbioso fine saturo d’acqua viene introdotta da considerazioni generali che provengono dallo studio di una casistica di fenomeni che ha dimostrato che la liquefazione è tanto più improbabile quanto maggiore è la pressione di confinamento, valuta come parametro significativo la densità relativa del terreno nel valore 70% quale limite tra terreni liquefacibili e non, considera improbabile fenomeni di liquefazione per gli strati che hanno una copertura utile superiore a 15 m ed infine considera prevalentemente il profilo granulometrico del terreno compreso tra le sabbie fini ed i limi quale terreno probabilmente soggetto al fenomeno della liquefazione.

Considerando il tipo di terreno riscontrato prevalentemente ghiaioso-sabbioso almeno fino a -15 m dal p.c. secondo quanto in precedenza definito e secondo indagini limitrofe, non rientrante nel range granulometrico dei terreni soggetti a liquefazione come riportato nel diagramma sottostante, non si prevede la possibilità del verificarsi il fenomeno della liquefazione durante un evento sismico.



Conclusioni

Il modello geologico individuato nell’area interessata dall’intervento in progetto presenta un terreno classificabile nella categoria di sottosuolo “C – depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”.

In considerazione del tipo di terreno riscontrato non si prevede la possibilità del verificarsi del fenomeno della liquefazione durante un evento sismico.

In seguito alla sua struttura litostratigrafica la zona è caratterizzata da una falda freatica e falde sospese prossime al p.c.. La “Carta idrogeologica con elementi di morfologia” dello “Studio geologico-idraulico” del PRGC, pone la falda tra -2 e -4 m dal p.c. nell’area di intervento. Essendo quest’ultima compreso tra le isofreatiche 30 m e 32 m slmm, rispetto ad una quota media di circa 33 m slmm desunta dalla CTR, quindi, la falda è posta alla profondità media di circa -2,0 m dal p.c., valore soggetto ad oscillazioni. Nelle indagini condotte nel mese di aprile 2022 (periodo siccitoso), non è stata rilevata la presenza della falda fino a -2,1 m dal p.c.. Considerando comunque la sua oscillazione e la possibile presenza di falde sospese, si consiglia l’impermeabilizzazione di eventuali strutture interrato.

Secondo quanto riportato nella “Tavola di sintesi delle sofferenze idrauliche: Pordenone Centro” del PRGC, l’area di intervento è contraddistinta da elevata sofferenza idraulica.

L’area di interesse non è ricompresa nelle aree a pericolosità o rischio idraulico nel Piano di Gestione Rischio Alluvioni.

Pordenone, ottobre 2022

Dott. Geol. Elena Ruzzene

Progetto: Opera 53.22 – Ricostruzione scuola primaria “M.Grigoletti” facente parte dell’Istituto comprensivo Rorai-Capuccini – CUP B59J21022700006

