

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it

REGIONE DEL VENETO

**COMUNE DI
CASTELFRANCO V.TO**

**PROVINCIA DI
TREVISO**

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI 3^A LIVELLO

VARIANTE AL PUA AREA D55

COMMITTENTI: LEVANTE s.r.l – ANCORA s.r.l.

Pieve del Grappa, Marzo 2022

Il geologo

Marco dott. Bernardi



1. PREMESSA

Su incarico delle ditte Levante srl e Ancora srl, questo studio ha effettuato una indagine geologica, geomorfologica, idrogeologica, risposta sismica locale, richiesta dagli organi tecnici competenti, per la variante al PUA D55, nel Comune di Castelfranco Veneto (TV).

In seguito all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.03.2003 questo comune è stato classificato sismico e rientra nella "zona n.3", con DGRV n.244 del 09.03.2021 questo comune è stato inserito in "**zona 2**". Nel D.M. 21.01.1981 sono contenute le " Norme Tecniche ... " di attuazione della sopracitata legge n. 64 poi precisata dalle " Istruzioni con circolare LL.PP. 03.06.1981 n. 21597. Nel D.M. 11.03.1988 sono contenute le " Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. La Regione Veneto con circolare n.9 del 05.04.2000 "Indirizzi in materia di prescrizioni tecniche da osservare per la realizzazione di opere pubbliche e private. Obblighi derivanti dalla L. 02.02.1974 n.64 e dal D.M. 11.03.1988", ha prescritto a tutti gli Enti locali del Veneto la relazione geotecnica "per le opere pubbliche o private ...". Con la Legge del 24.06.2009 n.77 "Interventi urgenti a favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo di aprile 2009...", all'art. 1 bis, si anticipa al 01.07.2009 l'entrata in vigore delle "Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14.01.2008. Successivamente aggiornata dal DM 17.01.2018.

Le indagini sono consistite in :

- rilievo geologico, geomorfologico e idrogeologico di un'area convenientemente estesa;
- sondaggi;
- prove penetrometriche dinamiche superpesanti;
- indagine sismica;
- elaborazione dei dati di campagna.

Le informazioni e le indagini locali sono state inquadrare nelle conoscenze geologiche e idrogeologiche regionali, reperibili nella bibliografia ufficiale e in studi editi e inediti.

Gli elaborati cartografici realizzati sono i seguenti:

➤ Microzonazione sismica di terzo livello

- Carta delle Indagini;
- Carta della Pericolosità Sismica Locale;
- Carta delle Frequenze Naturali dei Depositi;
- Carta di Microzonazione Sismica di 3^a livello FA0105);
- Carta di Microzonazione Ssismica di 3^a livello (FA0510).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO

L'area in esame appartiene alla media-bassa pianura Veneta, caratterizzata da lineamenti morfologici dolci e regolari. I caratteri originari tuttavia sono stati in gran parte obliterati dall'intenso modellamento antropico, iniziatisi con l'attività agricola e ampliatisi poi con lo sviluppo industriale.

Il reticolo idrografico è rappresentato da canali, fossati e scoli. I caratteri geomorfologici sono stati abbondantemente approfonditi da numerosi studi, da cui risulta che l'attuale struttura deriva dalla sovrapposizione di più cicli di sedimentazione fluvioglaciali e alluvionali. Affiorano sia terreni costituiti da depositi alluvionali, più o meno recenti, connessi con le divagazioni del F. Brenta e del F. Piave, con le imponenti correnti che si espandevano nella pianura.

Nella zona di Castelfranco Veneto i depositi superficiali sono dovuti prevalentemente ai torrenti Muson, Avenale e Brenton.

Le varie direttrici hanno pertanto generato dei propri coni di sedimentazione che si sono variamente sovrapposti e anastomatizzati. La deposizione dei materiali, orizzontale e verticale, è stata determinata dalla granulometria degli stessi, nonché dall'energia idraulica delle correnti di deposizione. Si è venuto in tal modo a creare una classazione in senso Nord-Sud delle alluvioni: nell'alta pianura trevigiana, si sviluppa una estesa fascia (denominata alta pianura) in cui il materasso alluvionale risulta costituito prevalentemente da ghiaie più o meno sabbiose. Spostandosi verso Sud la percentuale della matrice fine aumenta sempre più evidenziata dalla formazione di lenti argillose che via via diventano più consistenti formando livelli spessi e continui.

Nell'alta pianura, si sviluppa una estesa fascia in cui il materasso alluvionale risulta probabilmente costituito, per tutto il suo spessore, da materiali ghiaiosi e più o meno sabbiosi, poggiati direttamente sopra il basamento prequaternario sepolto. I sedimenti quaternari hanno localmente composizione granulometrica variabile sia sulla verticale che sull'orizzontale, e con ogni probabilità nel complesso a ghiaie più o meno sabbiose dominanti compaiono livelletti o lenti di sabbia o anche livelli o lenti limoso-argillosi. Questi ultimi sono caratterizzati da una tendenziale lenticolarità, per cui si sviluppano su aree limitate e sono discontinui.

Dalla fascia indifferenziata dei sedimenti grossolani, scendendo verso sud, lo spessore complessivo delle ghiaie diminuisce progressivamente: i singoli letti ghiaiosi si assottigliano sempre più e la maggior parte di essi si esaurisce entro i materiali limoso-argillosi. Alla differenziazione e alla progressiva riduzione dei letti ghiaiosi verso sud, fa riscontro l'aumento rapido dei materiali fini, limoso-argillosi. Il sottosuolo della media-bassa pianura Veneta è perciò caratterizzato da un sottosuolo formato in prevalenza da orizzonti limoso-argillosi, nella bassa pianura sono generalmente di origine marina. I corpi ghiaiosi delle grandi conoidi alluvionali sono ormai molto rari, di spessore piuttosto limitato e quasi sempre ad elevate profondità, soprattutto nella bassa pianura.

In particolare la litologia dell'area è nota nei suoi caratteri generali dalla bibliografia e da tutta una serie di indagini condotte in zona per studi di carattere stratigrafico ed idrogeologico. L'esame della stratigrafia dei pozzi siti nelle vicinanze alla zona in esame, permette di confermare il modello indicato sino alla profondità di almeno 400 metri.

La composizione mineralogica dei materiali alluvionali in oggetto risulta costante su tutta la potenza analizzata. Gli elementi che la costituiscono sono in prevalenza di natura calcareo-dolomitica, in quantità minore sono presenti elementi derivanti da rocce sedimentarie, intrusive, effusive e metamorfiche.

3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La situazione idrogeologica del sottosuolo è condizionata dalle caratteristiche granulometriche e strutturali del materasso alluvionale.

La Pianura Veneta è costituita da un materasso di materiali sciolti i cui caratteri granulometrici, e la successione stratigrafica, risultano notevolmente variabili sia arealmente che in profondità. In generale si suddivide la pianura in due zone con caratteristiche diverse: l'alta pianura e la media-bassa pianura. Il passaggio tra l'alta e la media-bassa pianura è individuabile in corrispondenza della fascia delle risorgive (intersezione tra superficie freatica e superficie topografica), cioè in corrispondenza di quelle sorgenti che si formano per contrasto di permeabilità, in seguito all'aumento, nella sezione verticale, della frazione limoso-argillosa. Tale aspetto è peraltro molto rilevante anche dal punto di vista idrografico.

Nell'area di media-bassa pianura predominano i sedimenti a granulometria fine (argilla, limo) che costituiscono livelli arealmente discontinui e potenti con intercalazioni di livelli ghiaioso-sabbiosi suborizzontali.

Dal punto di vista idrogeologico, nell'alta pianura è presente un unico acquifero indifferenziato freatico, mentre nell'area di media-bassa pianura coesistono diversi livelli acquiferi in pressione. Nell'insieme essi formano un sistema multifalde in pressione alimentato direttamente dall'acquifero indifferenziato presente nell'alta pianura, che viene intensamente utilizzato per usi civili e per attività produttive.

Generalmente il primo sottosuolo contiene un acquifero freatico di scarso interesse economico, alimentato fondamentalmente dalle piogge, dai corsi d'acqua e dalle acque di irrigazione.

In alcune aree della Pianura Veneta, dove nel sottosuolo sussistono potenti livelli ghiaiosi appartenenti ad estese conoidi alluvionali, le falde in pressione sono particolarmente ricche. Si tratta di veri e propri "campi acquiferi", situati normalmente lungo le zone assiali di antiche grandi aree di deiezione alluvionale, ora abbandonate dal fiume. E' la situazione degli acquiferi del Trevigiano, e del Vicentino legati rispettivamente a zone di divagazione degli antichi corsi del Piave e del Brenta.

A valle della media pianura, e perciò nella bassa pianura le risorse idriche sotterranee sono molto povere. Mancano normalmente nel sottosuolo, almeno fino alle profondità esplorate, acquiferi ghiaiosi ad elevata permeabilità. In certe aree della bassa pianura, esistono tuttavia falde in pressione insediate in acquiferi prevalentemente sabbiosi; le loro portate ai pozzi sono molto modeste.

L'acquifero indifferenziato e quello inferiore con falde confinate costituiscono la principale risorsa per l'approvvigionamento idrico della Regione Veneto. La profondità dei pozzi dell'acquifero inferiore con falde confinate, utilizzati a scopi produttivi, sono generalmente superiori ai 100 metri e raggiungono anche i 600 metri circa.

I fattori di alimentazioni naturali delle falde sono individuabili nella dispersione dei corsi d'acqua, nella infiltrazione diretta degli afflussi meteorici (in questa sono inclusi i ruscellamenti provenienti dai versanti posti ai limiti settentrionale e occidentale della pianura Veneta), e nelle infiltrazioni delle acque irrigue. La loro azione è efficace solo lungo la fascia pedemontana, nel tratto di pianura ad acquifero indifferenziato, dove l'infiltrazione delle acque dalla superficie può giungere alla falda freatica e, indirettamente, alle falde in pressione ad essa collegate.

Il fattore di ricarica più importante è la dispersione di subalveo dei corsi d'acqua. Il processo inizia allo sbocco in pianura delle valli montane e prosegue per vari chilometri verso valle. Lungo i tronchi d'alveo disperdenti si possono rilevare marcatissimi assi di alimentazione. L'alimentazione per dispersione d'acqua dagli alvei al sottosuolo determina tutta una serie di caratteri peculiari nelle falde: una strettissima analogia tra il regime dei corsi d'acqua e quello degli acquiferi sotterranei; una maggiore oscillazione della falda a ridosso dei tratti disperdenti; direzioni di deflusso della falda divergenti lateralmente dai letti fluviali.

Il processo di dispersione è messo in risalto dalla mancanza di deflussi superficiali in alveo per estesi periodi dell'anno lungo buona parte dei tronchi disperdenti. Il fenomeno si verifica quando le portate di magra sono interamente assorbite dal sottosuolo allo sbocco del fiume in pianura.

A valle del tratto disperdente, i rapporti tra i fiumi e la falda si invertono. A cavallo della fascia delle risorgive cessa il processo di dispersione e per un breve tratto i fiumi esercitano una sensibile azione di drenaggio sulla falda, la cui superficie piezometrica si trova a quota maggiore di quella dell'acqua fluviale.

L'importanza del processo di dispersione nella ricarica naturale degli acquiferi sotterranei è valutabile dalle dimensioni delle portate disperse e dal confronto tra queste e i valori delle portate di alimentazione attribuibili agli altri fattori.

Nella ricarica naturale delle falde è rilevante anche il contributo delle precipitazioni dirette sull'area di alimentazione degli acquiferi. Nel territorio compreso tra i Lessini e il Muson dei Sassi, che riunisce le pianure del Leogra-Astico, del Brenta e del Piave, è stato calcolato

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it

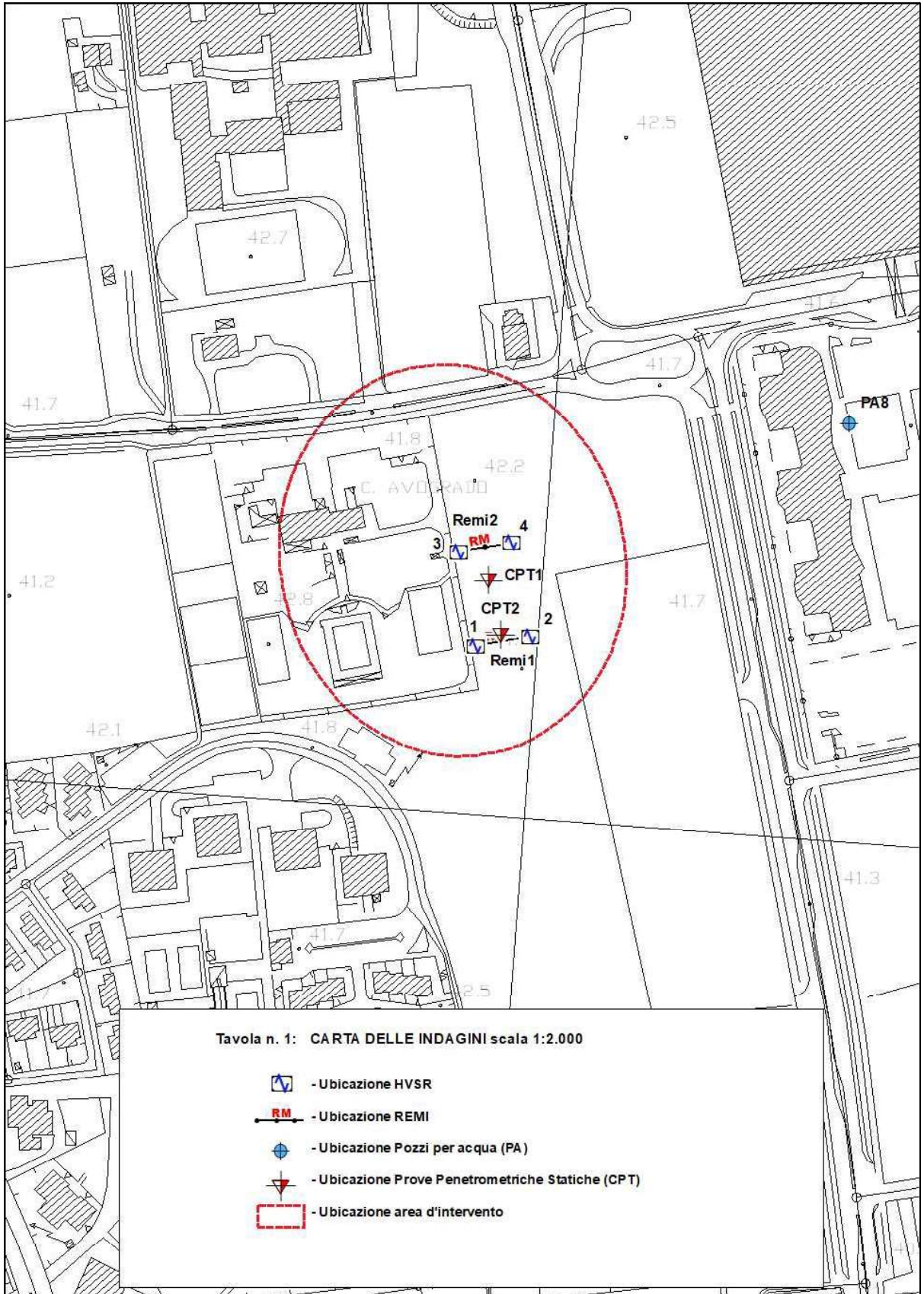
che, con una piovosità media annua di circa 1100 mm, 440 mm s'infiltrano nel sottosuolo, pari ad una portata di circa 20 mc/sec. Poiché nel territorio le dispersioni in alveo sono circa 60 mc/sec, il contributo dell'infiltrazione dalle piogge costituisce il 30-35% di quello legato ai processi di dispersione in alveo.

La differente importanza dei due fattori principali di alimentazione naturale risulta evidente anche dal confronto tra la portata complessiva delle risorgive e la portata delle infiltrazioni dirette degli afflussi meteorici: la portata di risorgiva, che in pratica rappresenta lo scarico pressochè completo della falda freatica, raggiunge i 50 mc/sec, mentre la portata delle infiltrazioni dalle piogge è di soli 20 mc/sec circa. Ne consegue che la ricarica operata dalle piogge dirette giustifica meno della metà della restituzione freatica ai fontanili.

Un ulteriore contributo all'alimentazione delle falde è fornito dall'infiltrazione delle acque irrigue, il cui uso è ancora ampiamente diffuso nella pianura del Piave e del Brenta. Le irrigazioni a scorrimento, che sono il tipo più comune, forniscono al sottosuolo ghiaioso dell'alta pianura infiltrazioni fino al 30-40% delle acque immesse.

Da misure freatimetriche eseguite nell'area in esame in un periodo di magra, la superficie freatica era a -10 metri dal piano campagna. Nell'area di Castelfranco Veneto il valore di oscillazione della falda, registrata nel periodo 1927-1972 è di circa 4.0 metri, per cui il massimo livello della falda, nel sito in esame, può raggiungere circa i - 6.00 metri dal piano campagna.

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it



4. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Allo scopo di definire le caratteristiche sismiche del sottosuolo sono state eseguite due prove penetrometriche statiche (CPT) ed è stata inserita la stratigrafia di un pozzo per acqua (PA)

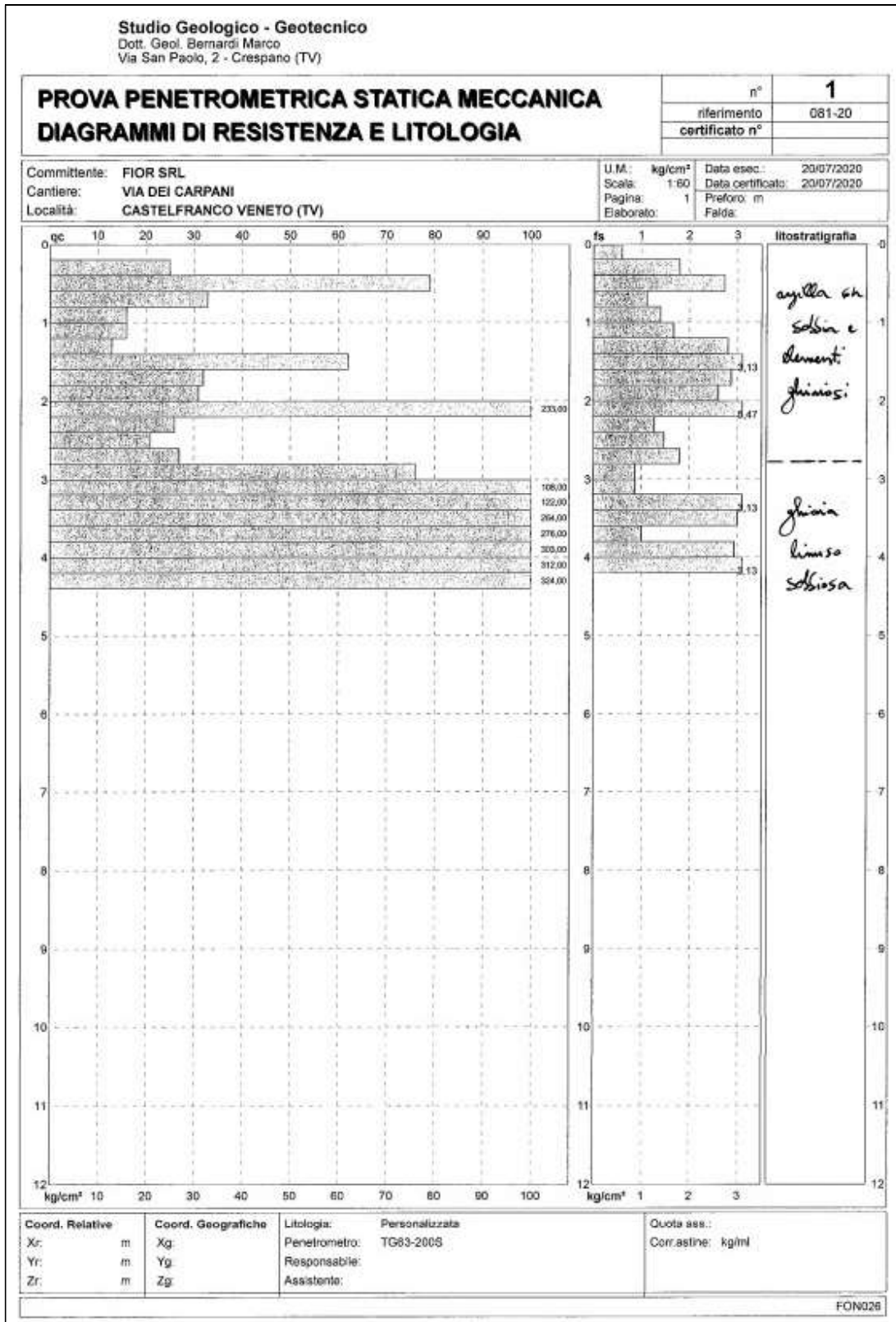
4.1 Prove Penetrometriche statiche (CPT)

Per l'esecuzione della prova penetrometrica statica è stato utilizzato un penetrometro statico idraulico di tipo olandese da 20 tonnellate di spinta massima, equipaggiato con cella di lettura idraulica e punta Begemann (cono con sezione di 10 cmq e angolo di apertura della punta di 60 gradi per la misura di R_p , manicotto con superficie di 150 cmq per la misura di RI). Per ogni metro di infissione sono stati rilevati ai manometri cinque valori di R_p , resistenza alla punta, e di R_t , resistenza totale, da cui si ricava $RI=R_t-R_p$. I valori misurati sono stati caricati in un programma di calcolo automatico che provvede alla realizzazione dei diagrammi R_p/RI -Profondità e di un "modello geotecnico" del sottosuolo attraversato; le coppie di dati di R_p e RI vengono utilizzate dal programma per individuare la natura granulometrica del terreno in base al rapporto R_p/RI (alto per i materiali incoerenti, basso per i materiali coesivi) e per stimare c_u (coesione non drenata), e ϕ (angolo di attrito interno). In particolare l'elaborazione dei dati viene riassunta in tre tabelle, così denominate: "Letture di campagna / valori di resistenza", "Tabella parametri geotecnici", e "Diagramma di resistenza". La prima rappresenta in grafico l'andamento dei valori di RI , R_p e R_p/RI in funzione della profondità investigata; la seconda i valori numerici di R_p , R_p/RI , la natura litologica dei terreni attraversati, il γ peso dell'unità di volume (efficace) del terreno, ρ'_{vo} tensione verticale geostatica (efficace) del terreno, c_u coesione non drenata (terreni coesivi), OCR grado di sovraconsolidazione (terreni coesivi), E_u modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi), E_u' modulo di deformazione drenato (terreni granulari), M_o modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari), D_r densità relativa (terreni granulari N.C. – normalmente consolidati), ϕ' angolo d'attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) – (ϕ_{1s} - sabbia fine uniforme; ϕ_{2s} - sabbia media uniforme/fine ben gradata; ϕ_{3s} - sabbia grossa uniforme/media ben gradata; ϕ_{4s} - sabbia e ghiaia poco limosa/ghiaietto uniforme; ϕ_{dm} – sabbie N.C.; ϕ_{my} – sabbie limose), A_{max} accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari); la terza tabella *Diagramma di resistenza* indica l'andamento grafico dei valori di R_p e di RI in funzione della profondità investigata.