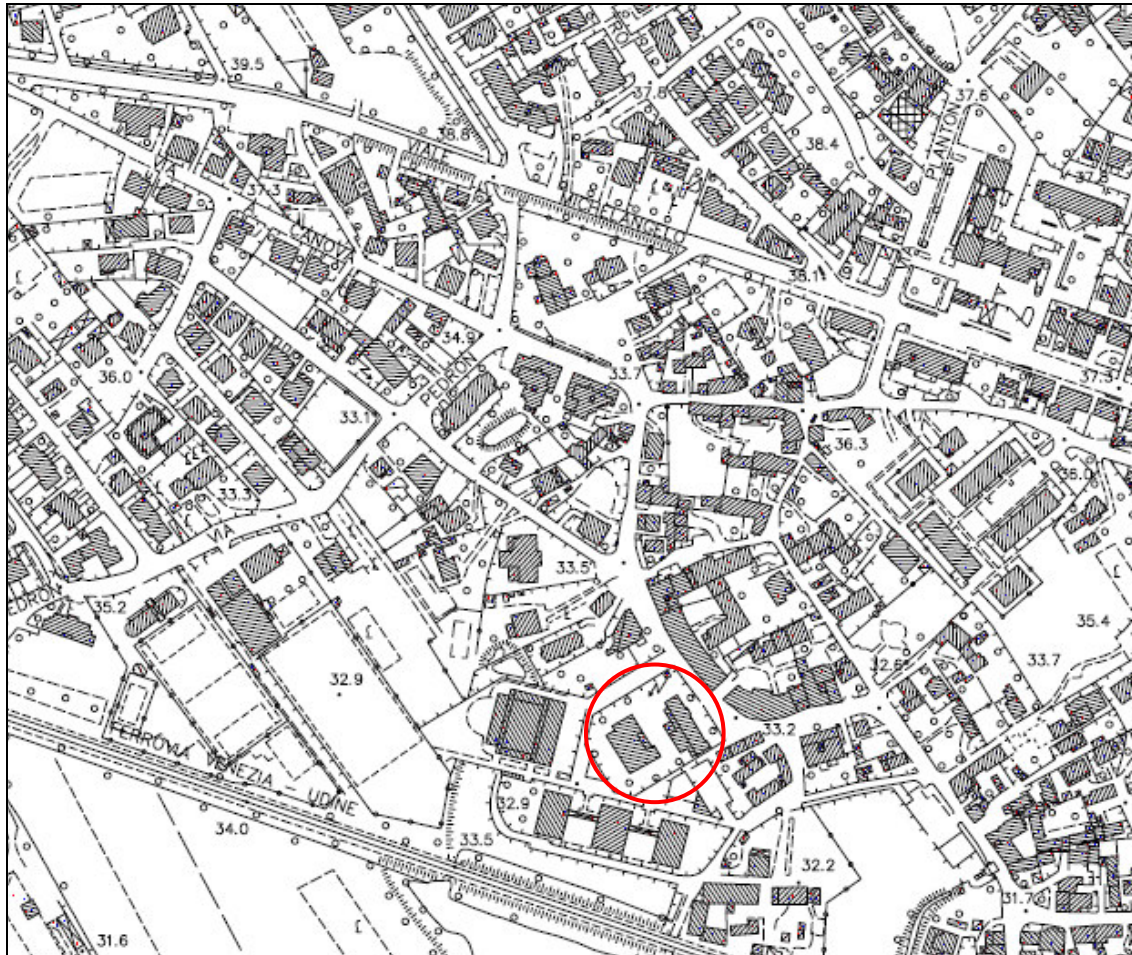
Committente: Comune di Pordenone

Data: ottobre 2022

ESTRATTO DALLA C.T.R. elemento 085042 “Pordenone Ovest” SCALA 1:5.000



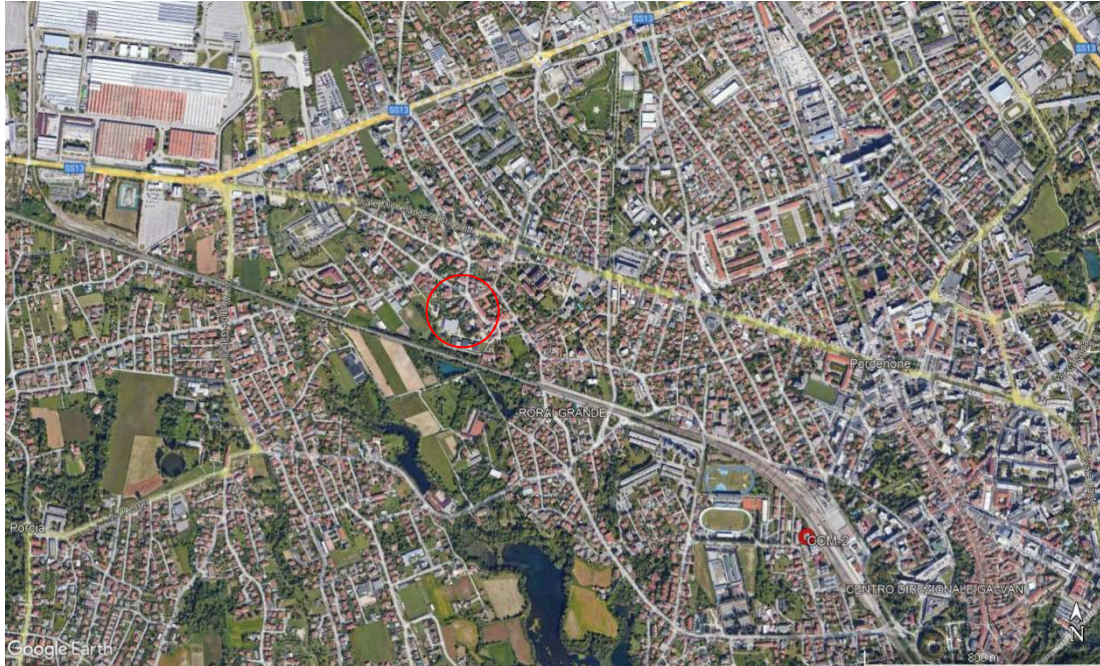
TRATTO DI INTERVENTO



ALLEGATO: INDAGINI SISMICHE

DOTT. GEOL. ELENA RUZZENE
Via Cairoli 1 - 33170 Pordenone, tel 0434 28090

INDAGINI SISMICHE



1- CARATTERISTICHE TECNICHE DELL'INDAGINE SISMICA

2- GEOMETRIA UBICAZIONE DELL'INDAGINE

3- ANALISI E INTERPRETAZIONE DEI DATI - DEFINIZIONE DELLA CLASSE DI SOTTOSUOLO

ALLEGATI (SCHEDA HV)

4- CONCLUSIONI

TECNICO RESPONSABILE

Committente:



Dott. Geol. Marco Basso Fin

1- CARATTERISTICHE TECNICHE DELL'INDAGINE SISMICA

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DI ACQUISIZIONE:

ACQUISIZIONE MASW:

Sismografo interfacciato a PC portatile (registratore). Sismografo Geometrics ES- 3'000 a 24ch con 16'000 campioni in acquisizione, passo di campionamento 0,0625ms- 2ms, intervallo di campionamento max a 2ms-131.071s. Software di acquisizione installato su PC tipo Seismodule controller software.

Geofoni (sensori di rilevazione del segnale). n°12; Geofoni orizzontali per registrazione onde Love e componente orizzontale onde di Rayleigh (per la registrazione delle due componenti viene modificato l'orientazione dei dispositivi rispettivamente con asse trasversale e longitudinale rispetto allo stendimento) frequenza caratteristica di 4,5Hz, .

Sorgente segnale: meccanica, mazza battente da 12kg battuta sia verticale che di taglio.

ACQUISIZIONE HVSR:

Terna calibrata PASI tipo Geminy 2.0 con frequenza caratteristica 2.0 Hz in acquisizione passiva.

DESCRIZIONE DEL METODO:

MASW (analisi multicanale di onde di superficie): metodo di sismica attiva che si basa sull'analisi delle velocità di fase di onde di superficie di un'onda sismica generata dalla mazza battente il cui "disturbo" viene registrato attraverso i geofoni disposti al suolo secondo una geometria lineare (fig.1.1). Dal segnale raccolto si genera uno spettro di velocità, (diagramma velocità di fase/frequenza), sul quale si individua per interpretazione il modello sismo-stratigrafico del sottosuolo sfruttando le proprietà dispersive delle onde di superficie.

L'indagine si può svolgere con acquisizione di una o più componenti distinte fino ad un massimo di 5. In funzione del tipo di sorgente utilizzata (*esplosivo EX, forza verticale VF e forza orizzontale HF*) e del tipo e disposizione di sensori (*geofoni verticali Z, geofoni orizzontali disposti in modo radiale R, geofoni orizzontali disposti in modo trasversale T*) si ottengono le seguenti configurazioni o componenti:

1. **ZVF**, acquisizione componente verticale dell'onda di Rayleigh con sorgente meccanica verticale
2. **ZEX**, acquisizione componente verticale dell'onda di Rayleigh con sorgente esplosiva
3. **RVF**, acquisizione componente orizzontale dell'onda di Rayleigh con sorgente meccanica verticale
4. **REX**, acquisizione componente orizzontale dell'onda di Rayleigh con sorgente esplosiva
5. **THF**, acquisizione onde di Love con sorgente meccanica orizzontale

In linea teorica la massima profondità d'indagine raggiungibile con questo metodo è circa $\frac{1}{2} \div \frac{3}{4}$ della lunghezza dello stendimento che rappresenta la capacità di campionamento della massima lunghezza d'onda λ per una data disposizione dei sensori. A tale capacità teorica vanno posti i limiti derivanti dalla sensibilità strumentale in dotazione e dalla capacità di generare impulsi a basse frequenze.