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it

Studio Geologico - Geotecnico Dott. Geol. Bernardi Marco Via San Paolo, 2 - Crespano (TV)							
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA						n°	1
LETTURE CAMPAGNA: PUNTA, LATERALE, TOTALE						riferimento	081-20
						certificato n°	
Committente: FIOR SRL				U.M.: kg/cm ²		Data eseg.: 20/07/2020	
Cantiere: VIA DEI CARPANI				Pagina: 1		Data certificato: 20/07/2020	
Località: CASTELFRANCO VENETO (TV)				Elaborato:		Preforo: m	
						Falda:	
H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	F -	Fr %
0,20	0,00	0,00	-	0,00	0,60	0	
0,40	25,00	34,00	-	25,00	1,80	14	7,2
0,60	79,00	106,00	-	79,00	2,73	29	3,5
0,80	33,00	74,00	-	33,00	1,13	29	3,4
1,00	16,00	33,00	-	16,00	1,40	11	8,8
1,20	16,00	37,00	-	16,00	1,67	10	10,4
1,40	13,00	38,00	-	13,00	2,80	5	21,5
1,60	62,00	104,00	-	62,00	3,13	20	6,0
1,80	32,00	79,00	-	32,00	2,87	11	9,0
2,00	31,00	74,00	-	31,00	2,60	12	8,4
2,20	233,00	272,00	-	233,00	5,47	43	2,3
2,40	26,00	108,00	-	26,00	1,27	20	4,9
2,60	21,00	40,00	-	21,00	1,47	14	7,0
2,80	27,00	49,00	-	27,00	1,80	15	6,7
3,00	76,00	103,00	-	76,00	0,87	87	1,1
3,20	108,00	121,00	-	108,00	0,67	124	0,6
3,40	122,00	135,00	-	122,00	3,13	39	2,6
3,60	264,00	311,00	-	264,00	3,00	88	1,1
3,80	276,00	321,00	-	276,00	1,00	276	0,4
4,00	303,00	318,00	-	303,00	2,93	103	1,0
4,20	312,00	356,00	-	312,00	3,13	100	1,0
4,40	324,00	371,00	-	324,00	0,00	100	0,0
H = profondità				qc = resistenza di punta			
L1 = prima lettura (punta)				fs = resistenza laterale calcolata			
L2 = seconda lettura (punta + laterale)				0,20 m sopra quota di qc			
Lt = terza lettura (totale)				F = rapporto di Begemann (qc / fs)			
CT = 10,00 costante di trasformazione				Fr = rapporto di Schmertmann (fs / qc)%			
FON026							

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
 Via S. Paolo n. 2
 31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
 Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
 geol.bernardi@tiscali.it



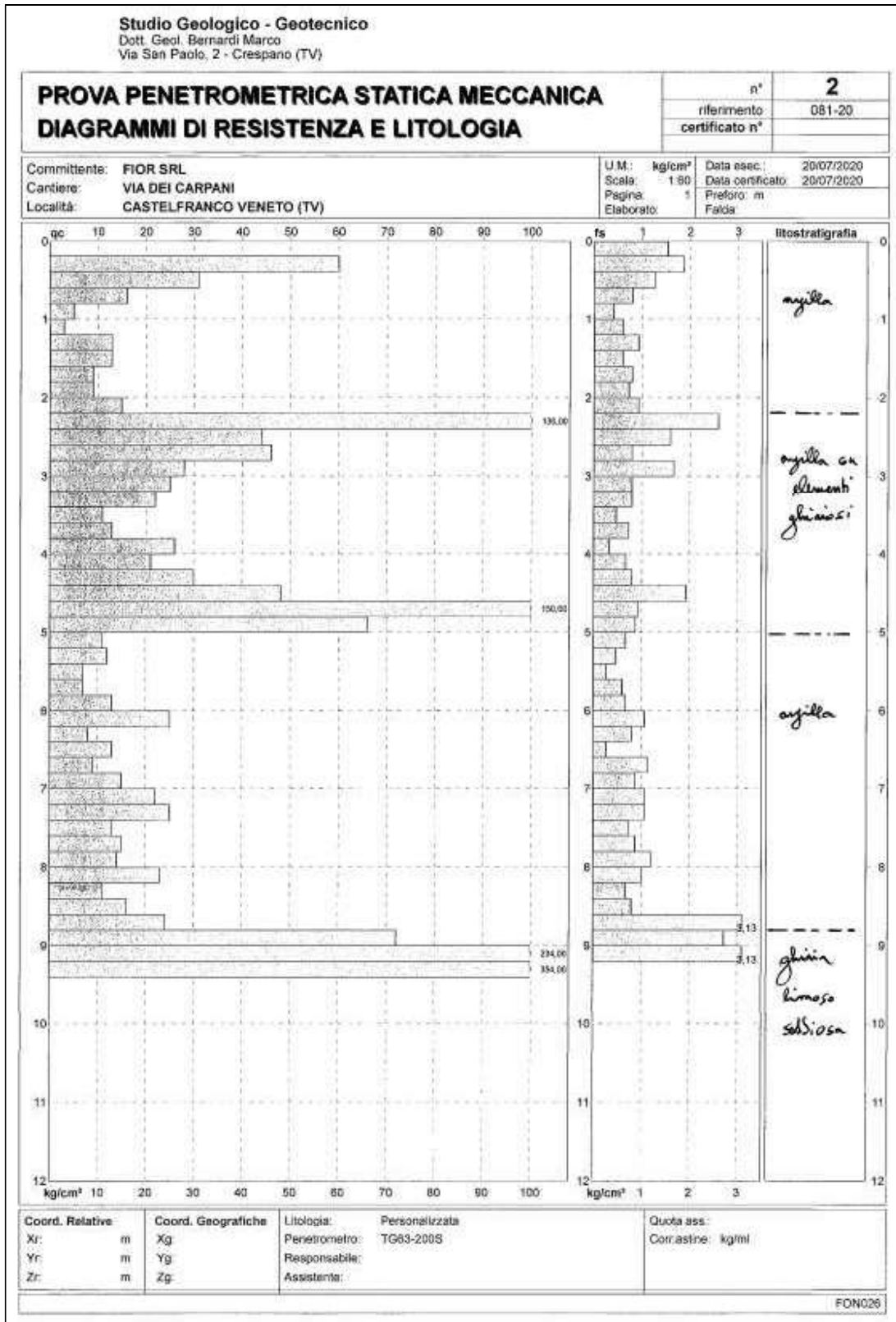
DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it

Studio Geologico - Geotecnico Dott. Geol. Bernardi Marco Via San Paolo, 2 - Crespano (TV)								n° 2							
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA								riferimento	081-20						
LETTURE CAMPAGNA: PUNTA, LATERALE, TOTALE								certificato n°							
Committente: FIOR SRL						U.M.: kg/cm ²	Data eseg.: 20/07/2020								
Cantiere: VIA DEI CARPANI						Pagina: 1	Data certificato: 20/07/2020								
Località: CASTELFRANCO VENETO (TV)						Elaborato:	Preforo: m								
						Falda:									
H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	F -	Fr %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	F -	Fr %
0,20	0,00	0,00		0,00	1,53	0									
0,40	60,00	85,00		60,00	1,97	32	3,1								
0,60	31,00	59,00		31,00	1,27	24	4,1								
0,80	16,00	35,00		16,00	0,80	20	5,0								
1,00	5,00	17,00		5,00	0,40	13	8,0								
1,20	3,00	9,00		3,00	0,60	5	20,0								
1,40	13,00	22,00		13,00	0,93	14	7,2								
1,60	13,00	27,00		13,00	0,60	22	4,6								
1,80	9,00	18,00		9,00	0,80	11	8,9								
2,00	9,00	21,00		9,00	0,73	12	8,1								
2,20	15,00	26,00		15,00	0,93	16	6,2								
2,40	130,00	144,00		130,00	2,60	50	2,0								
2,60	44,00	83,00		44,00	1,60	28	3,6								
2,80	46,00	70,00		46,00	0,80	56	1,7								
3,00	28,00	40,00		28,00	1,57	17	5,0								
3,20	25,00	50,00		25,00	0,80	31	3,2								
3,40	22,00	34,00		22,00	0,80	28	3,6								
3,60	11,00	23,00		11,00	0,47	23	4,3								
3,80	13,00	20,00		13,00	0,73	18	5,6								
4,00	26,00	37,00		26,00	0,33	79	1,3								
4,20	21,00	26,00		21,00	0,67	31	3,2								
4,40	30,00	40,00		30,00	0,80	38	2,7								
4,60	48,00	60,00		48,00	1,93	25	4,0								
4,80	150,00	179,00		150,00	0,93	161	0,6								
5,00	66,00	80,00		66,00	0,87	76	1,3								
5,20	11,00	24,00		11,00	0,67	16	6,1								
5,40	12,00	22,00		12,00	0,47	26	3,9								
5,60	7,00	14,00		7,00	0,27	26	3,9								
5,80	7,00	11,00		7,00	0,50	12	8,6								
6,00	13,00	22,00		13,00	0,57	19	5,2								
6,20	25,00	35,00		25,00	1,07	23	4,3								
6,40	8,00	24,00		8,00	0,80	10	10,0								
6,60	13,00	25,00		13,00	0,27	48	2,1								
6,80	9,00	13,00		9,00	1,13	8	12,6								
7,00	15,00	32,00		15,00	0,87	17	5,8								
7,20	22,00	35,00		22,00	1,07	21	4,9								
7,40	25,00	41,00		25,00	1,07	23	4,3								
7,60	13,00	29,00		13,00	0,73	18	5,6								
7,80	15,00	26,00		15,00	0,87	17	5,8								
8,00	14,00	27,00		14,00	1,20	12	8,6								
8,20	23,00	41,00		23,00	1,00	23	4,3								
8,40	11,00	26,00		11,00	0,67	16	6,1								
8,60	16,00	26,00		16,00	0,80	20	5,0								
8,80	24,00	36,00		24,00	3,13	8	13,8								
9,00	72,00	119,00		72,00	2,73	26	3,8								
9,20	234,00	275,00		234,00	3,13	75	1,3								
9,40	354,00	401,00		354,00											

H = profondità L1 = prima lettura (punta) L2 = seconda lettura (punta + laterale) Lt = terza lettura (totale) CT = 10,00 costante di trasformazione	qc = resistenza di punta fs = resistenza laterale calcolata 0,20 m sopra quota di qc F = rapporto di Begemann (qc / fs) Fr = rapporto di Schmertmann (fs / qc)%
---	---

FON026

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
 Via S. Paolo n. 2
 31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
 Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
 geol.bernardi@tiscali.it



4.2 Pozzo per acqua (PA)

Committente <u>Castelfranco servizi srl</u> Cantiere _____ Località <u>Castelfranco Veneto</u> Data inizio _____ Data Fine _____		SONDAGGIO PA8	FOGLIO Il geologo	
Scala 1:750	Stratigrafia	Descrizione	Profondità'	Potenza
7	x x x x	Terreno vegetale o riporto	2.50	2.50
	[Pattern]	Ghiaia, sabbia e argilla	8.00	5.50
14	[Pattern]	ciottoli con ghiaia e sabbia	15.00	7.00
21	[Pattern]	ciottoli e ghiaia	25.00	10.00
28	[Pattern]	ghiaia e sabbia con argilla	38.00	13.00
35	[Pattern]		54.00	16.00
42	[Pattern]	ciottoli con ghiaia e sabbia	63.00	9.00
49	[Pattern]		70.00	7.00
56	[Pattern]	ghiaia e argilla	77.00	10.00
63	[Pattern]	argilla	80.00	
70	[Pattern]	ciottoli con ghiaia e sabbia		
77	[Pattern]			
Perforazione a rotazione				

5. RISCHIO SISMICO

5.1 Indicazioni generali

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.03.2003 questo comune è stato classificato sismico e rientra nella "zona n.3", con DGRV n.244 del 09.03.2021 questo comune è stato inserito in "**zona 2**".

L'oggetto della norma, ripresa successivamente dalle *Norme tecniche per le costruzioni* DM 14 gennaio 2008, e dal successivo decreto 17.01.2018 *Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni* qui di seguito riportata, disciplina la progettazione e la costruzione di opere d'arte soggette ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su opere esistenti soggette al medesimo tipo di azioni sismiche.

Al paragrafo 3.2.2 «*Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*» si fa espresso riferimento ad indagini sismiche allo scopo di classificare il suolo di fondazione sulla base del valore di $V_{s,eq}$. Si sottolinea inoltre che "...i valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove, oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, ...con prove ad esempio penterometriche dinamiche ...e statiche".

Riportiamo di seguito il paragrafo 3.2.2 e 3.2.3 in parte, dell' "*Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni*" del 17.01.2018.

"3.2. Azione sismica

... La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria **A** quale definita al capitolo 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , come definite nel capitolo 3.2.1, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel capitolo 2.4. ...

...Per i valori di a_g , F_0 , e T^*_c , ...si fa riferimento agli allegati A e B del DM14.01.2008...

3.2.1 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel capitolo 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab 3.2.II, si può fare riferimento ad un approccio semplificato ...I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove, oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni

empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (m/sec), definita dall'espressione:

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

...H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/sec.

... Per depositi con profondità H del substrato superiore ai 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio è definita dal parametro Vs30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione...

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

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

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori ai 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 e 360 m/s.

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 metri.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (tab. 3.2.III):

Tabella 3.2.III – Categorie topografiche

- T1** – Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$;
- T2** – Pendi con inclinazione media $i > 15^\circ$;
- T3** – Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$;
- T4** – Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$.

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 metri.

3.2.3. Valutazione dell'azione sismica

3.2.3.2.1 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale del moto sismico, S_e , è definito dalle seguenti espressioni:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot [T/T_B + (1/\eta) \cdot F_0] (1 - T/T_B)$$

...

nelle quali:

- T è il periodo di vibrazione;
- S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la seguente relazione $S = S_s \cdot S_T$ essendo S_s il coefficiente di amplificazione topografica (v. tab. 3.2IV) e S_T il coefficiente di amplificazione topografica (vedi tab. 3.2 V);
- η ...
- F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha il valore minimo pari a 2,2;
- T_c è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da $T_c = C_c \cdot T^*c$, dove T^*c è definito dal capitolo 3.2 e C_c è un coefficiente funzione della categoria del sottosuolo (v. tab. 3.2IV);

...

Amplificazione stratigrafica

*Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_s e C_c valgono 1. Per le categorie di sottosuolo **B**,*

C, D ed E i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T^*c relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella tab. 3.2IV, nelle quali $g=9.81 \text{ m/sec}^2$ è l'accelerazione di gravità ed T^*c è espresso in secondi.

Tabella 3.2.IV Espressioni di S_s e C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^*c)^{-0.20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^*c)^{-0.33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T^*c)^{-0.50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T^*c)^{-0.40}$

Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati in tab. 3.2 V, in funzione delle categorie topografiche definite in capitolo 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tabella 3.2.V Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T_1	/	1,0
T_2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T_3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T_4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore a 30°	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta, dove S_T assume il valore massimo riportato nella Tab. 3.2.V, fino alla base, dove S_T assume valore

unitario .

5.2 Sismicità del territorio

5.2.1 Premessa

Con la nuova normativa sismica, per definire l'azione sismica di progetto, si deve valutare l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale. Un modello di riferimento per la descrizione del moto sismico sul piano di fondazione è costituito dallo spettro di risposta elastico, altro modello consiste nel descrivere il moto del suolo mediante accelerogrammi.

Lo spettro di risposta elastico è costituito da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita allo smorzamento convenzionale del 5% e considerata indipendente dal livello di sismicità, moltiplicata per il valore della accelerazione massima convenzionale del terreno fondale "ag" che caratterizza il sito. Nella espressione dello spettro di risposta elastico, sia nella sua componente orizzontale che verticale, assume importanza non solo il parametro "ag" ma anche "S", quest'ultimo è il fattore che tiene conto della categoria del suolo di fondazione in funzione alla velocità delle onde di taglio Vs, e della componente di amplificazione topografica del sito.

Con l'OPCM n. 3519 del 28.04.2006 e DGRV n.71/2008 si approva la "Mappa di pericolosità sismica del territorio Nazionale" espressa in termini di accelerazione massima al suolo (*ag max*) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni) riferita ai suoli molto rigidi ($V_s > 800$ m/sec). Il valore di "ag", per il Comune di Castelfranco Veneto, in zona "2", riferita a suoli molto rigidi ($V_s > 800$ m/s) varia da 0,150g a 0.200g.

Per quanto riguarda la pericolosità di base del sito di intervento, in riferimento ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ($T_r = 475$ anni), il calcolo eseguito con il programma "Spettri di risposta – ver. 1.0.3" del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici mediante interpolazione per superficie rigata, individua la pericolosità sismica del sito di intervento con un valore di **ag** riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s pari a **0.177g.**

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
 Via S. Paolo n. 2
 31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
 Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
 geol.bernardi@tiscali.it

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c [s]
30	0.046	2.482	0.236
50	0.061	2.477	0.254
72	0.074	2.439	0.265
101	0.088	2.412	0.273
140	0.103	2.398	0.282
201	0.122	2.399	0.291
475	0.177	2.395	0.314
975	0.237	2.409	0.331
2475	0.341	2.438	0.349

E 2
FASE 3

Tab. 1 - Parametri a_g , F_0 , T_c per i periodi di ritorno T_R di riferimento (da software LL.PP. "Spettri NTC vers. 1.0.3")

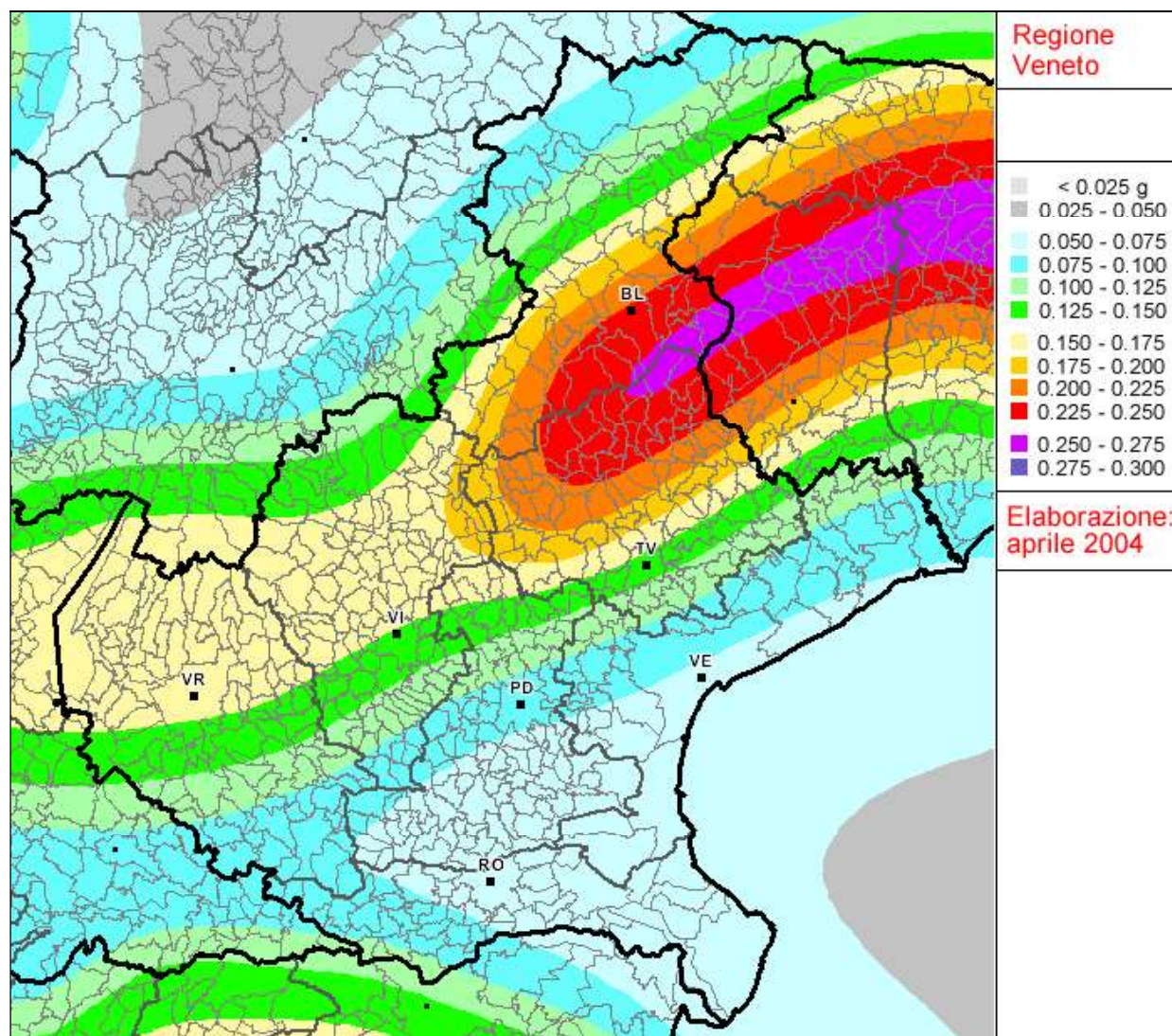


Fig. 1 - Mappa della pericolosità sismica della Regione del Veneto espressa in termini di accelerazione massima al suolo (ag_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni) riferita ai suoli molto rigidi ($V_s > 800 \text{ m/sec}$)

Nel 2004 è stato aggiornato il Catalogo Parametrico dei Terremoti (CPTI04 - catalogo dei terremoti dal 217 a.C. al 2002) da parte di INGV; dall'analisi di questo catalogo possiamo rilevare che i terremoti aventi epicentro entro un raggio di circa 30 km dal centro abitato di Castelfranco Veneto e con magnitudo $M_{aw} \geq 5$ sono i seguenti:

- anno 1268 nel Trevigiano con $M_{aw}=5.37$;

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it

- anno 1695 nell'Asolano con $M_{aw}=6.61$;
- anno 1836 nel Bassanese con $M_{aw}=5.48$;
- anno 1860 nel Valdobbiadense con $M_{aw}=5.17$;
- anno 1861 nella zona di Castelfranco V.to con $M_{aw}=5.03$;
- anno 1887 nell'Asolano con $M_{aw}=5.17$;
- anno 1894 nella zona di Fonzaso con $M_{aw}=5.03$;
- anno 1895 nel Valdobbiadense con $M_{aw}=5.06$;
- anno 1900 nel Valdobbiadense con $M_{aw}=5.22$;
- anno 1943 nel Valdobbiadense con $M_{aw}=5.18$.

Il sisma con maggiore intensità negli ultimi 2000 anni, con epicentro nel Trevigiano è avvenuto il 25.02.1695 nell'asolano (il CPTI 15 lat. 45,861, long. 11,910 poco a Sud del cimitero di Cavaso del Tomba) con intensità epicentrale di 10 e magnitudo $M_w=6.4\pm 0.10$.

Il DBMI11 dell'INGV (Database Macrosismico Italiano 2011) di Fig. 2 e Fig. 3 evidenziano la distribuzione delle intensità sismiche (scala MCS- Mercalli/Cancani/Sieberg1930) del terremoto di maggiore magnitudo (1695), avvenuto nell'area immediatamente vicina al sito d'interesse.

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it

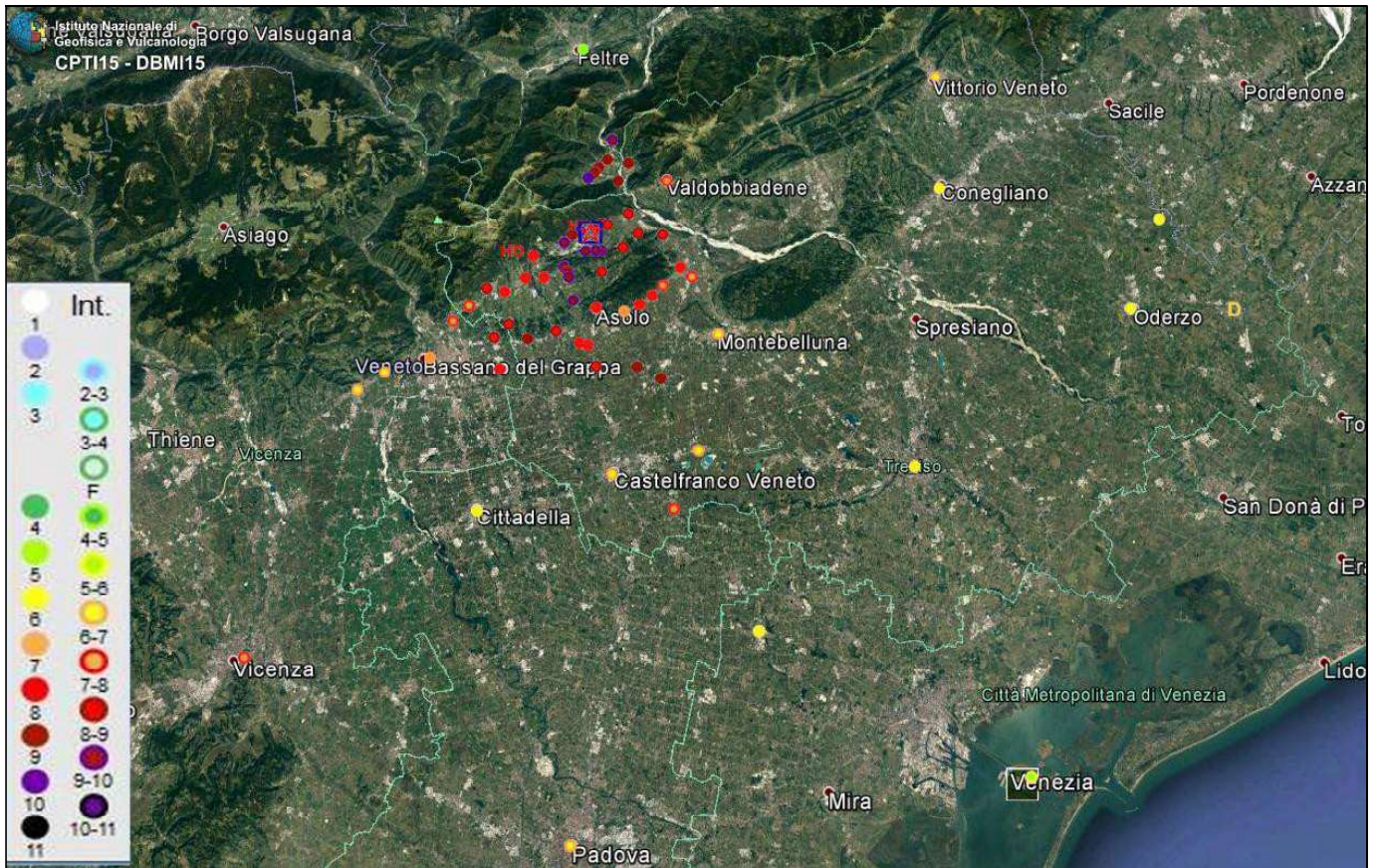


Fig.2 - Distribuzione delle intensità dal terremoto del 1695 con epicentro a Cavaso del Tomba (TV).

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
 Via S. Paolo n. 2
 31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
 Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
 geol.bernardi@tiscali.it

Terremoto 1695 02 25 05:30 Asolano				
Studio macros. Guidoboni et al., 2007 [Np 82, Imax 10]				
Epicentro	CPTI11	<input type="checkbox"/>	Mw 6.48	
	macro-sismico	<input type="checkbox"/>	Mw 6.48	
Località	Sc	Lat	Lon	I [MCS]
Alano di Piave		45.907	11.909	10
Altivole		45.753	11.956	10
Caselle		45.743	11.981	10
Quero		45.921	11.931	9-10
Vas		45.938	11.937	9-10
Segusino		45.918	11.954	9-10
Campo		45.915	11.921	9-10
Castelcucco		45.831	11.884	9-10
Cavaso del Tomba (Caniezza)	MS	45.863	11.899	9-10
Colmirano		45.911	11.916	9-10
Fener		45.904	11.942	9-10
Asolo		45.801	11.914	9
Borso del Grappa		45.820	11.796	9
Coste		45.802	11.961	9
Crespignaga		45.797	11.944	9
Fonte		45.800	11.863	9
Pederobba		45.877	11.952	9
Possagno		45.854	11.881	9
San Zenone degli Ezzelini		45.779	11.839	9
Cornuda		45.831	12.007	8-9
Crespano del Grappa		45.827	11.838	8-9
Fietta		45.844	11.847	8-9
Liedolo		45.791	11.819	8-9
Maser		45.809	11.975	8-9
Monfumo		45.830	11.921	8-9
Paderno del Grappa		45.827	11.858	8-9
Pagnano		45.808	11.889	8-9
San Vito		45.755	11.912	8-9
Sant'Eulalia		45.817	11.815	8-9
Casella		45.789	11.915	8-9
Casoni		45.756	11.809	8
Muliparte		45.817	11.987	8
Mussolente		45.781	11.803	8
Nogarè		45.823	12.019	8
Romano d'Ezzelino		45.795	11.759	8
Semonzo		45.807	11.776	8
Valdobbiadene		45.901	11.996	8
Vicenza		45.549	11.549	8
Motta di Livenza		45.776	12.607	7-8
Bassano del Grappa		45.767	11.734	7-8
Marostica		45.744	11.657	7-8
Soave		45.418	11.248	7
Treviso		45.669	12.244	7
Castelfranco Veneto		45.671	11.926	7
Verona		45.438	10.994	7
Cologna Veneta		45.309	11.385	7
Vittorio Veneto [Vittorio]		45.982	12.305	7
Conegliano		45.887	12.298	7
Guastalla		44.921	10.654	7
Marsan		45.757	11.686	7
Montebelluna		45.776	12.045	7
Oderzo		45.781	12.494	7
Padova		45.407	11.876	7

Fig. 3 - Distribuzione delle intensità dal terremoto del 1695 con epicentro a Cavaso del Tomba (TV).

5.2.2 Sorgenti sismogenetiche responsabili di terremoti

Verso la fine degli anni '90 sono iniziate delle ricerche geologico-strutturali, sul fronte pliocenico (7-1.5 milioni di anni fa) - quaternario (1.5 milioni all'attuale) nell'Italia Nord Orientale e sul suo potenziale sismogenetico; con tale studio sono stati ridefiniti l'architettura del fronte sepolto della pianura friulano-veneta, lo schema dei rapporti fra i sovrassorimenti paleocenici dinarici WSW-vergenti e quelli neoalpini SSE-vergenti e il quadro dell'evoluzione miocenica superiore-quaternaria dell'area.

In figura n. 4 è rappresentato lo schema dei segmenti ritenuti attivi, accompagnati dalla proiezione in superficie del piano di rottura rettangolare. In particolare per l'area del trevigiano Nord-occidentale e il feltrino, evidenziamo tre sorgenti sismogenetiche:

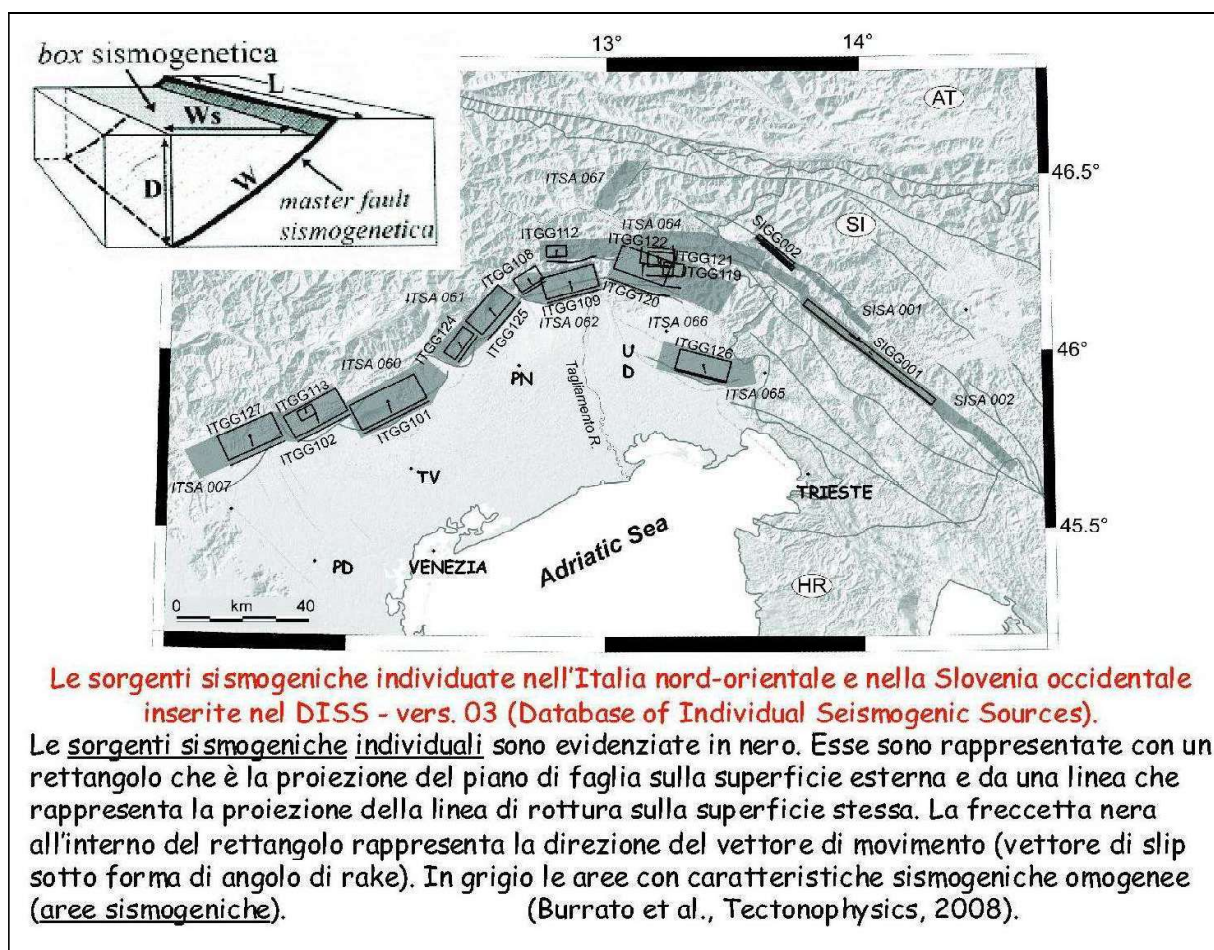


Fig. 4 - Sorgenti sismogenetiche dell'Italia Nord-Orientale (Burrato e altri 2008)

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
 Via S. Paolo n. 2
 31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
 Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
 geol.bernardi@tiscali.it

In Tab.2 sono riportate le sorgenti sismiche di terremoti di $M \geq 6$ e i relativi parametri geometrici e cinematici, dell'area in studio o immediatamente limitrofa. La struttura Montello-Conegliano sembra essere caratterizzata da comportamento silente, sulla base dell'assenza di terremoti storici riferibili alla sua attuazione, mentre per la Thiene-Bassano alcuni autori l'associano al terremoto del 03.01.1117 con epicentro nel Veronese.

ID	Name	LAT	LON	Length (km)	Width (km)	Depth (km)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Slip rate (mm/a)	Associated earthquake	M_w
ITGG127	Thiene-Bassano	45.69	11.54	18.0	9.5	1.0-5.8	244	30	80	0.10-1.00	Unknown	6.6
ITGG102	Bassano-Cornuda	45.75	11.79	18.0	9.5	1.0-6.4	240	35	80	0.70-0.87	25 Feb 1695	6.6
ITGG113	Monte Grappa	45.85	11.85	5.0	3.9	0.5-2.7	60	35	80	0.10-1.00	12 Jun 1836	5.5
ITGG101	Montello	45.88	12.31	22.0	11.2	1.0-8.2	242	40	80	0.47-1.56	Unknown	6.7
ITGG124	Cansiglio	45.98	12.41	10.0	6.4	1.5-6.4	214	50	60	0.52-0.65	18 Oct 1936	6.1

Tab.2 - Caratteristiche sismogenetiche di alcune sorgenti di Fig.5

Le zone sismogenetiche sono state definite in base a uniformità dello stile deformativo e della congruenza cinematica con il modello deformativo. In base alla cartografia ZS9 (v. fig. 5). Le aree del trevigiano settentrionale e del feltrino possono essere associate alle zone 905 e 906, caratterizzate da strutture a pieghe sud-vergenti del Sudalpino orientale e faglie inverse associate; la zona 905 include sorgenti sismogenetiche potenzialmente responsabili di terremoti con magnitudo $M > 6$, e racchiude un'area in cui la frequenza di eventi sismici (anche di magnitudo medio-alte) è nettamente superiore a quella delle zone adiacenti. La zona 905 comprende anche la sorgente del Montello (potenzialmente responsabile di terremoti con $M > 6$), che, in base ai dati attualmente disponibili, è definita come "silente" (cioè mancano, nei cataloghi disponibili, terremoti storici con magnitudo prossima a quella massima attesa). La zona 906 interessa l'area che va da Bassano del Grappa fino a Verona.

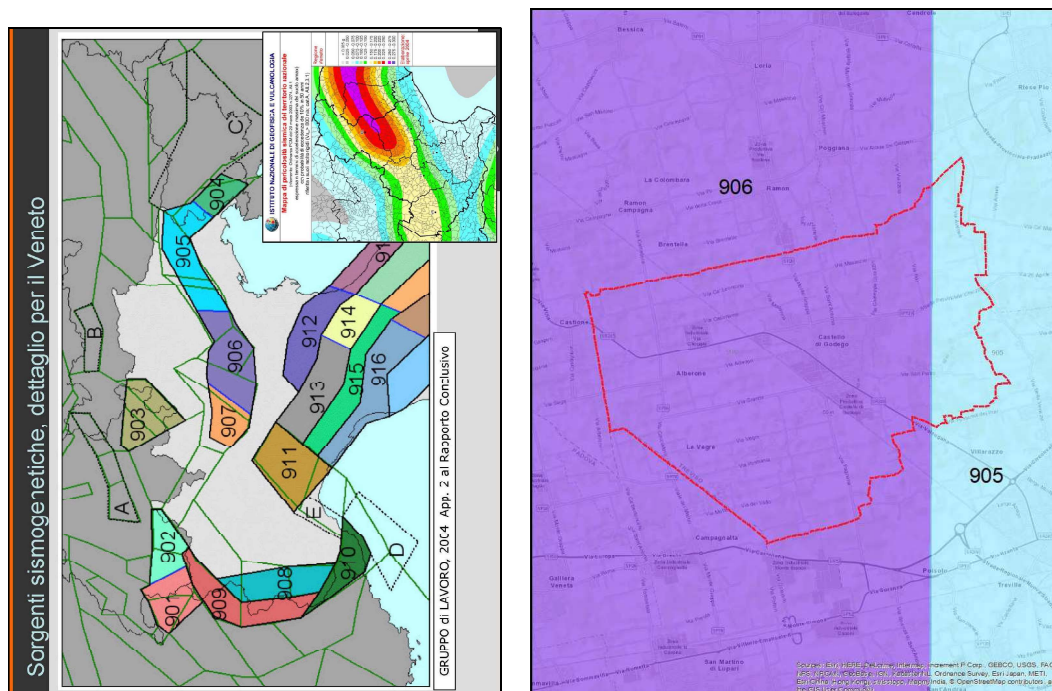


Fig. 5 - Zonazione sismogenetica ZS9 del Veneto

5.2.3 Faglie presunte nel territorio comunale

La presenza di “faglie attive e capaci” nel territorio comunale, è stato effettuato da dati bibliografici, presenti nel progetto Ithaca (Italy Hazard from Capable Faults):

NOME DELLA FAGLIA	ULTIMA ATTIVITA'	TIPO DI FAGLIA
Faglia Sandrigo-Burchisso 2	non definita	diretta

Si sottolinea che l'individuazione delle faglie attive e capaci è di fondamentale importanza. Per faglia attiva si intende una faglia che si è rotta almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (limite inferiore certo dalle datazioni radiometriche). Una faglia attiva è detta capace se raggiunge la superficie producendo una frattura del terreno ovvero deformazioni in superficie; l'andamento di questa rottura in superficie è la superficie della faglia (v. cap. 3.1.4 “Indirizzi e criteri di microzonazione sismica –2008 Conferenza Stato Regioni). Nel sito in esame non vi sono evidenze superficiali, scarpate di neoformazione, che possano avvalorare la presenza di faglie capaci ovvero creare una fagliazione di superficie.