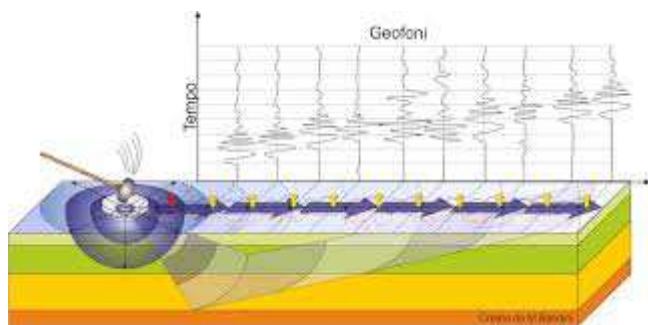


Fig.1.1
MASW: Schema concettuale di acquisizione.

HVSR: la tecnica di sismica passiva si basa sull'acquisizione della vibrazione ambientale comunemente presente in natura attraverso tre geofoni calibrati ad alta sensibilità disposti secondo gli assi X, Y e Z. Per poter disporre di un dato medio statisticamente valido viene registrata la vibrazione per un periodo (dato pulito) di minimo 8-10 min. La prova, attraverso la definizione del rapporto tra risultante della componenti orizzontale e componente verticale nell'intervallo di frequenza stabilito, in genere tra 0,5 e 20 Hz, è in grado di individuare eventuali contrasti di rigidità nel sottosuolo ai quali è associato un incremento del rapporto H/V. Tale tecnica consente di identificare, se presente, la frequenza fondamentale di sito. La massima profondità indagabile con tale metodo è funzione della sensibilità strumentale e della presenza di segnale a bassa e bassissima frequenza. La strumentazione in dotazione permette di acquisire con ragionevole dettaglio frequenze fino a 0,5-0,8 Hz che in funzione della V_s media dei suoli può raggiungere da minimo 60 ad un massimo 250 m di profondità.

ELABORAZIONE CONGIUNTA:

L'elaborazione è svolta con programma *WinnMasw7.3 academy* in modellazione diretta (fatta direttamente dall'operatore senza inversione del dato) con successiva ottimizzazione mediante inversione in analisi FVS con algoritmi genetici. L'analisi congiunta⁽¹⁾ dei tre dati sperimentali acquisiti, componenti ZVF, THF, e HVSR permette di comprendere il significato dei dati acquisiti attraverso i vincoli reciproci imposti rispettivamente dalle diverse componenti. Tale procedura evita, almeno in linea di principio, di incorrere in grossolani errori interpretativi legati alla complessa fenomenologia delle onde di superficie e ovvia al problema dell'indeterminatezza della soluzione a singola componente, sempre presente nelle indagini geofisiche, per il quale ad una singola componente sono associabili più modelli differenti pseudo equivalenti.

2- GEOMETRIA UBICAZIONE DELL'INDAGINE

Stendimento	Inter-traccia	Lunghezza complessiva	Profondità critica
Longitudinale	4 m	44 m	22-25 m
Sorgente	ATTIVA. (tipo1: mazza battente da 12kg su piastra in alluminio.) (tipo2: mazza battente da 12kg su traversina in legno.)		

Ubicazione planimetrica delle indagini in sito.



NOTE: la prova è stata eseguita su terreno naturale rimaneggiato misto stabilizzato con ghiaia, con buon accoppiamento geofoni suolo.

(1) L'analisi congiunta si differenzia da quella comparata in quanto la ricerca del modello teorico, che rappresenta la soluzione, avviene contemporaneamente per tutti i dati e non attraverso la comparazione dei modelli derivanti dall'interpretazione separata delle varie componenti.

3- ANALISI E INTERPRETAZIONE DEI DATI - DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

L'analisi dei dati fornisce un modello sismo-stratigrafico del sottosuolo (fig. 2.3) che è in grado di giustificare simultaneamente i dati sperimentali delle prove in modalità attiva (MASW) e passiva HVSR. Di seguito si riportano gli spettri di Velocità di fase di campagna per le due componenti THF e ZVF acquisite con in sovrapposizione (contourig neretto) gli spettri di velocità di fase simulati del modello individuato. Profilo Vs del modello individuato e tabella con sismo-strati e relativi spessori e Vs medie. In fig. 1.3 sotto sono riportati per confronto i dati sperimentali e relativi spettri e i dati simulati del modello individuato. In base a quanto riportato in modello medio risulta rappresentativo di tutte le evidenze sperimentali analizzate.

NOTA: I dati risultano di qualità buona in relazione alle condizioni logistiche e alla propagazione del segnale. L'analisi congiunta è in grado di identificare un modello medio per giustificare le evidenze sperimentali simultaneamente in buon accordo con le indagini pregresse e le caratteristiche geologiche del sito.

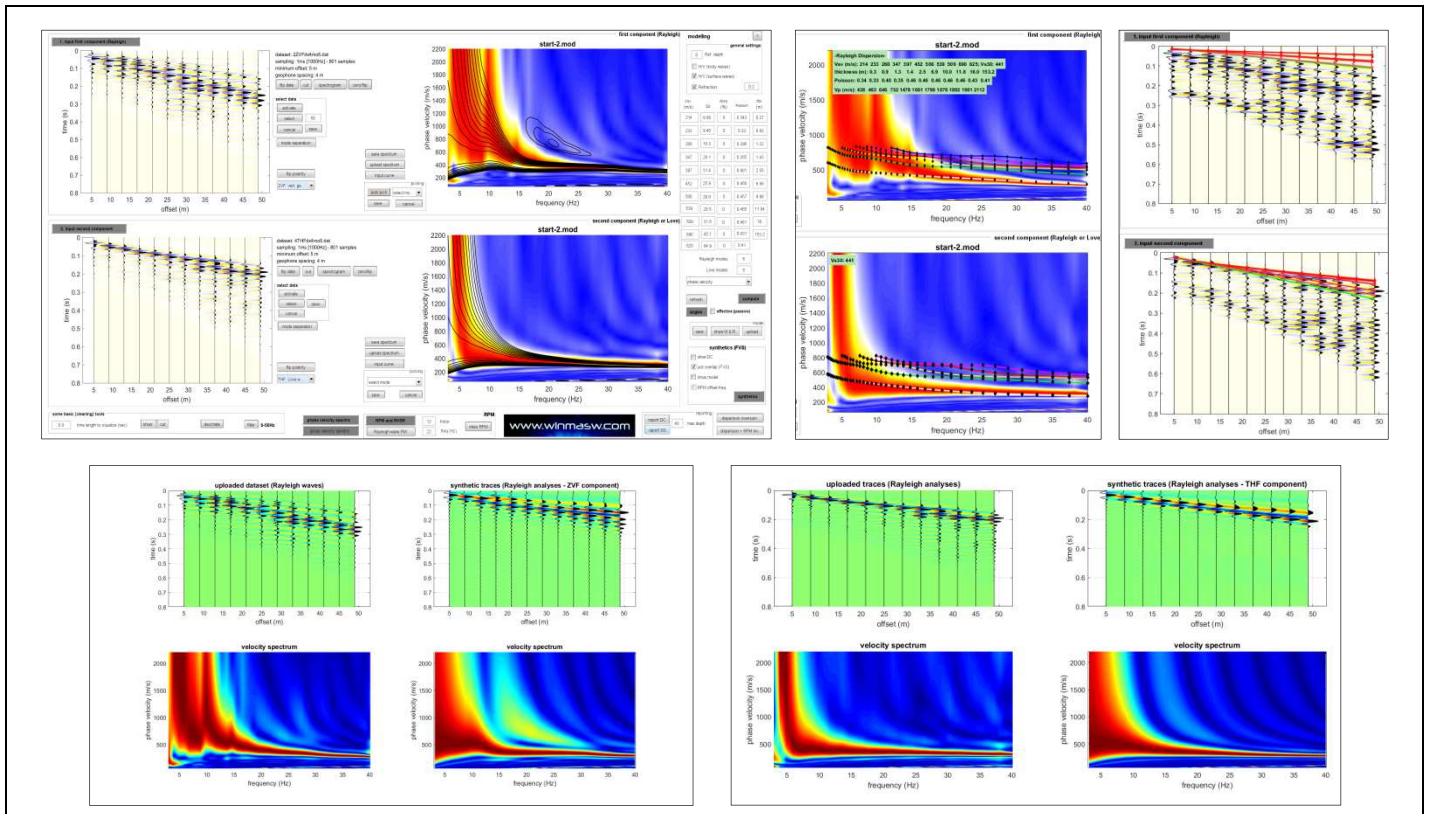


Fig. 1.3

(Sopra dataset Masw (ZVF) Masw (THF) con sovrapposizione dei sintetici e dei modi derivanti dal modello individuato per la velocità fase – sismogrammi con le rifrazioni. Sotto confronto tra dataset di campagna e sismogrammi sintetici del modello individuato.)