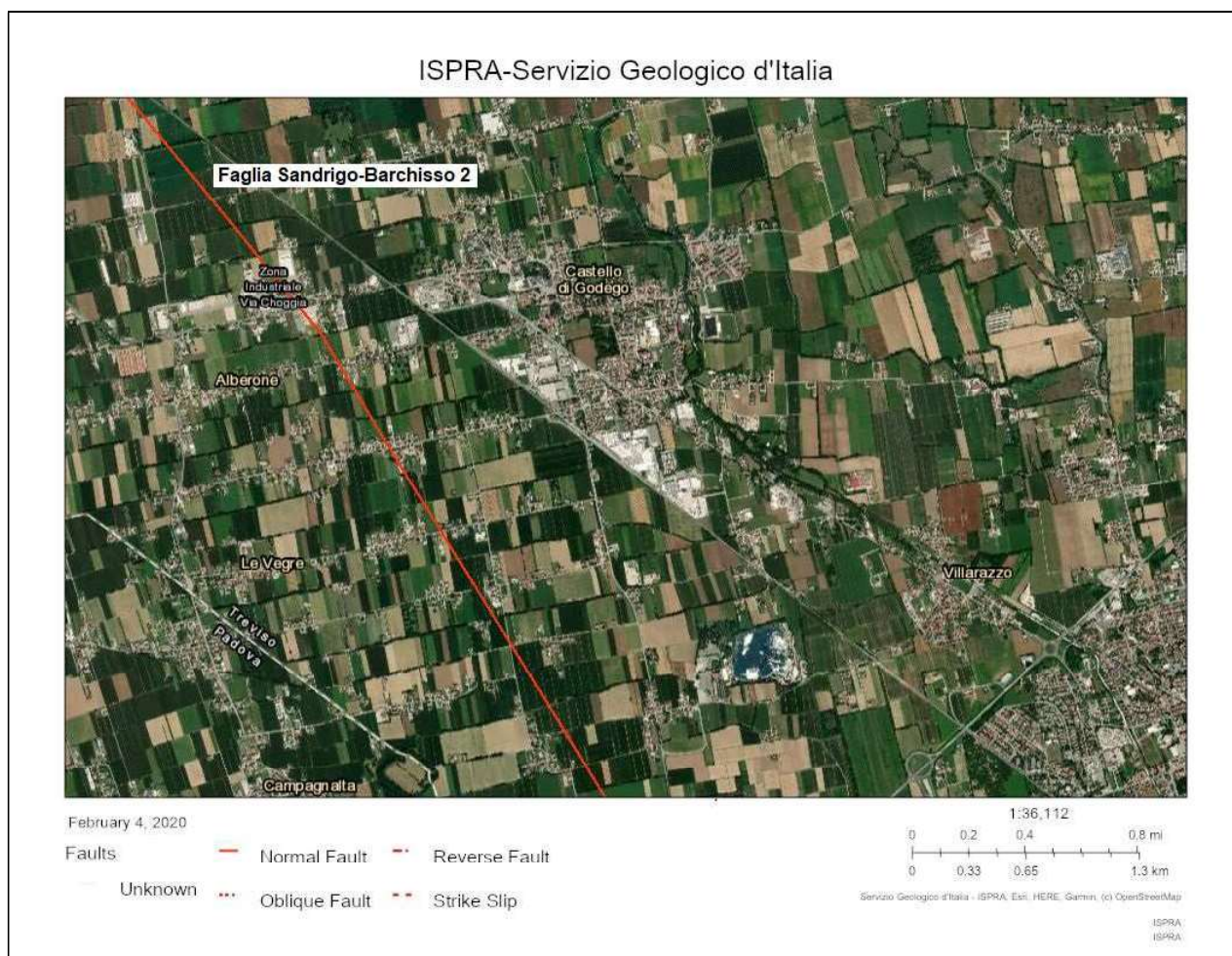


Fig. 6 - Faglie attive e capaci nell'area in esame dal progetto Ithaca (Italy Hazard from Capable Faults- Febbraio 2021)

5.3 Indagini sismiche in sito

5.3.1 Premessa

Per ottenere la caratterizzazione del sottosuolo ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, sono state eseguite dallo scrivente indagine sismiche: ReMi, Hvsr. Le "Linee Guida per la Microzonazione Sismica - 2008" hanno individuato (per la definizione di carte di II livello) parametri dinamici simili ma con importanti differenze in merito:

- andamento della velocità delle onde S (V_s) fino al basamento, ovvero fino alla profondità alla quale le velocità $V_s > 800$ m/sec: questa informazione viene utilizzata per dedurre il

valore medio di V_s fino al basamento sismico.

- in assenza di questa informazione, valore del periodo proprio (frequenza di risonanza) delle coperture, accompagnato da una stima affidabile della profondità del substrato geologico, oppure da una stima della velocità media V_{SH} delle onde S fino al primo contrasto significativo nei valori di impedenza sismica, purchè questo corrisponda ad un transazione brusca ad un substrato da $V_s > 600$ m/sec.

In questo studio sono stati perciò realizzati profili ReMi, Masw, e test di Nakamura (HVSR), per la misura della curva di risposta elastica del terreno ovvero per i seguenti obiettivi:

- ricostruire la stratigrafia sismica del sottosuolo;
- stimare il profilo della velocità delle onde di taglio (V_s) per fornire indicazioni della categoria di suolo di fondazione secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17.01.2018);
- caratterizzare le frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo.

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica effettuate possono restituire si basa sul contrasto d'impedenza. Per strato s'intende un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti 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 prove a stazione singola (HVSR) sono state effettuate ponendo il Nord strumentale secondo il Nord geografico. Nella elaborazione dei dati, sono stati eseguiti prima gli array (ReMi), in quanto servono da vincolo per l'inversione delle curve H/V, derivanti dalle prove a stazione singola (HVSR). Si sottolinea che le tecniche in array, si fondano sull'assunto di sottosuolo a strati piani e paralleli; questo è un requisito fondamentale per l'inversione dei dati sperimentali. Al fine di verificare se l'assunto sia o meno soddisfatto è buona norma effettuare alcune registrazioni a stazione singola in punti diversi lungo lo stendimento, o ripetere le misure ReMi lungo altre direzioni e confrontare le curve di dispersione ottenute.

5.3.2 Indagine sismica mediante la tecnica dei microtremori "ReMi"

Le tecniche correntemente usate per la stima della velocità di taglio per caratterizzare un sito sotto il profilo della risposta sismica sono troppo costose per essere impiegate come indagine di routine negli studi di microzonazione. In particolare esse richiedono l'adozione di sorgenti di elevata energia per essere significative in ambienti rumorosi, come quelli urbani, o registratori indipendenti da disporre in estesi stendimenti.

La tecnica qui adottata (ReMi = Refraction Microtremor) si basa sulla constatazione che le registrazioni del rumore di fondo ambientale, fatte con uno stendimento sismico "tradizionale" per rifrazione, possono essere utilizzate, con un opportuno trattamento numerico, per stimare la velocità delle onde di taglio V_s fino a profondità che possono essere superiori a 100 metri con una precisione del 20%. Questa metodologia studiata e sperimentata da J.N.

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it

Louie del Seismological Laboratory and Dept. Of Geological Sciences dell'Università del Nevada, si basa su due idee cardine, la prima delle quali è quella che molti sistemi di acquisizione di sismica a rifrazione (con dinamica a 24 bit) sono in grado di registrare onde di superficie con frequenze fino a 2 Hz, la seconda è quella che una semplice trasformata bidimensionale ($p-f$) *slowness* ($1/$ Velocità) – *frequenza* della registrazione di un rumore di fondo (*microtremor*) è in grado di separare le onde di Rayleigh da altri tipi di onde che compongono il sismogramma rendendo possibile il riconoscimento delle vere velocità di fase dalle velocità apparenti.

Il profilo verticale delle Vs può essere ricavato per inversione monodimensionale o per modellazione diretta della velocità di fase delle onde di superficie (Rayleigh e/o Love) (Dorman e Ewing, 1962). Le onde di Rayleigh (1885) costituiscono un particolare tipo di onde di superficie che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell'interferenza tra onde di pressione (P-waves) e di taglio verticali (Sv-waves).

Tali onde sono presenti in natura e sono conosciute con il termine di microtremori. Possono venire accuratamente captate ed analizzate nei loro contenuti cromatici ed energetici con un array geometrico lineare simile a quelli utilizzati nella prospezione sismica classica. In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo guidato e dispersivo e vengono definite pseudo-Rayleigh.

La dispersione è un fenomeno indotto dalla deformazione del treno d'onda che produce una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore, per un dato modo, e presentano normalmente più elevate velocità di fase.

Le registrazioni ottenute sono state analizzate con la seguente metodologia:

- 1) la traccia originaria di circa dieci minuti di durata, viene suddivisa in finestre di 10 secondi;
- 2) su ciascuna finestra viene eseguito lo slant-stack per valori diversi di Vs e la trasformata di Fourier, ottenendo così un diagramma "velocità di fase dell'onda di Rayleigh" – "frequenza", il cui massimo energetico indica la curva di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh. Poiché la direzione prevalente (se esiste) delle sorgenti di microtremore non è individuabile in modo univoco da uno stendimento lineare, per evitare di restituire la velocità apparente, il picking della curva di dispersione nei grafici a contouring va effettuato al di sotto della fascia di massima energia.
- 3) si conservano le sole finestre utili (eliminando quindi quelle in cui compaiono eventualmente solo modi superiori).
- 4) si produce una curva di dispersione media che può essere invertita tramite confronto con una curva di dispersione teorica derivante da un modello di sottosuolo che va modificato fino ad ottenere una buona somiglianza tra curva sperimentale e teorica.

Per l'acquisizione di questo tipo di dati è stato utilizzato il software SoilSpy Rosina.

Operativamente sono stati realizzati due stendimenti e utilizzati geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz), con spaziatura di tre metri, la lunghezza dell'array è di 21 metri. Nello studio del sito

in questione è stata adottata la tecnica sopradescritta e l'elaborazione dei dati è stata facilitata dall'uso di un software dedicato denominato *Grilla*.

5.3.3 Indagine sismica mediante la tecnica "HVSR" a stazione singola

La tecnica di indagine adottata a supporto di questo studio è conosciuta come *metodo di Nakamura* (1989), dal nome dello scienziato giapponese che l'ha messa a punto, parte dal presupposto che:

1. Il rumore ambientale è generato da riflessioni e rifrazioni di onde di taglio con gli strati superficiali e dalle onde di superficie;
2. Le sorgenti di rumore superficiale non interessano il rumore ambientale alla base di una struttura non consolidata;
3. Gli strati soffici non amplificano la componente verticale del rumore ambientale: questo è composto da onde di superficie tipo Rayleigh generate dall'interazione del vento con le strutture, dal traffico e da altre attività urbane.

Le funzioni di trasferimento **SE** e **AS** che sono rispettivamente l'effetto intrinseco di sito e l'effetto della singola onda Rayleigh possono essere definite come:

$$SE=Hs/Hb \quad As=Vs/Vb$$

dove **H** e **V** sono gli spettri per le componenti orizzontali e verticali delle registrazioni di rumore ambientale alla superficie (s) o al top del basamento rigido.

Gli effetti di sito, che non comprendono il contributo della sorgente, sono definiti da **SM** come:

$$SM= Se/As \Leftrightarrow SM=HsVb/VsHb$$

Nakamura e Theodulidis *et al.* (1996) hanno dimostrato che gli spettri delle componenti verticali (Vb) e orizzontali (Hb) sono equivalenti al top del basamento rigido:

$$\text{se } Hb/Vb = 1 \quad \text{allora } SM= Hs/Vs$$

Alla fine quindi, gli effetti di sito **SM** (ampiezza del rapporto spettrale) possono essere espressi come *rapporto spettrale delle componenti orizzontali e verticali del rumore ambientale alla superficie del suolo*. In conclusione questa affermazione implica che una stima della risposta del terreno in un determinato sito può essere ottenuta con un singolo sismometro a tre componenti. Esperienze di campagna hanno dimostrato che registrazioni di una quindicina di minuti per sito sono sufficienti per fornire risultati stabili nei differenti contesti urbani.

Le curve H/V possono essere convertite dal dominio H/V - frequenza, al dominio Vs - profondità, tramite inversione vincolata. Nel caso presente il vincolo è fornito dalla Vs del primo strato riferita dalle indagini in array. Più in generale il vincolo è costituito dalla profondità di un riflettore sismico nota tramite prove dirette (sondaggio/ penetrometria / geofisica indipendente) il cui marker sia riconoscibile nelle curve H/V. A partire da questo elemento noto si genera una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione

delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato) e si considera per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali.

Nei siti in esame si è correlato i valori di picco, degli spettri di risposta HVSR, con le frequenze fondamentali di risonanza del sito. Si sono ricavate le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica, 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.

Le misure di microtremore ambientale HVSR sono state effettuate per mezzo di un tomografo digitale portatile progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (Tromino, Micromed spa) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente.

Le caratteristiche di tutte le misure effettuate HVSR sono le seguenti:

- terreno di misura naturale, non artificiale o compattato, e privo di vegetazione;
- condizioni meteorologiche buone senza la presenza di vento;
- orientamento dello strumento parallelo alla dorsale;
- durata di registrazione 20 minuti;
- frequenza di campionamento 128 Hz;
- lunghezza finestre 30 secondi;
- tipo di lisciamento triangolare;
- lisciamento al 10%.

I risultati delle prove H/V sono stati classificate sia con i "criteri SESAME 2004", sia con quelli "Albarelo et al. 2010". Quest'ultimo metodo non interpreta la curva in chiave geologico-stratigrafica, che può essere eseguita invece con i criteri SESAME. Nella classificazione "**Albarelo et al. 2010**" si distinguono tre classi di qualità: "A", "B", "C".

Le caratteristiche di queste classi sono le seguenti:

- **Classe "A"** : curva H/V affidabile e interpretabile; può essere utilizzata anche da sola e deve avere:
 - a. la forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% circa della durata della misura (*stazionarietà*);
 - b. le variazioni azimuthali di ampiezza non superano il 30% del massimo (*isotropia*);
 - c. non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda delle frequenze di interesse (*assenza di disturbi*);
 - d. i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale (*plausibilità fisica*);
 - e. i criteri SESAME per una curva H/V attendibile (primi tre criteri) sono verificati (*robustezza statistica*);
 - f. la misura è durata almeno 15/20 minuti (*durata*).

ECCEZIONE: misure effettuate su roccia integra affiorante o in zone alluvionali fini con basamento sismico profondo (tipicamente > 1 km) possono non mostrare alcun picco statisticamente significativo della curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico, a causa dell'assenza di contrasti di impedenza

sufficientemente marcati. In questi casi, in cui la curva H/V apparirà piatta e con ampiezza circa pari a 1, il criterio “e” risulterà non verificato anche se la misura è di fatto attendibile. In questo solo caso la misura può ricadere nella classe “A”, ma si consiglia di ripetere la misura per confermare l’effettiva assenza di massimi significativi.

- **Classe “B”** : curva H/V sospetta (da interpretare); va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze e deve avere:
 - a. almeno una delle condizioni della classe “A” non è soddisfatta, a condizione che non si rientri nell’ECCEZIONE citata per la classe “A”.
- **Classe “C”** : curva H/V scadente e di difficile interpretazione; non va utilizzata. Essa può presentare:
 - a. misura tipo “B” nella quale la curva H/V mostra un’ampiezza crescente al diminuire della frequenza (deriva), indice di un movimento dello strumento durante la misura;
 - b. misura tipo “B” nella quale si evidenzia la presenza di rumore elettromagnetico nell’intervallo di frequenze di potenziale interesse.

Per le classi “A” e “B” si possono pertanto definire due sottoclassi delle classi precedenti, ossia:

- **Tipo 1** : Presenta almeno un picco “chiaro” secondo i criteri SESAME (parte 2):
possibile risonanza.
- **Tipo 2** : Non presenta picchi “chiaro” nell’intervallo di frequenze d’interesse:
assenza di risonanza.

5.3.4 Analisi delle risultanze

Le prove “sismiche” realizzate sono n.4 misure HVSR e n.2 ReMi .

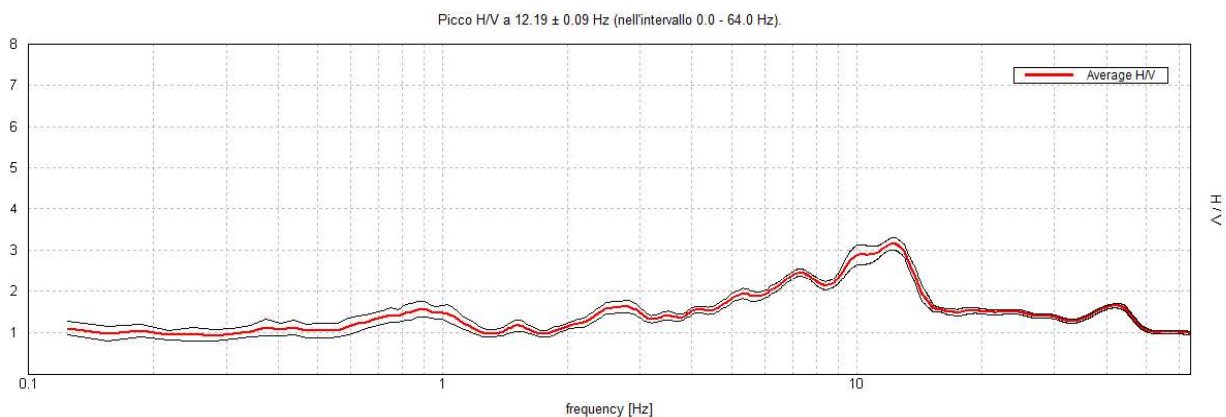
Le tecniche in array (es. ReMi) usate si fondano sull’assunto di sottosuolo a strati piani e paralleli. Questo è un requisito fondamentale per l’inversione dei dati sperimentali. Al fine di verificare se l’assunto sia o meno soddisfatto è buona norma effettuare alcune registrazioni a stazione singola in punti diversi lungo lo stesso stendimento. Essendo il metodo a stazione singola particolarmente sensibile, nei primi metri, alla stratigrafia “puntuale” sotto il punto di misura, eventuali differenze tra curve registrate in punti vicini sarebbero indicative di sottosuolo non assimilabile a strati piani e paralleli. L’inversione delle curve di dispersione è stata effettuata congiuntamente a quella delle curve H/V, pertanto il modello di Vs è stato dato dal miglior “fit” con le curve di dispersione ReMi e H/V.

Nelle curve H/V si riscontrano degli artefatti di origine antropica. La curva HVSR n.1 presenta frequenze di risonanza a 0.92 Hz con ampiezza di circa 1.57, e 12.2 Hz con ampiezza di circa 3.16. La curva HVSR n.2 presenta frequenze di risonanza a 7 Hz con ampiezza di circa 3.05, a frequenze inferiori la prova non è interpretabile. La curva HVSR n.3 presenta frequenze di risonanza a 1.03 Hz con ampiezza di circa 1.4, e 11.4 Hz con ampiezza di

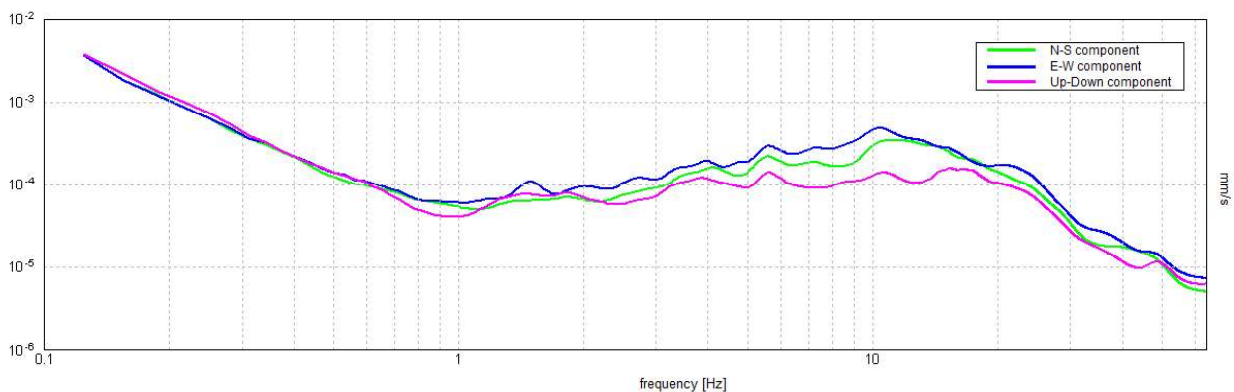
circa 2.5. La curva HVSR n.4 presenta frequenze di risonanza a 0.91 Hz con ampiezza di circa 2.2, e 10.2 Hz con ampiezza di circa 2.5.

L'esito delle analisi ReMi è rappresentato dal contouring a colori. La curva di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh nel modo fondamentale della ReMi e risultano visibile nell'intervallo tra circa 30 e 50 Hz. Il modello di sottosuolo ottenuto, dall'interpretazione delle indagini sismiche, è il seguente:

Spessore degli strati (metri)	Vs (m/sec)
2	200
2	290
4	320
95	400
0	670

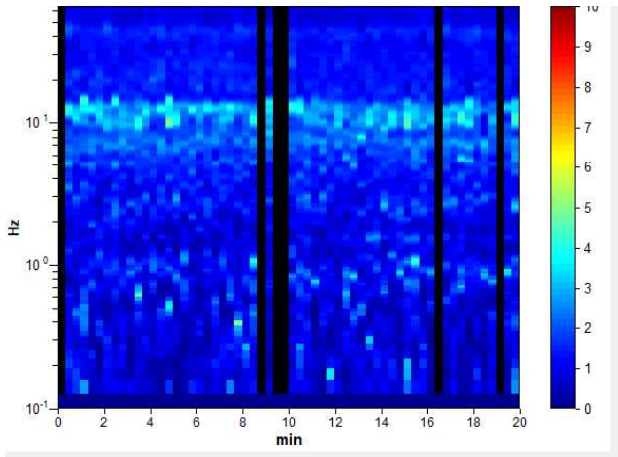


HVSR 1: rapporto spettrale H/V

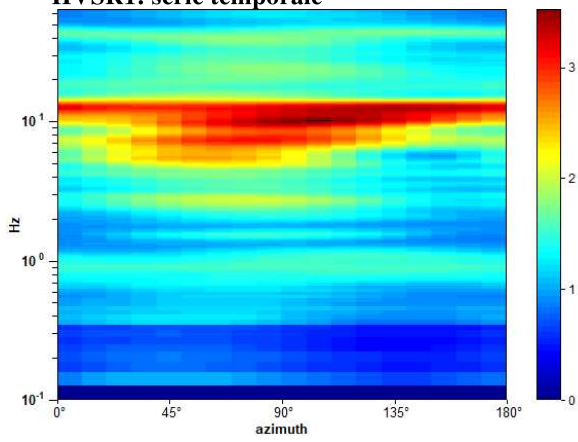


HVSR1: spettri delle singole componenti

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it

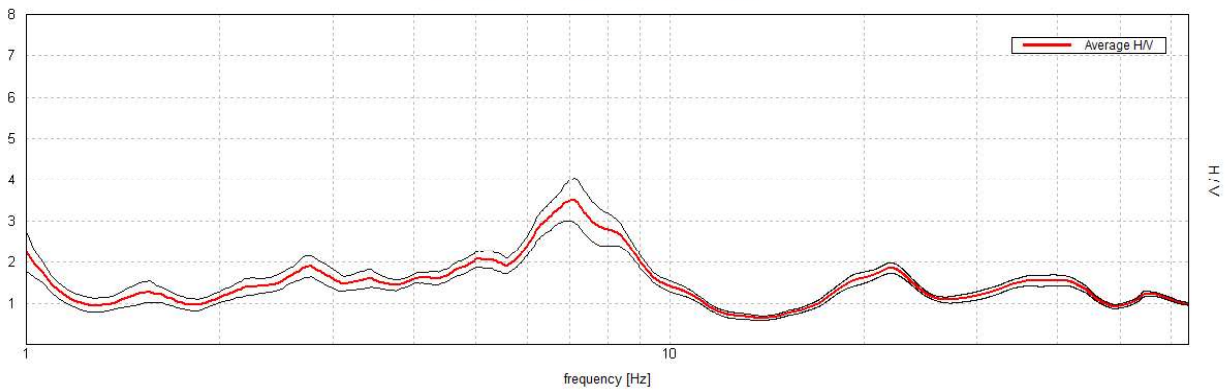


HVSR1: serie temporale



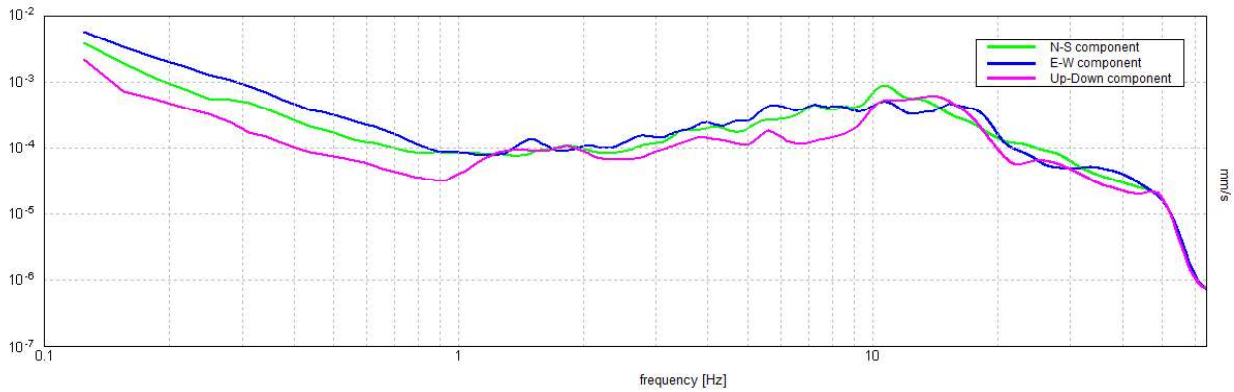
HVSR1: direzionalità

Picco H/V a 0.31 ± 0.14 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

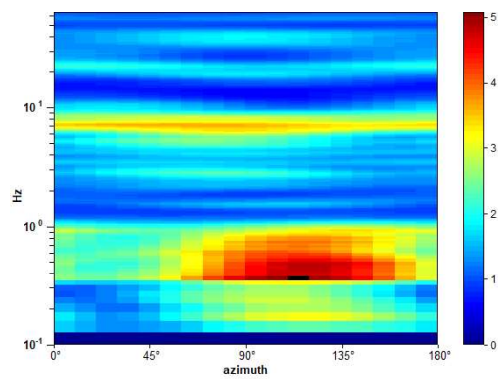


HVSR 2: rapporto spettrale H/V

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
 Via S. Paolo n. 2
 31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
 Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
 geol.bernardi@tiscali.it

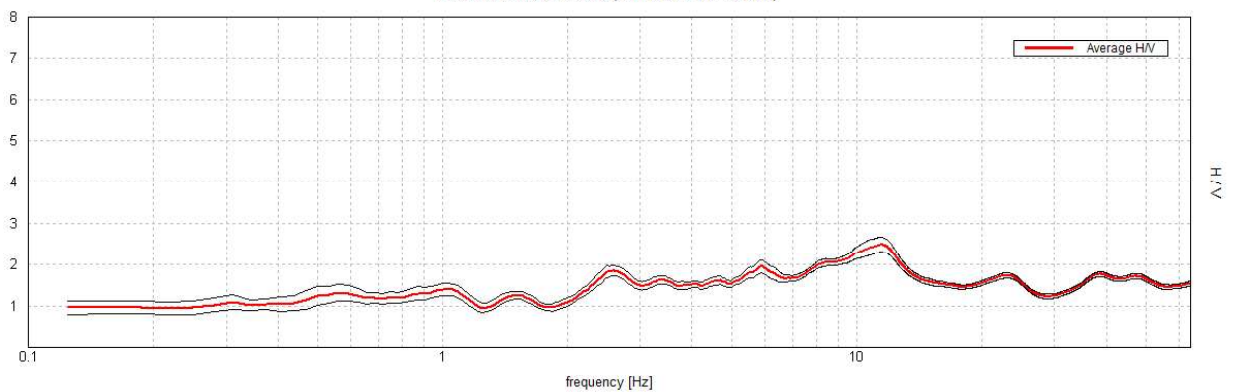


HVSR2: spettri delle singole componenti



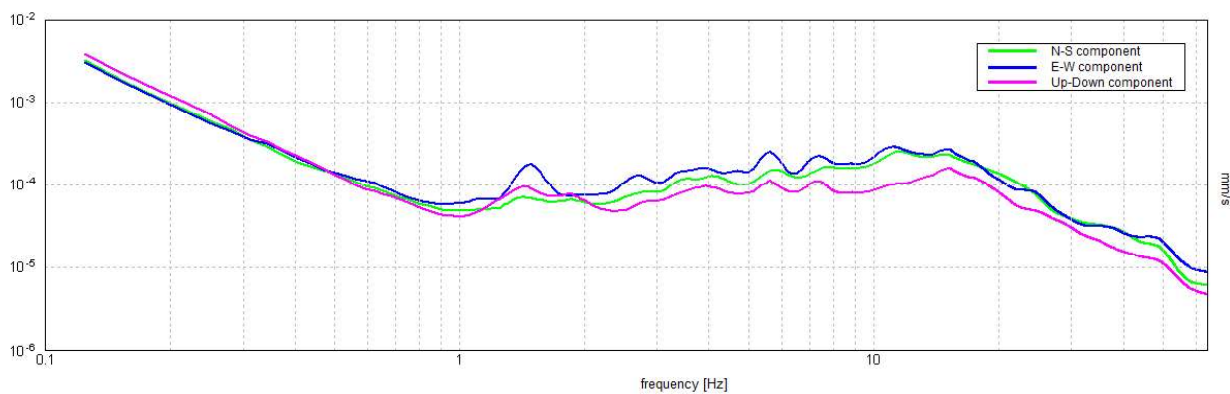
HVSR2: direzionalità

Picco HV a 11.44 ± 0.28 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

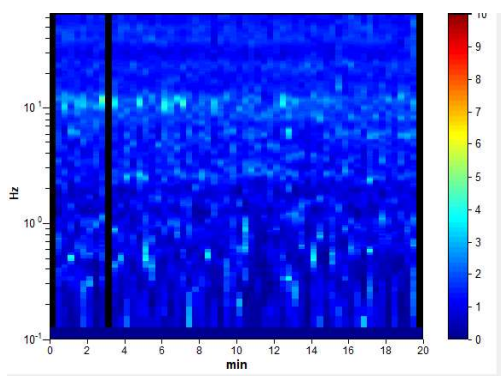


HVSR 3: rapporto spettrale H/V

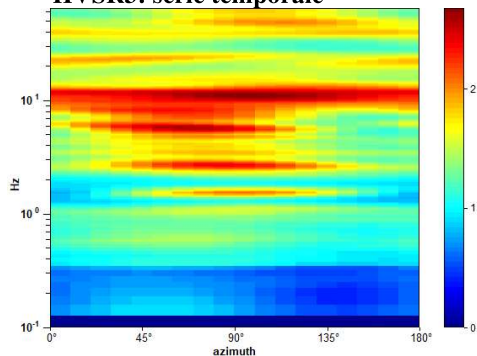
DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it



HVSr3: spettri delle singole componenti

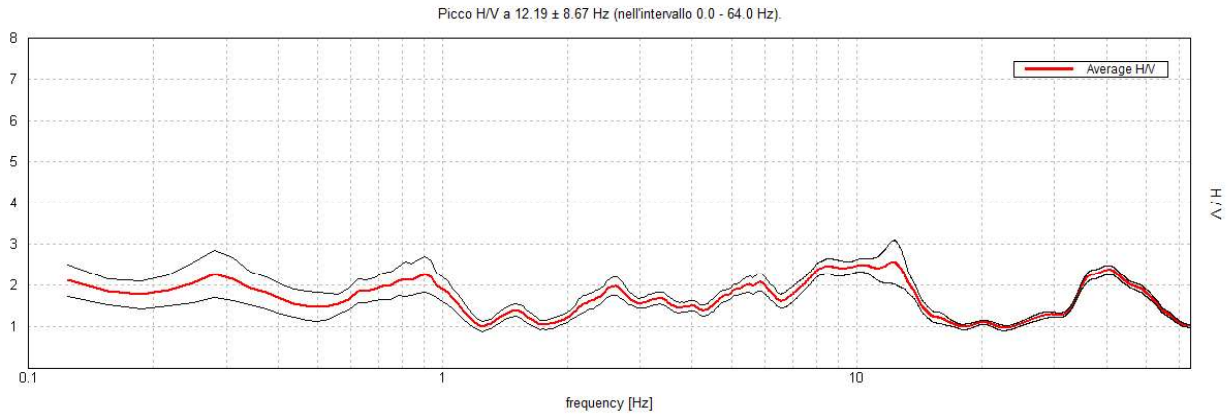


HVSr3: serie temporale

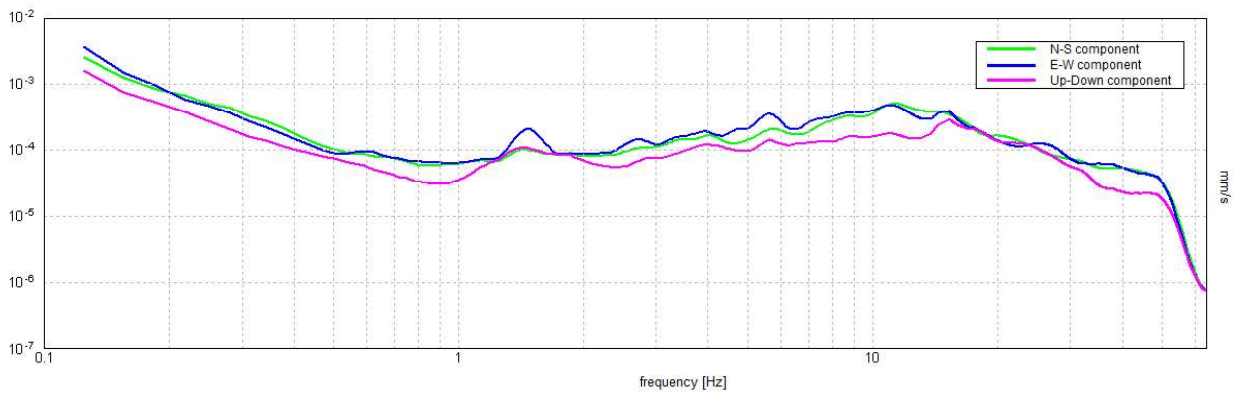


HVSr3: direzionalità

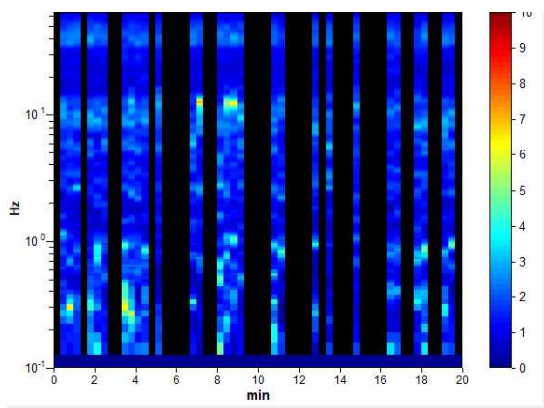
DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it



HVSR 4: rapporto spettrale H/V

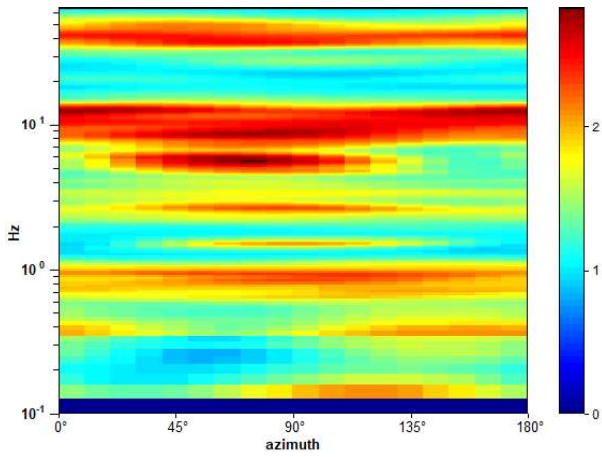


HVSR4: spettri delle singole componenti

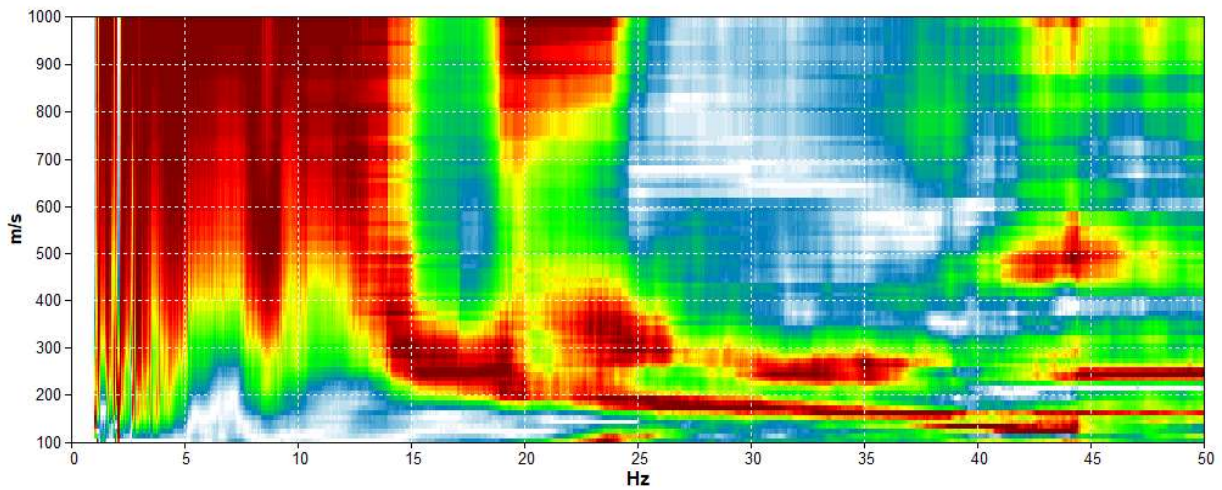


HVSR4: serie temporale

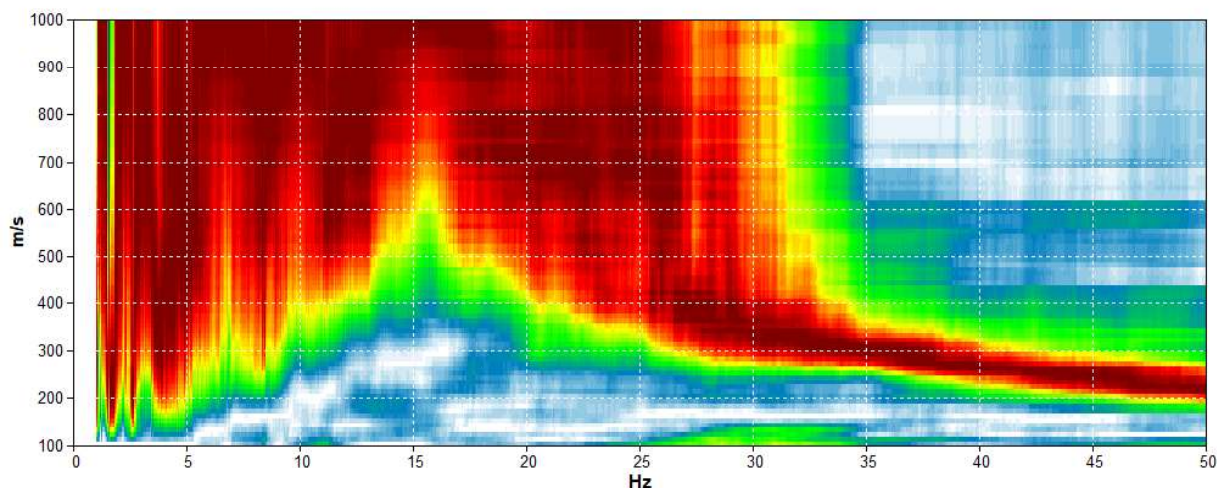
DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it



HVSR4: direzionalità



Spettro REMI 1



Spettro REMI 2

Il grafico rappresentato in Figura n.7, permette di ottenere un'indicazione degli edifici a maggiore rischio e vulnerabilità, per fenomeni di doppia risonanza terreno-struttura in caso di terremoto. La curva vale per edifici standard in c.a. e in muratura. La prassi migliore è eseguire il confronto o con la misura diretta dei modi di vibrare degli edifici se esistenti o con i risultati del calcolo dello strutturista attraverso l'analisi modale, nel caso di fabbricati in progetto. I modi principali di vibrare di un edificio si possono misurare con tecniche passive molto rapide e simili a quelle descritte in questo studio; le misure dirette sono raccomandabili, rispetto al calcolo da modello o alla stima attraverso relazioni standard come quelle riportate nei grafici di figura n.8, in quanto esiste una notevole variazione da struttura a struttura. Le strutture subiscono le maggiori sollecitazioni sismiche quando vi è la coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito dall'onda sismica e quella naturale del fabbricato. Le frequenze dei modi di vibrare superiori a 10/12 Hz interessano strutture in cemento armato di altezza inferiore ai tre metri, mentre frequenze inferiori a 2 Hz interessano altezze superiori ai 30 metri.

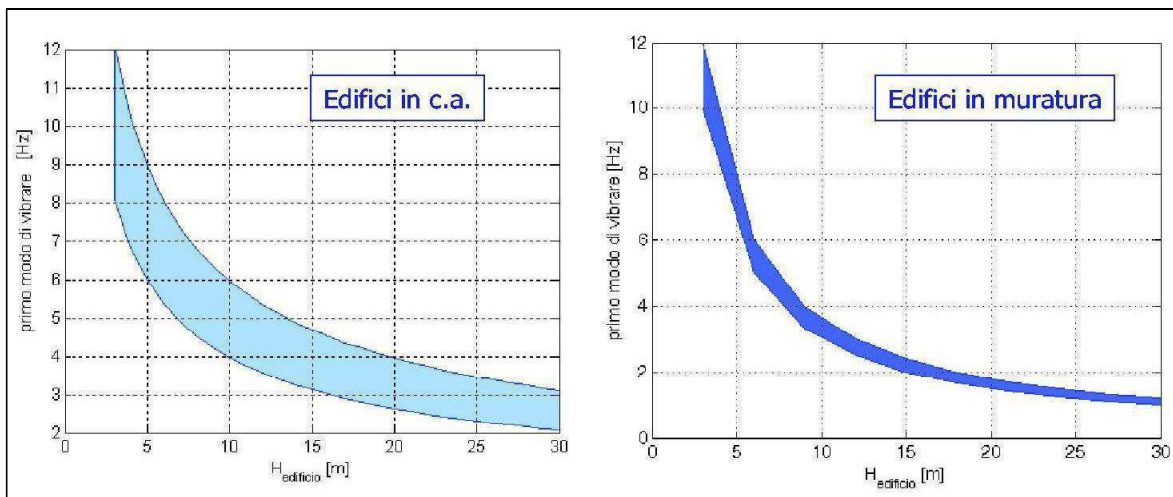


Figura n.7: Esempi di modi di vibrare di edifici (rapporto frequenze e altezze)

Particolare attenzione va posta perciò alle strutture esistenti e di progetto, al fine di evitare i fenomeni di doppia risonanza terreno-struttura, in caso di terremoto.