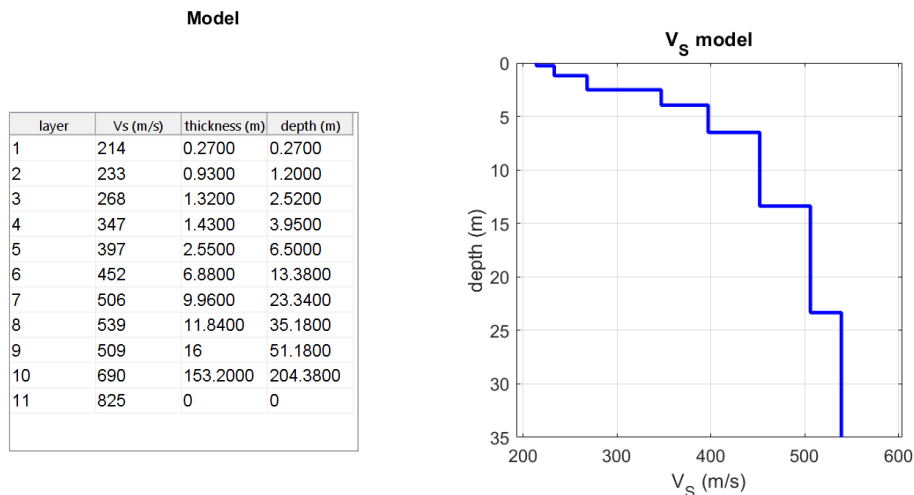


Fig. 2.3

(tabella dei sismo-strati individuati indicante rispettivamente Vs media e spessore – profilo verticale di Vs fino a 35 m da p.c.)

Date: 19 4 2022
 Time: 18 4
 Rayleigh dataset: 2ZVFdx4mo5.dat
 Love dataset: 4THFdx4mo5.dat

Retrieved model

Vsv (m/s): 214 233 268 347 397 452 506 539 509 690 825
 Vsh (m/s): 214 233 268 347 397 452 506 539 509 690 825
 Thickness (m): 0.3 0.9 1.3 1.4 2.5 6.9 10.0 11.8 16.0 153.2

Density (gr/cm3): 1.85 1.87 1.95 1.98 2.15 2.18 2.20 2.21 2.21 2.22 2.24
 Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 85 101 140 238 339 445 562 641 572 1057 1522
 Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)
 Vp (m/s): 438 463 646 732 1476 1661 1798 1876 1892 1981 2112
 Poisson: 0.34 0.33 0.40 0.36 0.46 0.46 0.46 0.46 0.46 0.43 0.41

VS, EQUIVALENTI H=30 (m/s) da p.c. : 441

In termini di media Vs ne risulta quanto segue:

Profondità considerata delle fondazioni da piano di prova MASW e HVSR:	-0,7 m
Profondità del substrato da piano di prova MASW e HVSR	>> 30 m.
Profondità del substrato da piano di fondazione	>> 30 m.
Vs, EQUIVALENTI H=12,55 at foundation depth (m/s):	453 m/s

In relazione alla **sola media delle Vs equivalenti** nei primi 30 metri il sito rientra in categoria:

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:
 h_i spessore dell'i-esimo strato;
 $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
 N numero di strati;
 H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

(estratto NTC 2018 – classificazione stratigrafica del sottosuolo)

Prove HVSR

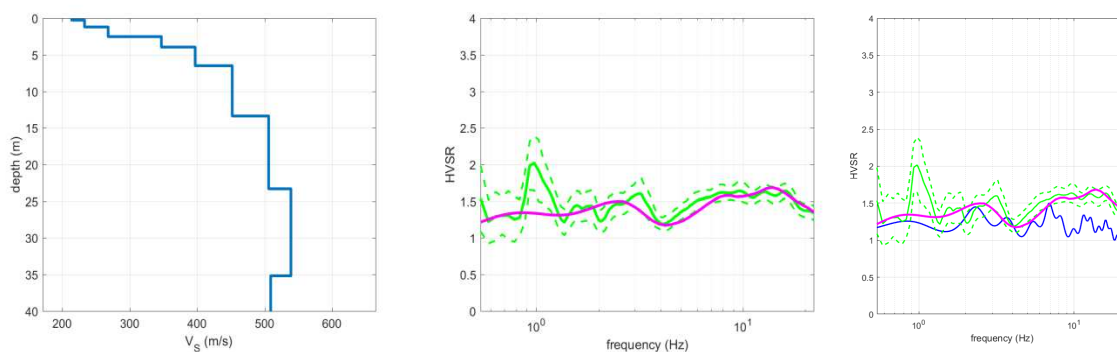


Fig. 3.3 Confronto tra curva HV-1 sperimentale in verde e curva HV da modello in viola (in blu a lato H/V delle onde di corpo).

È stata realizzata una prova HVSR mirata a compensare i dati sismici in profondità e a migliorare la localizzazione di eventuali contrasti di rigidità. La prova è stata realizzata in condizioni logistiche ottimali per l'accoppiamento dei sensori su terreno di rimaneggiato misto a stabilizzato piuttosto compatto. La prova è stata realizzata in postazione mediana allo stendimento MASW in asse allo stendimento. La curva non evidenzia marcati contrasti di rigidità a frequenza con solo modeste oscillazioni in ampiezza.

SCHEDE DI PROVA HVSR		N. 1
Operatore: Dott. Marco Basso Fin	località: Pordenone (PN)	coordinate: 45°57'49" – 12°38'14"

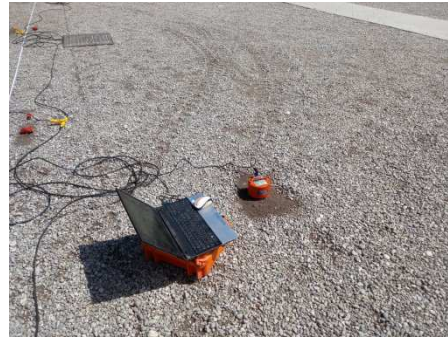
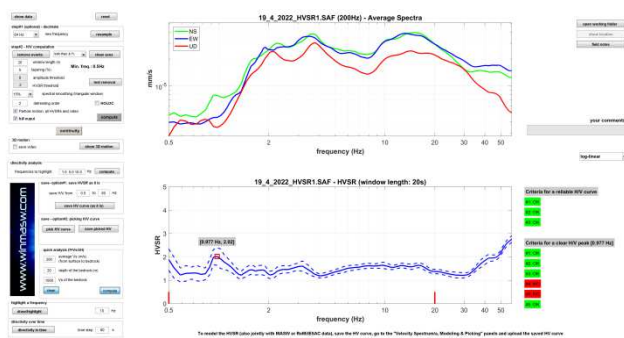
CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DI ACQUISIZIONE:

ACQUISIZIONE HVSR: Terna calibrata PASI tipo Gemini 2.0 con frequenza caratteristica 2.0 Hz.

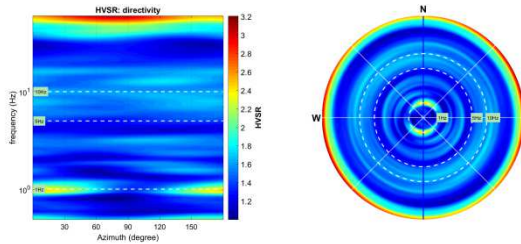
HVSR. ANDAMENTO TEMPORALE DEL SEGNALE	
	<p>HVSR-1</p> <p>Il dato, depurato dei transienti, si presenta ben cetrato e con ampiezze medie comparabili tra le varie componenti. Il record complessivamente conta di 14 min minuti di registrazione di cui 7 min puliti.</p>
UBICAZIONE POSTAZIONE HV ED ORIENTAZIONE STRUMENTALE	

SCHEDA HVSR – 1

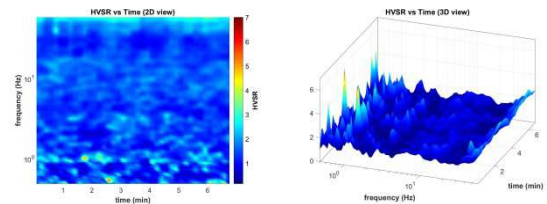
Caratteristiche ambientali: Assenza di vento. Prova su terreno naturale rimaneggiato battuto con ghiaia - Nord direzione stendimento MASW verso strada