Nel contesto sismico è sfavorevole la doppia risonanza suolo-struttura.

Nella valutazione del valore massimo di frequenza dei picchi, è opportuno considerare le condizioni più sfavorevoli è perciò l'intervallo del +/- 40% del picco.

6. MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO

6.1 Finalita' dello studio di microzonazione sismica

La Microzonazione Sismica ha lo scopo di riconoscere, normalmente a scala comunale, le condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso in termini di ampiezza, durata e frequenza o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture. Essa si pone tra la classificazione sismica a scala nazionale, che fa riferimento a un terreno ideale rigido ($V_s > 800$ m/sec) e pianeggiante per il quale fornisce dei parametri indicativi della pericolosità di base, e la progettazione antisismica dei singoli manufatti.

Si è constatato che un terremoto può creare danni differenti nel territorio, anche a breve distanza: sono gli "effetti di sito", che possono amplificare le sollecitazioni nelle strutture, provocare cedimenti nei terreni soffici e fenomeni di liquefazione in terreni incoerenti saturi (sabbie), movimenti franosi, rotture nel terreno (faglie capaci). Possiamo distinguere due tipi principali di "effetti di sito": stratigrafici e morfologici, quest'ultimi possiamo distinguerli in effetti di valle e topografici.

Nello studio di Microzonazione Sismica di primo livello si evidenziano le zone il cui comportamento può essere instabile, stabile o suscettibile di amplificazione locali, nel secondo e terzo livello si valuta la risposta sismica dei terreni.

Gli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (2008), e la normativa regionale prevedono tre livelli di approfondimento:

- il Livello 1 prevede una raccolta di dati preesistenti, qualora mancanti è necessario eseguire nuove indagini. L'elaborato finale prevede l'esecuzione della "*Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica*" con indicate le *Zone stabili*, le *Zone suscettibili di amplificazioni locali*, le *Zone di attenzione per instabilità*, e le *Forme di superficie e sepolte*.
- il Livello 2 prevede l'esecuzione di indagini sismiche in modo da associare alle zone omogenee dei parametri quantitativi di interesse strutturale. In particolare le indagini sismiche in sito permettono di determinare il grado di rigidità del sottosuolo, le frequenze di risonanza dei depositi, e calcolare il fattore di amplificazione "Fa" e "Fv", tramite l'utilizzo degli abachi nazionali. L'elaborato finale è "*Carta di microzonazione sismica*" di secondo livello.
- il Livello 3 prevede la definizione dell'amplificazione del moto sismico atteso in superficie tramite un'analisi numerica monodimensionale o bidimensionale. L'elaborato finale è "*Carta di microzonazione sismica*" di terzo livello. Lo studio di Microzonazione Sismica fornisce perciò ai Comuni delle informazioni sulla pericolosità sismica utili per la pianificazione territoriale, per la gestione delle emergenze e per l'eventuale ricostruzione dopo il terremoto.

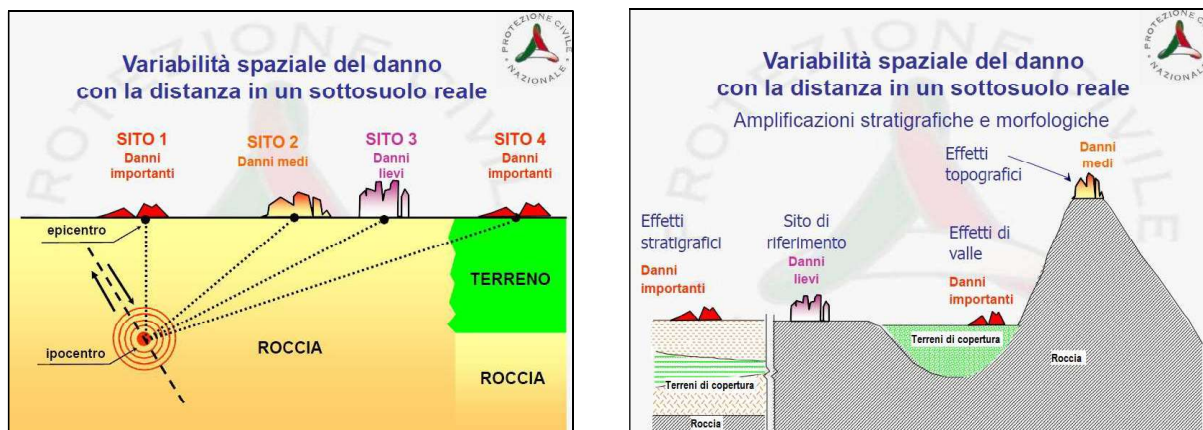


Fig.8 - Effetti di sito con stima dei danni a una certa distanza dall'ipocentro

6.2 Microzonazione sismica di secondo e terzo livello

Lo studio di Microzonazione Sismica di 2° livello si propone di raggiungere i seguenti obiettivi:

- approfondire le tematiche incerte del livello 1;
- fornire quantificazioni numeriche della modificazione locale del moto sismico in superficie con metodi semplificati (abachi) e dei fenomeni di deformazione permanente (zone suscettibili di instabilità).

Lo studio di Microzonazione Sismica di 3° livello si applica nelle zone:

- stabili suscettibili di amplificazione sismica non risolvibili con l'uso degli abachi o per opere di particolare importanza;
- nelle zone suscettibili d'instabilità particolarmente gravose.

Il documento fondamentale di questo 2° e il 3° livello è la "Carta di microzonazione sismica" in cui si sono rappresentate tre tipologie di zone:

a) **zone stabili**: aree in cui non si ipotizzano effetti di alcuna natura, se non lo scotimento funzione dell'energia e della distanza del sisma.

b) **zone stabili suscettibili di amplificazione**, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale. Le zone di questa categoria saranno caratterizzate numericamente dai valori di "Fa" (Fattore di amplificazione a basso periodo, determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione) e "Fv" (Fattore di amplificazione a periodo proprio, per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità), dedotti dagli abachi.

c) **zone suscettibili d'instabilità**

- per **instabilità di versante**: le linee guida della Regione del Veneto prevedono un secondo livello per le aree potenzialmente di frana, e un terzo livello per le frane attive e le frane quiescenti.
- per **liquefazione**: le linee guida della Regione del Veneto prevedono che la suscettibilità di liquefazione può essere calcolata utilizzando la PGA degli abachi nel secondo livello e

- invece la “ a_{max} ” alla superficie con la RSL (analisi di risposta sismica locale) nel terzo livello.
- per **comportamenti differenziali**: le linee guida della Regione del Veneto prevedono l'individuazione con il modello geologico delle aree che possono produrre effetti differenziali sia di amplificazione che di cedimento. Nel caso di densificazione di terreni insaturi, il valore di “ a_{max} ” alla superficie dovrà essere eseguito con la RSL (analisi di risposta sismica locale).
 - per la presenza di **faglie attive e capaci**: l'approfondimento deve essere di livello 3.

6.3 Abachi di riferimento

6.3.1 Abachi di riferimento per gli effetti litostratigrafici

Gli abachi per la stima della risposta sismica locale non possono essere applicati in zone con effetti di amplificazione topografica, o con effetti 2D, o con aggravamenti del moto dovuti a deformazioni permanenti. L'utilizzo degli abachi è raccomandato perciò nel caso di un assetto geologico e geotecnico assimilabile a un modello fisico monodimensionale, con strati poggianti su un basamento sismico (bedrock). La presenza nella Carta di Microzonazione sismica di primo livello di forme acclivi, forme articolate del substrato geologico sepolto, successioni stratigrafiche che prevedono terreni rigidi su terreni soffici (inversioni di velocità V_s), aree soggette di instabilità, potranno orientare alla necessità di ricorrere a modelli più complessi. E' il caso delle **zone di fondovalle** ovvero ai bacini sepolti (forme concave del basamento sismico con riempimenti costituiti da terreni soffici), in cui si possono verificare effetti bidimensionali che rendono irrealistica la stima eseguita con gli abachi. Se è verificata la formula $h/l \leq 0.65/\sqrt{C_v - 1}$ (dove “ h ” è il massimo spessore del deposito nella valle, “ l ” la sempiampiezza della valle, C_v il rapporto tra la V_s del basamento e quella media dei terreni di riempimento) e se ci si trova al centro della valle, l'amplificazione si potrà stimare con modelli 1D e con gli abachi, altrimenti bisogna procedere con metodi bidimensionali ovvero con il terzo livello.

I dati d'ingresso per l'utilizzo degli abachi sono:

- la macrozona di pericolosità sismica;
- la litologia prevalente dei terreni di copertura deducibile dai risultati di primo livello;
- la profondità del basamento sismico, in cui le V_s sono superiori a 800 m/sec;
- l'andamento della velocità di taglio media dei terreni di copertura sino al basamento

Sismico:

$$V_{sh} \approx H / (\sum h_i / V_{si})$$

- dove:
- H è lo spessore totale in metri dei terreni di copertura sino al bedrock;
 - h_i è lo spessore in metri dell' i -mo degli n strati che costituiscono la copertura;
 - V_{si} è la velocità in m/sec dell' i -mo strato.

Nel caso in cui la posizione del bedrock non sia determinabile sperimentalmente si possono

utilizzare indicazioni indirette, utilizzando ad esempio le misure del periodo proprio “ T_0 ” del sito della copertura sedimentaria. Questa procedura può essere utilizzata nel caso in cui:

- *il contrasto di velocità in h_a (profondità del substrato geologico ovvero con un contrasto di impedenza, che può non essere il bedrock sismico) è rilevante (circa >2);*
- *il terreno al di sotto di h_a è abbastanza rigido (orientativamente V_s al di sotto di h_a è almeno pari a 600 m/sec; se tale velocità è compresa tra 500 e 600 m/sec si possono utilizzare gli abachi, ma il risultato deve essere maggiorato del 10%).*

6.3.2 Abachi di riferimento per gli effetti topografici

Negli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica (2008) si specifica che gli abachi sono utilizzabili per il calcolo di fattori di amplificazione F_a per le creste rocciose (bedrock sismico affiorante) caratterizzate da pendii con inclinazione maggiore o uguale a 10° e per scarpate rocciose caratterizzate da fronti di altezza (H) uguale o superiore a 10 metri ed inclinazione (α) del fronte principale uguale o superiore a 10° . Nel codice di calcolo per l’elaborazione degli abachi si è utilizzato un peso di unità di volume della roccia variabile tra 22 e 24 kN/m³, e una V_s variabile tra 800 e 1500 m/s.

Si afferma inoltre che l’effetto litologico prevale su quello morfologico, e nel caso vi siano i due effetti congiunti, si predilige quello litologico.

Nella DGRV n. 1572/2013 si introduce il fattore di amplificazione per effetti morfologici, non solo per scarpate o creste rocciose, ma anche per i terrazzi fluviali, scarpate antropiche, e nicchie di distacco di frana e bordi di cava non in roccia.

In particolare si considerano le zone di scarpata (scenario “P3a” da Carta di Pericolosità sismica locale) caratterizzate da fronti di altezza (H) maggiori o uguali a 10 metri, inclinazione (α) del fronte principale maggiore o uguale a 15° ed estensione del fronte superiore (L) almeno pari all’altezza (H) o comunque non inferiore a 15-20 metri (v. fig. 9). Per il calcolo del fattore di amplificazione si deve tener conto sia della valutazione degli effetti litologici che morfologici, per cui, nel caso di scarpate in “terre”: $F_a = F_a \text{ morfologico} * F_a \text{ litologico}$.

Per le creste o cucuzzoli (scenario “P3b” da Carta di Pericolosità sismica locale) si considerano suscettibili ad amplificazioni le situazioni che presentano il dislivello altimetrico minimo (h) maggiore od uguale a un terzo del dislivello altimetrico massimo (H) ed inclinazione dei versanti maggiore o uguale a 15° (v. Fig. 9). La larghezza della base deve essere scelta in corrispondenza di evidenti rotture.

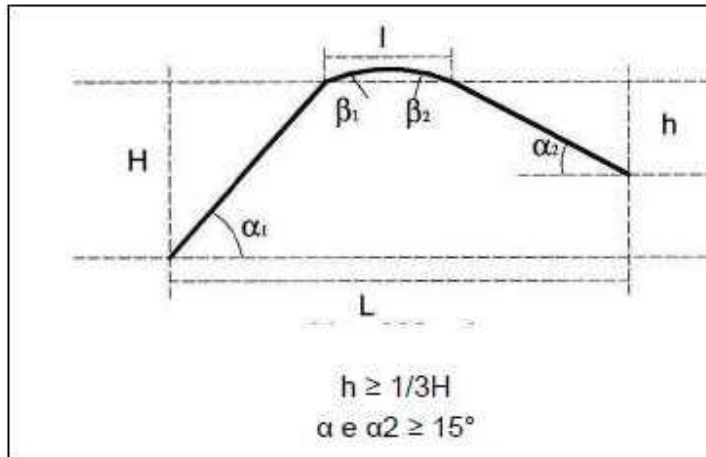


Fig. 9 - Criteri di riconoscimento delle creste e/o cocuzzoli suscettibili di amplificazioni morfologiche (v. all. A dgrv 1572/2013)

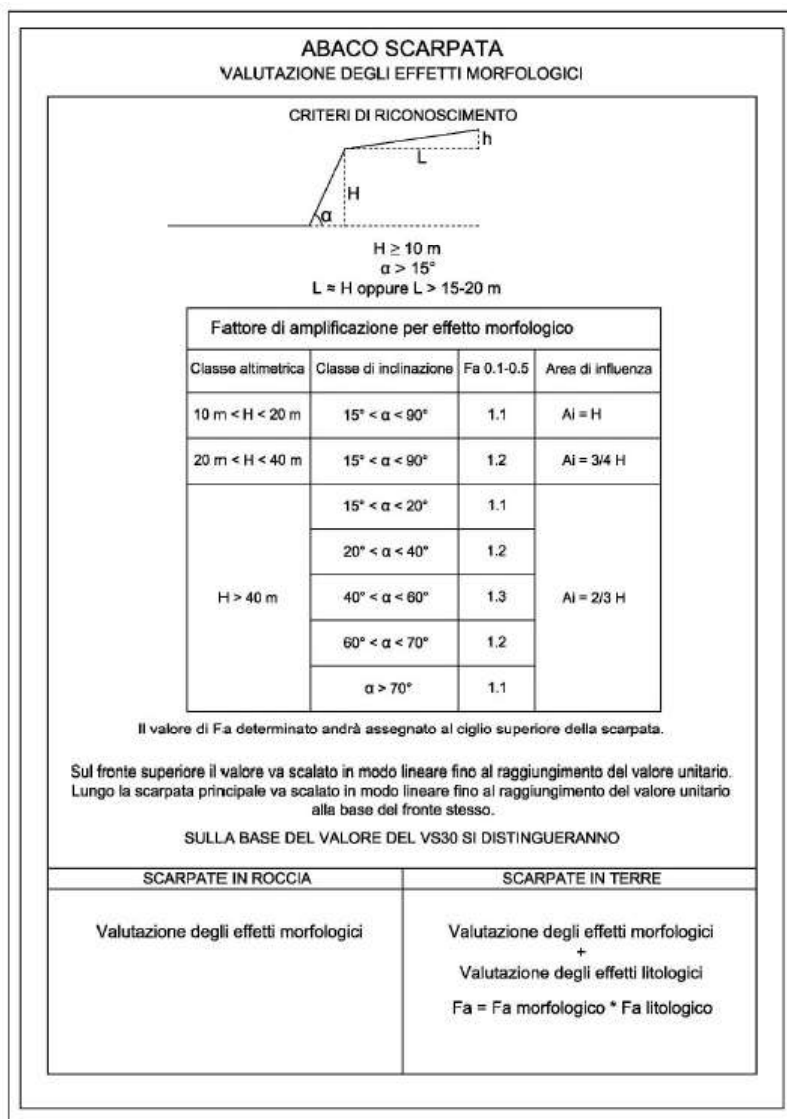


Fig. 10 - Valutazione degli effetti morfologici delle scarpate (v. all. A dgrv 1572/2013)

6.4 Elaborati cartografici per la Microzonazione Sismica di 3° livello

Le cartografie fondamentali per la Microzonazione Sismica sono:

- la *Carta delle Indagini*;
- la *Carta di Pericolosità Sismica* (prevista dalle linee guida regionali);
- la *Carta delle Frequenze fondamentali di vibrazione*;
- le *Carte di Microzonazione sismica*

6.5 Modellazione numerica della risposta sismica locale di 3^a livello

6.5.1 Premessa

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.03.2003 questo comune è stato classificato sismico e rientra nella "zona n.3", con DGRV n.244 del 09.03.2021 questo comune è stato inserito in "**zona 2**".

L'oggetto della norma, ripresa successivamente dalle "Norme tecniche per le costruzioni" DM 14 gennaio 2008, e dal successivo decreto 17.01.2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", qui di seguito riportata, disciplina la progettazione e la costruzione di opere d'arte soggette ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su opere esistenti soggette al medesimo tipo di azioni sismiche.

Al paragrafo 3.2.2 «*Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*» si fa espresso riferimento ad indagini sismiche allo scopo di classificare il suolo di fondazione sulla base del valore di V_{seq} . Si sottolinea inoltre che "...i valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove, oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, ...con prove ad esempio penterometriche dinamiche ...e statiche".

La DGRV n. 1572/2013 stabilisce che il terzo livello deve essere applicata per le seguenti categorie determinate nella Carta della Pericolosità sismica:

- P1c : Area con movimenti franosi attivi;
- P1a e P1b: Area con movimenti franosi quiescenti o potenzialmente franosi, qualora si intervenga con infrastrutture e/o altre attività non direttamente localizzabili;
- P2a: terreni di fondazione particolarmente scadenti quali quelli altamente compressibili;
- P2b: terreni con depositi granulari fini saturi;
- P2c: terreni di riporto;
- P4a: zona di pianura o di fondovalle ampia quando si sia verificato che $h/l > 0.65/\sqrt{(C_v - 1)}$;
- P4b: zona di fondovalle stretta;
- P5b: zone in cui sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole.

Inoltre la DGRV n. 1572/2013 e la DGRV n. 899/2019 prevedono che il 3^a livello sia eseguito "*sempre nel caso di opere di rilevante interesse pubblico (infrastrutture viarie, di servizio, edifici strategici, strutture d'emergenza, edifici rilevanti, attività produttive a rischio d'incidente rilevante, beni culturali di particolare importanza)*".

Il terzo livello di microzonazione sismica è stato concepito per quantificare correttamente la risposta sismica locale di sito, in quanto la procedura di secondo livello, con gli abachi, a volte non risulta corretta perché creata con modelli che non riescono a riprodurre il comportamento dinamico di tutti i terreni. L'edificio in oggetto rientra tra gli edifici rilevanti, in base v. art. 2 comma 3 – Ordinanza PCM n. 3247/03, e perciò necessita della microzonazione sismica di terzo livello.

6.5.2 Elaborazione di calcolo di Risposta Sismica Locale (RSL) nell'area in esame

Considerato il DM 17.01.2018 paragrafo 3.2.1 "*Ai fini della definizione dell'azione sismica di*

progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel capitolo 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab 3.2.II, si può fare riferimento ad un approccio semplificato”, si è ritenuto opportuno procedere a un calcolo di risposta sismica locale in sito.

Nel sito in oggetto è stata condotta perciò una modellazione monodimensionale, la quale ha considerato gli effetti amplificativi del moto sismico dovuti alla stratigrafia. Per eseguire la modellazione numerica di risposta sismica locale (RSL) si è utilizzato il software LSR 2D, utilizzando l'analisi lineare equivalente. L'elaborazione permette di valutare l'amplificazione dell'impulso sismico al suolo e di quantificare gli spettri di risposta sulla base di terremoti di riferimento.

6.5.3 Scelta dell'input sismico

L' input sismico utilizzato è rappresentato da una settupla di storie accelerometriche applicate alla base del modello e riferite agli spettri di normativa calcolati per il sito in esame, considerando un sottosuolo di roccia affiorante (classe A) con topografia orizzontale (T1). In particolare, i sette accelerogrammi sono stati ricavati tramite l'utilizzo del portale SEISM-HOME creato dall'Eucentre di Pavia, che seleziona gli input con il massimo rigore da parte di operatori esperti, evitando in particolare di inserire più di una registrazione proveniente dallo stesso evento o dalla stessa stazione e selezionando l'insieme migliore di accelerogrammi spettro-compatibili registrati su sottosuolo roccioso di Categoria A e disponibili nelle principali banche dati accelerometriche mondiali accreditate.