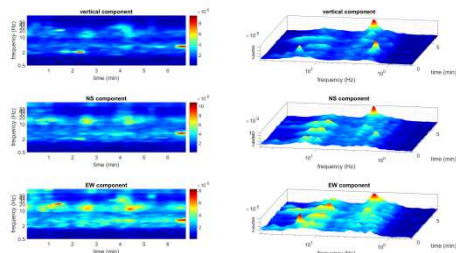
DIRETTIVITÀ



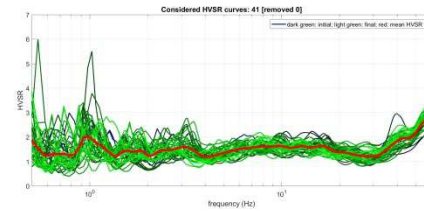
PERSISTENZA



PERSISTENZA SINGOLE COMPONENTI



ANDAMENTO H/V SINGOLE FINESTRA



Dataset: 19_4_2022_HVSR1.SAF
DATA ACQUISITION
Date and time: 2022 04 19 12 52 22

DATA PROCESSING
Date: 19 4 2022
Time: 16 18
Sampling frequency (Hz): 200
Window length (sec): 20
Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz
Length of analysed dataset (min): 12.0
Tapering (%): 5
Smoothing (%): 15

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.0 (± 0.5)
Peak HVSR value: 2.0 (± 0.4)

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [$f_0 > 10/L_w$]: $0.977 > 0.5$ (OK)
- #2. [$n_c > 200$]: $801 > 200$ (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

= Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1. [exists f_- in the range [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency 0.3Hz (OK)
- #2. [exists f_+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)
- #3. [$A_0 > 2$]: $2.0 > 2$ (OK)
- #4. [$f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (NO)
- #5. [$\sigma_A(f) < \epsilon(f_0)$]: $0.460 > 0.147$ (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.914 < 2$ (OK)

NOTE: La prova evidenzia un andamento statisticamente regolare associabile ad una acquisizione di buona qualità.

- CONCLUSIONI

La modellazione sismica del sito è stata svolta mediante indagini indirette con analisi di onde di superficie. Note le ambiguità interpretative del metodo e la non univocità della soluzione per una singola prova sono state realizzate tre diverse acquisizioni con tecniche e/o componenti differenti rispettivamente: 1) MASW con geofoni verticali e sorgente con forza verticale 2) MASW con geofoni orizzontali orientati ortogonalmente alla traccia dello stendimento e con sorgente a battuta orizzonte e 3) due prove passive con tecnica HVSR che utilizza la vibrazione ambientale come sorgente. La procedura consente di individuare una soluzione univoca media per l'intero set di dati acquisiti (MASW-ZVF, MASW-THF, media HVSR-1). Si precisa che per la simulazione del dato della componente ZVF non si è riusciti a riprodurre perfettamente l'eccitazione dei modi a frequenze > di 10 Hz. Seppur sensibile è evidente uno scostamento tra simulazione e dati sperimentali legata a tale aspetto con distribuzione di energia tra i modi che ad alte frequenze risulta sensibilmente maggiore in termini di velocità apparente.

Sono individuabili (discriminabili) 3 intervalli principali nei primi 30 m caratterizzati da una evidente discontinuità in termini di rigidezza tra terreni sciolti superficiali e sottostanti terreni cementati così sintetizzabili:

1. 0 - 2,5 m; primo livello suolo misto di superficie, riporti e rimaneggiamenti superficiali (primi 0,2-0,5 m) seguito da sabbie con limo e inclusioni di ghiaia moderatamente addensate. Le Vs sono dell'ordine dei 240-260 m/s.
2. 2,5 - 6,5/7,0 m; prevalenza di terreni sabbioso ghiaiosi e ghiaiosi sabbiosi da moderatamente ad addensati con incremento delle VS con la profondità, Vs = 330-390 m/s
3. 6,5/7,0 m fino oltre i 30 m; prevalenza di terreni ghiaiosi e ghiaioso sabbiosi ben addensati stratificati, Vs = 510-540 m/s

Oltre i 30 m; prevalenza di terreni ghiaiosi e ghiaioso sabbiosi ben addensati localmente cementati senza dar luogo a marcati contrasti di rigidezza.

Il sito presenta un profilo verticale di Vs compatibile in termini di **sole velocità equivalenti nei primi 30 m di copertura** con una categoria di suolo B, con substrato sismico a profondità >> 30 m da piano fondazione.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Foto 1 – Traccia dello stendimento MASW, postazione H/V-1,



Aviano il 20.04.2022

TECNICO RESPONSABILE

Dott. Geol. Marco Basso Fin