Le “NTC18” definiscono le azioni sismiche su ciascuna costruzione in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U , perciò sarà: $V_R = V_N \cdot C_U$. Nel caso in esame, su indicazione del progettista, si è fatto riferimento ai seguenti valori:

$V_N = 50$ anni e $C_U = 1$ (con classe d'uso II), per cui $V_R = 50$.

E' stato scelto di eseguire il calcolo con lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (**SLV**), per cui, con una classe d'uso III e un coefficiente d'uso $C_U=1.0$, si avrà un T_r di 475 anni.

Utilizzando il software dei LL.PP. “Spettri-NTC”, è stato possibile calcolare i parametri “ag”, “ F_0 ”, “ T_c ” (v. Tab.1).

L'estrazione degli accelerogrammi di input prevede, oltre al valore di “ag”, anche la determinazione della disaggregazione ovvero la sua variabilità in termini di magnitudo e distanza. Questo calcolo è stato desunto dal sito INGV dedicato alla pericolosità sismica; non essendoci i valori corrispondenti al tempo di ritorno di 475 anni, corrispondente a 10% di probabilità di superamento in 50 anni.

6.5.4 Analisi della risposta sismica locale (RSL)

Per quantificare l'azione sismica in superficie in corrispondenza del sito in esame e valutare il fattore di amplificazione, è stato realizzato un modello bidimensionale sul quale sono state successivamente condotte le modellazioni numeriche. Le sismostratigrafie e i valori di rigidità utilizzati sono quelli ottenuti dalle indagini sismiche eseguite appositamente e precedentemente descritte. Lungo le frontiere laterali dei modelli sono stati introdotti particolari elementi assorbenti (free-field boundaries) che forzano i nodi delle frontiere laterali a riprodurre il moto di free-field, essenziale per le analisi di risposta sismica locale.

Nel rispetto del D.M. 17/01/2018 è stata assunta una severità dell'azione sismica con la probabilità di superamento (**P**) e con il periodo di ritorno (**Tr**) relativi allo stato limite considerato.

Riepilogando la verifica monodimensionale dell'amplificazione sismica locale si compone di tre fasi principali:

1- elaborazione del modello del sottosuolo. In questa fase sono stati inseriti i parametri di profondità, spessore, peso di volume, V_s , smorzamento (0.02% per il bedrock e quello delle curve di decadimento della Regione Lombardia per i terreni di copertura) per ogni strato.

2- inserimento dei dati di input sismico.

3- elaborazione dei dati che ci consente di ottenere diverse informazioni, tra cui il comportamento dell'accelerazione, velocità, spostamento, lo Stress-strain, gli spettri di risposta della velocità e dello spostamento relativi, lo spettro elastico in accelerazione e lo spettro normalizzato.

Dall'analisi dei risultati della modellazione numerica possiamo trarre le seguenti conclusioni:

Punti di controllo della RSL	ag_{max} (g)	F_0	T_c	Rapporto intensità Housner (FA0105) T= 0.5 - 1 sec	Rapporto intensità Housner (FV0510) T= 0.5 - 1.0sec
HV1, HV2, HV3 e HV4	0.186	1.780	0.592	1.17	1.22

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO

Via S. Paolo n. 2

31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)

Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546

geol.bernardi@tiscali.it

Approccio semplificato NTC 2018

Ag [g]	0.177
F0	2.395
Tc [s]	0.574
Categoria sismologica	C
Categoria topografica	T1

Parametrizzazione RSL

TpA [sec]	0.300
0.5 TpA [sec]	0.150
1.5 TpA [sec]	0.450
So medio [g]	0.516
TpV [sec]	1.660
0.8 TpV [sec]	1.328
1.2 TpV [sec]	1.992
Sv medio [g/s]	0.049
amax	0.186
F0	2.780
S	1.048
Tp [sec]	0.197
Tr [sec]	0.592
Td [sec]	2.308
Parametrizza	

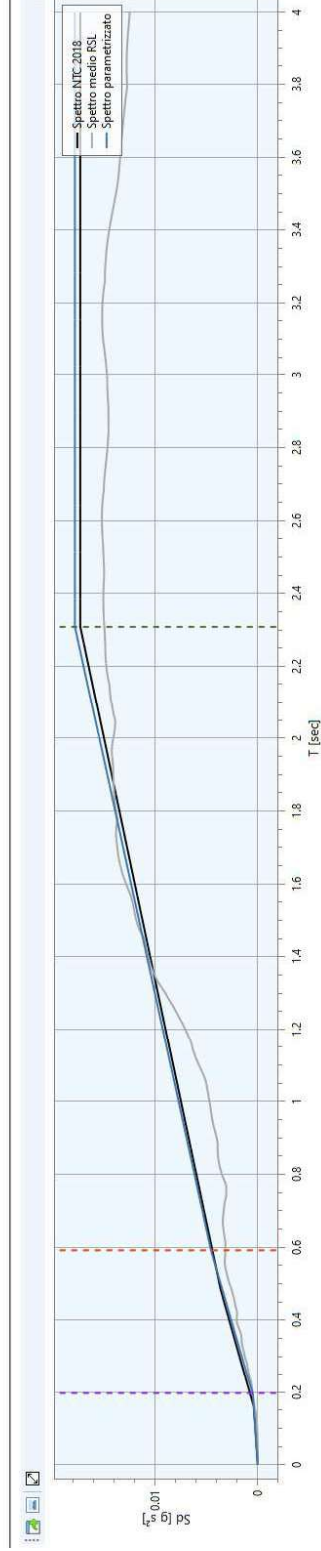
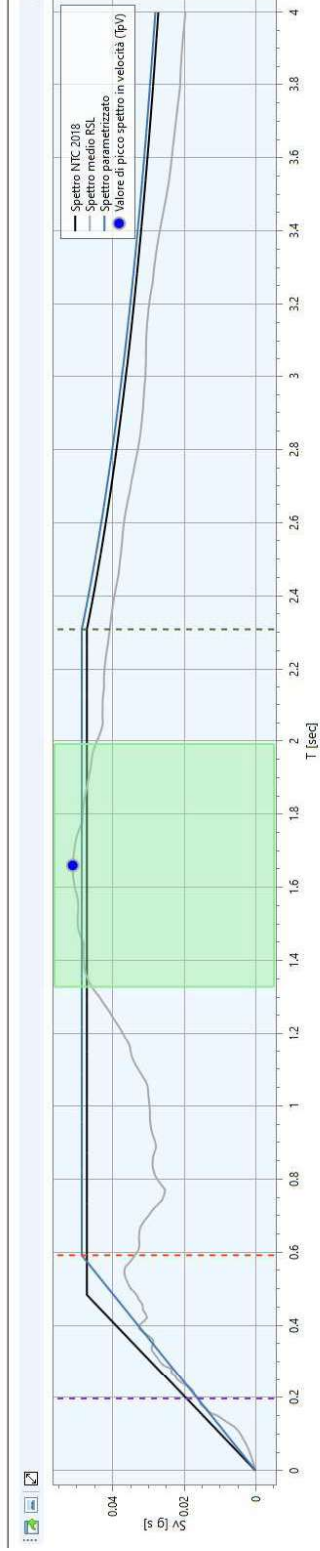
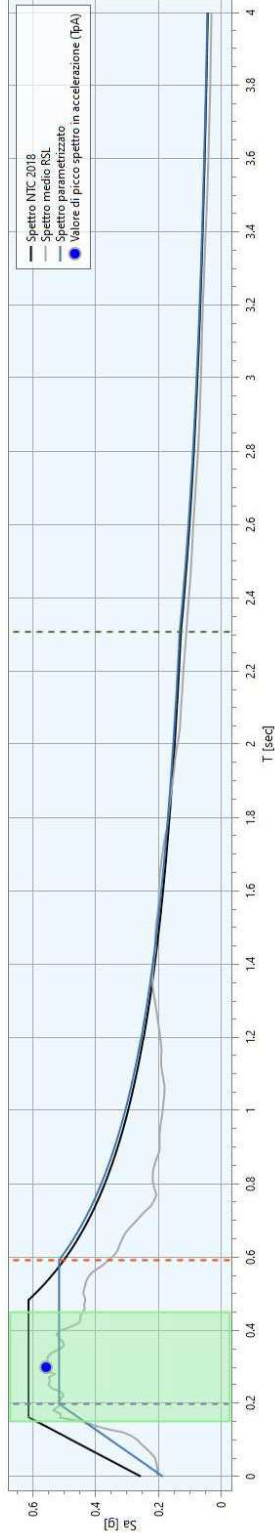


Fig. 11 – Confronto spettri di risposta medio RSL, NTC 2018, parametrizzato e valore di picco spettro in accelerazione nel punto di controllo del sito in oggetto

6.6 Elaborati cartografici per la Microzonazione Sismica di 3° livello

Per la stesura della cartografia propedeutica alla Microzonazione di 3^a livello, si è fatto riferimento alle “Linee guida per l’esecuzione di studi di microzonazione sismica”, allegato “A” della DGRV n. 1572 del 03.09.2013 e successive modifiche, in particolare sono state realizzate le seguenti cartografie:

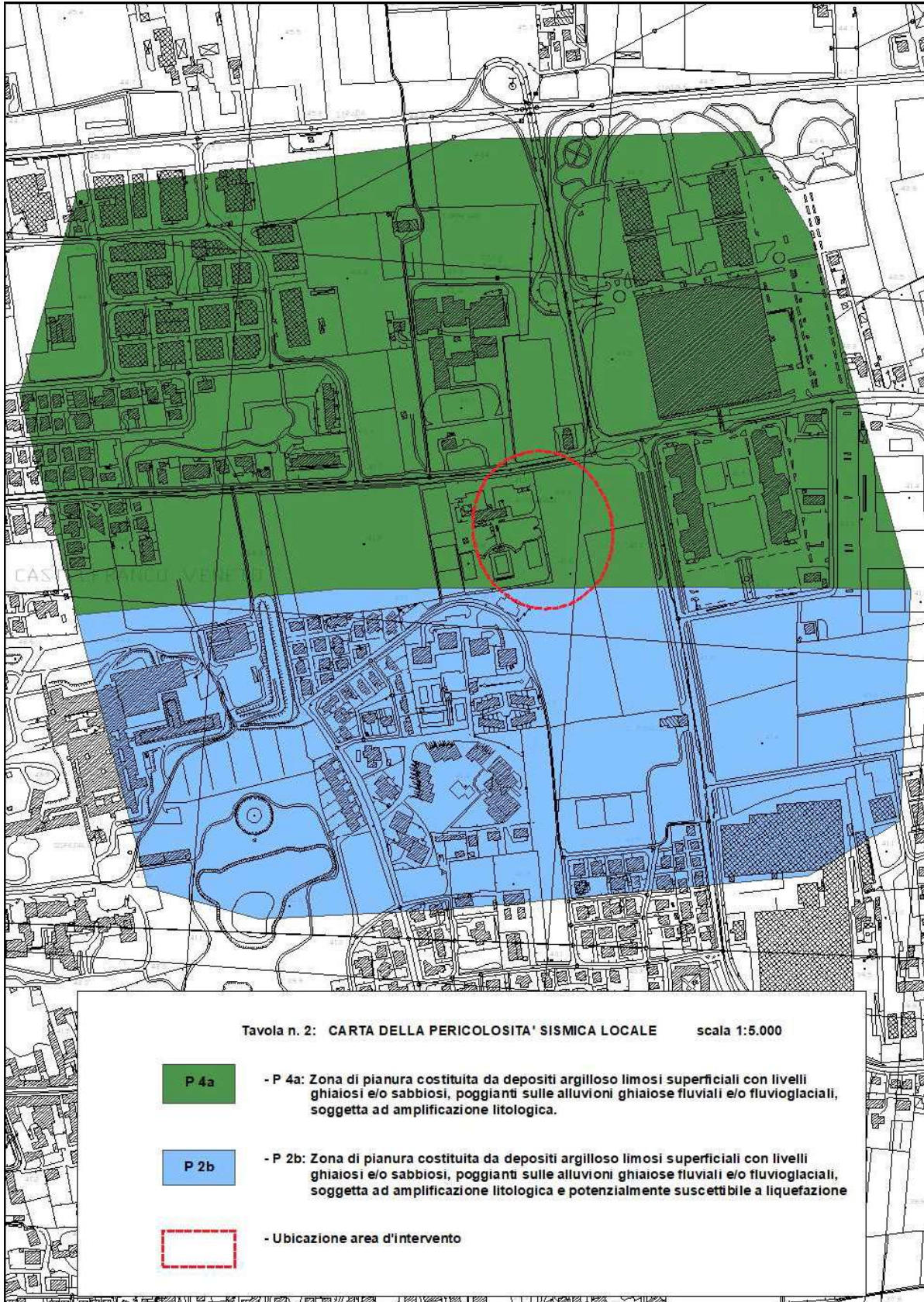
- Carta delle indagini;
- Carta della pericolosità sismica locale;
- Carta delle frequenze naturali dei depositi;
- Carta di Microzonazione sismica di 3^a livello (FA0105);
- Carta di Microzonazione sismica di 3^a livello (FV0510).

Nella “**Carta delle Indagini**” sono state ubicate le indagini descritte nei capitoli 4 e 5 (v. tav. 1 pag. 7).

Nella “**Carta della pericolosità sismica locale**”, l’area in esame rientra in:

- Zona suscettibile ad amplificazioni litologiche: **P4a**: “*zone di pianura costituita da depositi argilloso limosi superficiali con livelli ghiaiosi e/o sabbiosi, poggianti sulle alluvioni ghiaiose fluviali e/o fluvioglaciali, soggetta ad amplificazione litologica*”.
- Zona suscettibile d’instabilità: **P2b**: “*zone di pianura costituita da depositi argilloso limosi superficiali con livelli ghiaiosi e/o sabbiosi, poggianti sulle alluvioni ghiaiose fluviali e/o fluvioglaciali, soggetta ad amplificazione litologica e potenzialmente suscettibile a liquefazione*”.

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it



DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO

Via S. Paolo n. 2

31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)

Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546

geol.bernardi@tiscali.it

I risultati delle misure HVSR sono state rappresentate nella “**Carta delle frequenze naturali dei depositi**”.

La misura delle vibrazioni ambientali (note anche come rumore sismico ambientale o microtremori) o della sismica di fondo (weak motion) consentono di analizzare la variazione della risposta sismica di un sito al variare delle condizioni lito-stratigrafiche. Durante le indagini di microzonazione sismica dell'area aquilana dopo il terremoto del 06.04.2009, i risultati di tali analisi si sono rivelati estremamente utili. L'analisi dei microtremori attraverso misure HVSR ha consentito di mettere in luce fenomeni di risonanza sismica e di stimare le frequenze alle quali il moto del terreno può essere amplificato. Il metodo ha consentito inoltre di valutare qualitativamente l'entità dell'amplificazione, anche se l'ampiezza del picco HVSR è una grandezza da interpretare con cautela, e fornire stime di massima circa la profondità del contrasto di impedenza che causa la risonanza sismica (soprattutto se le misure HVSR vengono utilizzate in associazione ad altre informazioni sismo-stratigrafiche). I risultati delle analisi HVSR da microtremori hanno aiutato a definire e delimitare le “*Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica*” (es. curve H/V piatte per zone stabili, picchi per aree stabili suscettibili di amplificazione stratigrafica, picchi con diversi valori di frequenza per diverse zone suscettibili di amplificazione), potranno dare informazioni su locali criticità utili in fase di pianificazione territoriale (es. frequenze fondamentali del terreno prossime a quelle proprie di una determinata tipologia di edifici) ed in generale saranno utili nella pianificazione delle indagini di approfondimento successive.

I risultati delle misure HVSR sono state rappresentate nella “*Carta delle frequenze naturali dei depositi*”. Sono state riscontrate frequenze di risonanza ben riconoscibili come picchi nei grafici H/V. I risultati delle indagini HVSR, considerando le frequenze da 0.1 a 20 Hz (quelle d'interesse ingegneristico sono normalmente da 0.1 a 12 Hz), e sono state descritte nel cap.5.

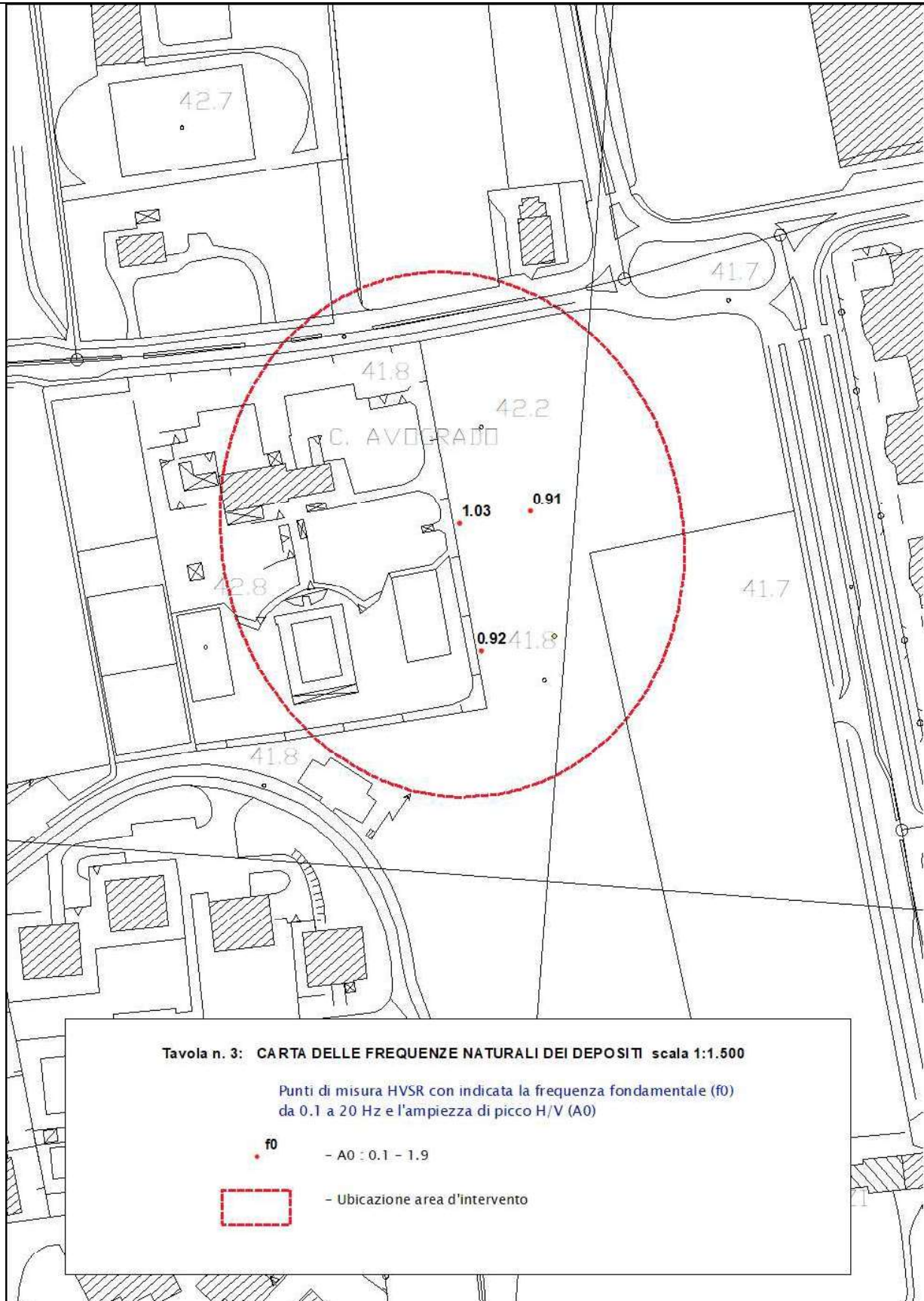
DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO

Via S. Paolo n. 2

31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)

Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546

geol.bernardi@tiscali.it



DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it

Nelle “**Carte di Microzonazione Sismica di Livello 3[^] (FA0105 e FV0510)**” sono stati rappresentati i valori dei fattori di amplificazione dell’intensità di Housner, calcolati per bassi periodi ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$) e per alti periodi ($0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$).

L’area in esame appartiene alle *Zone suscettibili di amplificazioni locali*.

Per il calcolo di “FA0105” e “FV0510” sono stati utilizzati i dati calcolati con la risposta sismica locale, e si è giunti alla seguente conclusione:

Punti di controllo della RSL	ag_{max} (g)	F_0	T_c	Rapporto intensità Housner (FA0105) T= 0.5 - 1 sec	Rapporto intensità Housner (FV0510) T= 0.5 – 1.0sec
HV1, HV2, HV3 e HV4	0.186	1.780	0.592	1.17	1.22

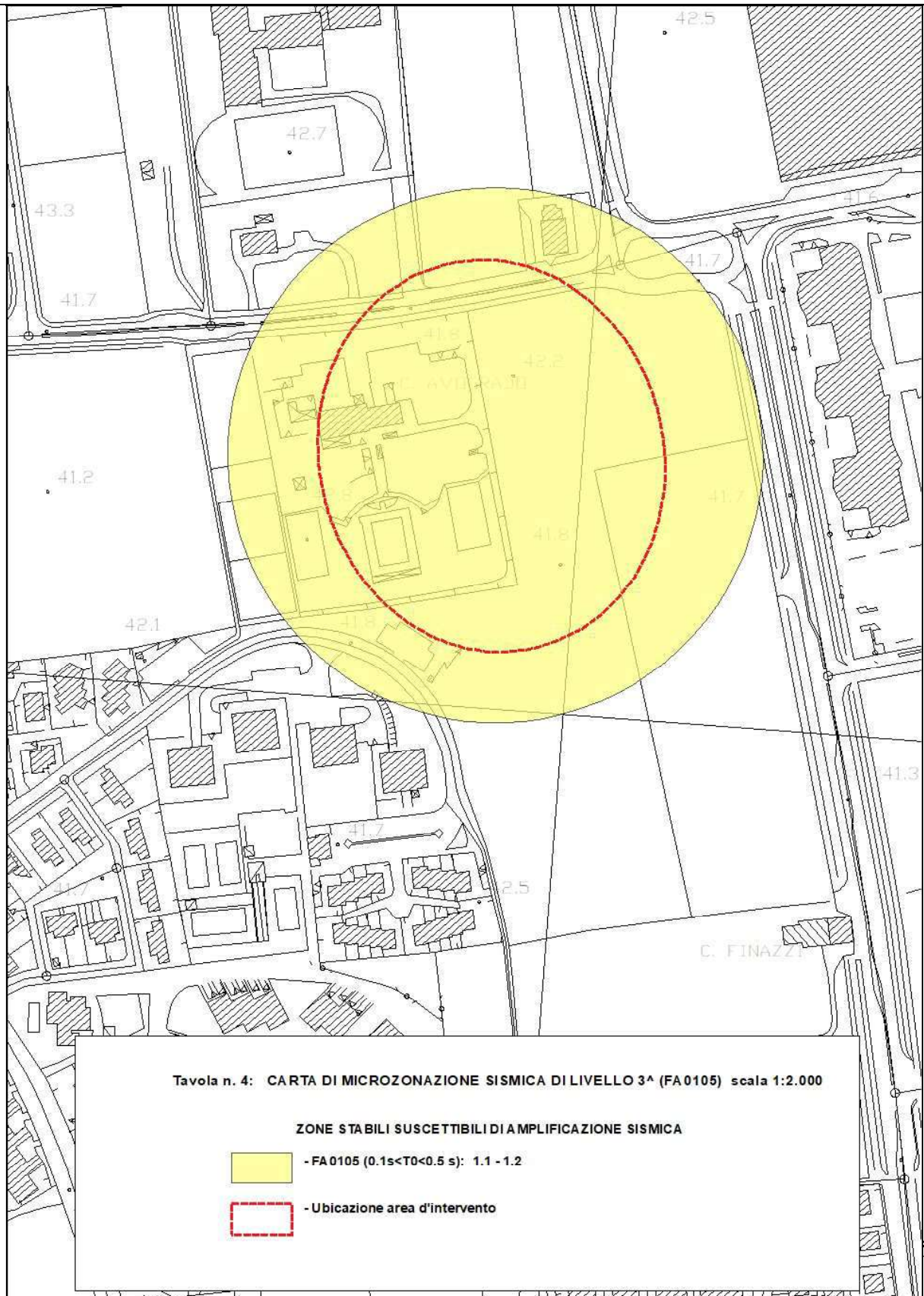
DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO

Via S. Paolo n. 2

31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)

Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546

geol.bernardi@tiscali.it



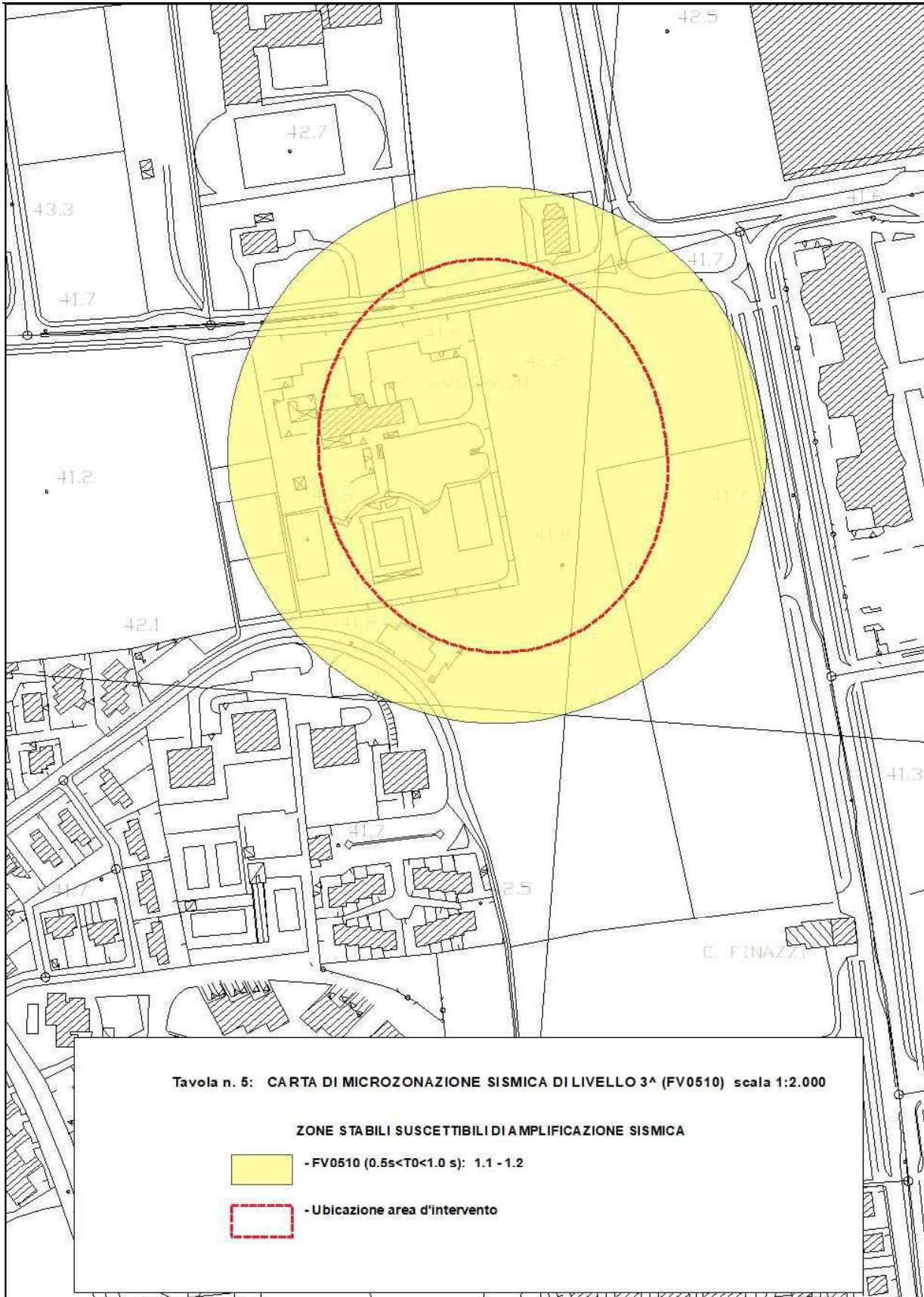
DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO

Via S. Paolo n. 2

31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)

Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546

geol.bernardi@tiscali.it



6.7 Finalita' dello studio di microzonazione sismica

Allo scopo di eseguire una stima del rischio liquefazione si è adottato il metodo semplificato “*Robertson-Wride modificato*” sino alla profondità della CPT 2, e più in profondità quello “*Andrus & Stokoe (2000)*”. Quest’ultimo è basato sulla determinazione della resistenza di taglio mobilizzata (CRR), partendo dalla velocità trasversale (V_s) ottenuta attraverso prove sismiche. Si è scelta questa metodologia perché le prove DPSH sono meno attendibili delle prove penetrometriche statiche.

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione:

$$(1.0)F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

Per il calcolo della CSR si è necessario conoscere il parametro dell’accelerazione (a_g) sismica massima del sottosuolo. Per questo motivo sono stati utilizzati i dati di input di pericolosità sismica di base e i parametri sismici di amplificazione sismica $a_{g\ max}$ al suolo, ricavati dalla modellazione di risposta sismica numerica.

I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione. I parametri maggiormente utilizzati sono quelli ricavati dalla prova dinamiche (SPT), dalle prove statiche (CPT) o dalle prove di misurazione delle onde di taglio V_s . Questi metodi sono in genere utilizzati per la progettazione di opere di media importanza. A differenza della maggior parte dei metodi empirici, quelli semplificati richiedono che venga definito un sisma di progetto, attraverso l'introduzione dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie e della magnitudo di riferimento.

Per quanto riguarda la valutazione del rischio di liquefazione attraverso i parametri delle onde di taglio V_s , esistono diversi grafici di correlazione CSR/V_{s1} , dove la V_s è corretta dalla sovrappressione usando l'equazione:

$$V_{s1} = V_s C_{Vs} = V_s (P_a / \sigma'_v)^{0.25}$$

Dove:

V_{s1} = velocità delle onde di taglio corretta della sovrappressione;

V_s = velocità delle onde di taglio misurate in situ;

σ'_v = pressione effettiva alla stessa unità di misura di P_a ;

Pa= pressione atmosferica approssimativamente pari a 100 kPa.

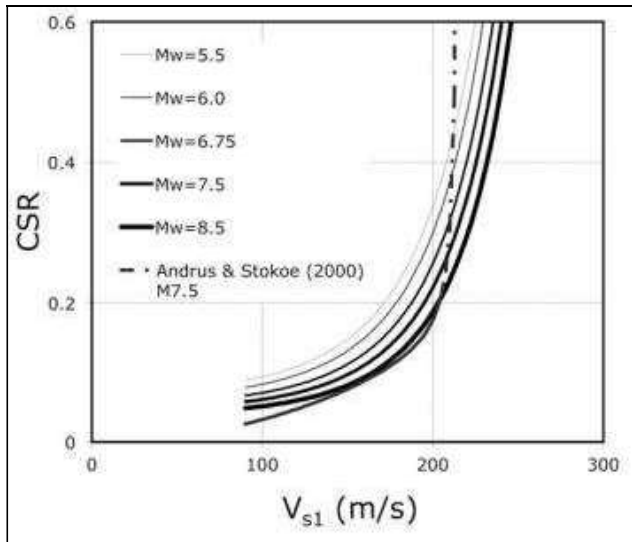


Fig. 12 – Grafico che evidenzia l'andamento delle curve, per valori di Mw da 5.5 a 8.5, in funzione di Vs1 e CSR (da Kayen e altri, 2013).

Per le aree 905 e 906 la magnitudo massima attesa è $M_{wmax} = 6.6$.

Per magnitudo diverse da 7.5, è necessario conoscere il fattore correttivo MSF (Magnitudo Scaling Factor), che per il sito in oggetto è stato considerato 1.44.

L'eurocodice 8 e gli "Indirizzi e criteri di microzonazione sismica – 2008" considerano non liquefacibile un deposito con il coefficiente di sicurezza alla liquefazione $F_s > 1.25$.

Si evidenzia che il D.M. 17.01.2018 al capitolo 7.11.3.4 "Stabilità nei confronti della liquefazione", evidenzia quanto segue:

7.11.3.4.1 *"...Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili a liquefazione. In assenza di interventi di miglioramento, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.*

7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione La verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_c 1N > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata a una tensione efficace verticale di 100kPa e $q_c 1N > 180$ è il valore della resistenza

determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata a una tensione efficace verticale di 100kPa;

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1 (a) nel caso di terreni con coefficienti di uniformità $U_c < 3.5$ e in Fig. 7.11.1 (b) nel caso di terreni con coefficienti di uniformità $U_c > 3.5$.

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2,3 e 4.

7.11.3.4.3 Metodologie di analisi Quando nessuna delle condizioni del paragrafo 7.11.3.4.2 risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili. Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empiriche in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse. L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista."

Il rischio di liquefazione è stato calcolato anche con il metodo di Andrus-Stoke, che utilizza come parametro d'ingresso le onde di taglio (V_s). In quest'ultimo metodo è stata posta la presenza della falda acquifera a -1.5 metri dal piano campagna, a favore di una maggiore sicurezza, considerato che, in tutte le indagini allegate nel presente studio, non sono stati riscontrati livelli così elevati della superficie della falda acquifera. Per la stima del potenziale di liquefazione sono stati utilizzati i valori di " $a_{g \max}$ " al piano campagna, ottenuti mediante l'analisi della Risposta Sismica Locale.

La verifica del rischio liquefazione ha dato i seguenti risultati:

UBICAZIONE	METODO DI CALCOLO	RISCHIO DI LIQUEFAZIONE
- CPT1	- Robertson-Wride modificato	molto basso
- HV1, HV2, HV3, HV4	- Andrus-Stokoe (da V_s)	

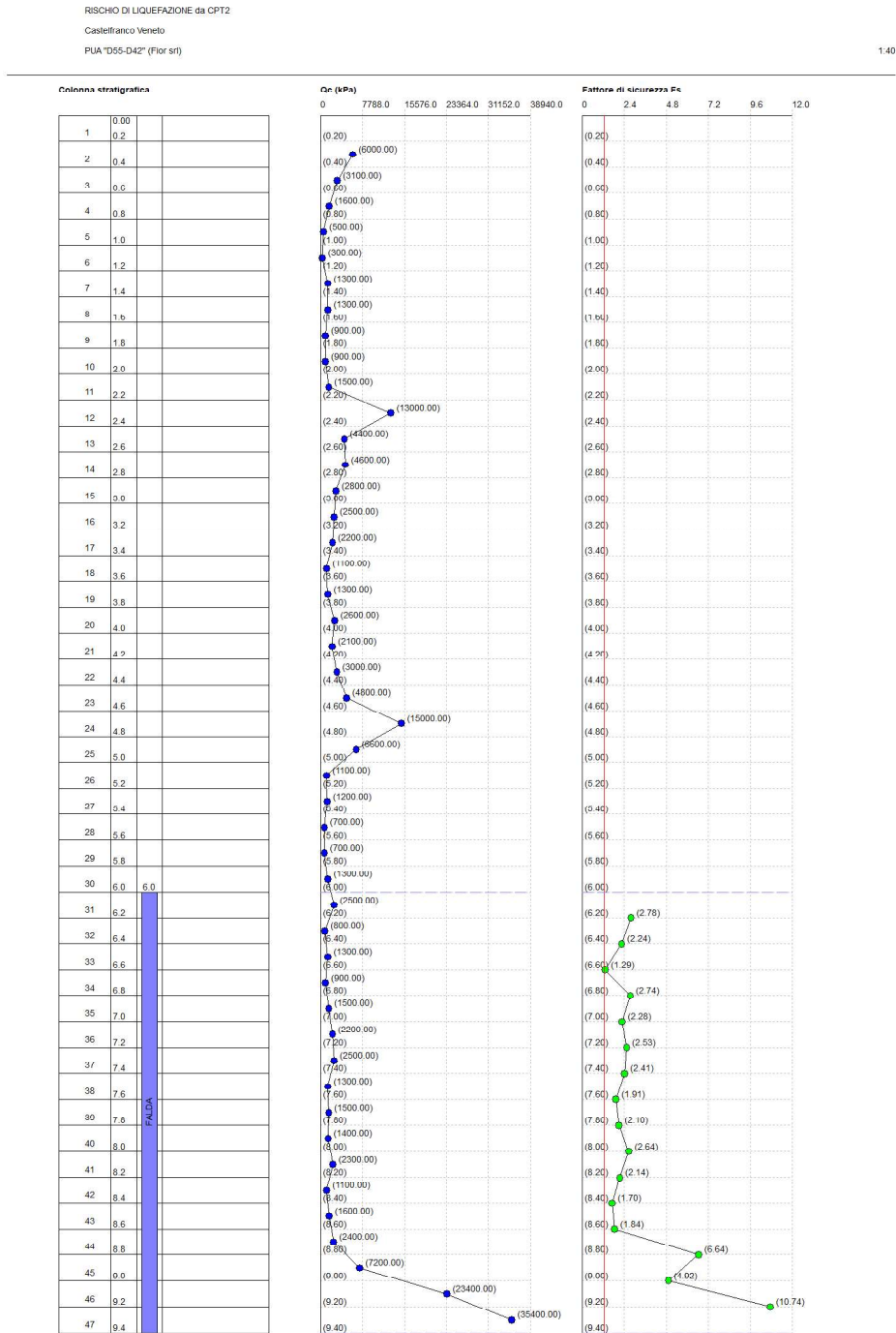


Fig. 13 – Verifica rischio di liquefazione da CPT2

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it

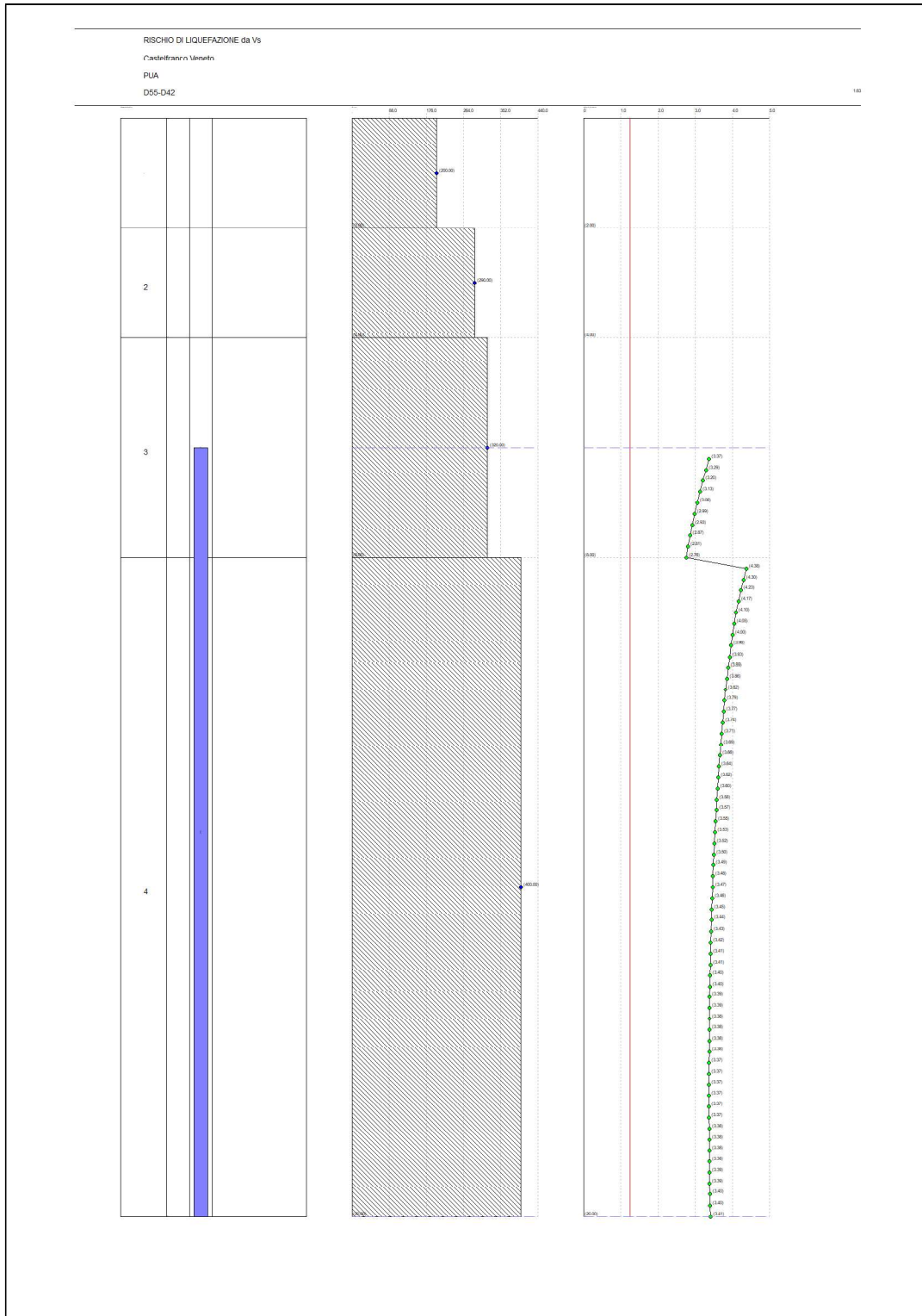


Fig. 14 – Verifica rischio di liquefazione da Vs

7. CONCLUSIONI

In questo lavoro si è realizzata la Microzonazione sismica di terzo livello. Si è fatto riferimento agli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – Microzonazione sismica" vers. 4.1" della Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica e alle linee guida della DGRV 1572/2013 e alla DGRV 899 del 28.06.2019.

E' stata redatta la seguente cartografia:

- Carta delle Indagini;
- Carta della Pericolosità Sismica Locale;
- Carta delle Frequenze Naturali dei Depositi;
- Carte di Microzonazione Sismica di 3^a livello.

In questa relazione sono stati inoltre considerati i principali fattori di natura geologica, idrogeologica necessari per l'intervento in oggetto :

- vicinanza della falda al piano campagna, possibilità di saturazione del terreno;
- caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche;
- natura litologica e determinazione dei parametri geotecnici dei terreni, contatti tra formazioni geologiche a comportamento marcatamente diverso.

Si può perciò concludere che:

1. l'area in esame è in zona pianeggiante, applicando i metodi di calcolo presenti negli "Indirizzi e criteri di micro zonazione sismica " (Conferenza Stato e Regioni del Febbraio 2008) e il DM 14.01.2008, e risulta un'amplificazione topografica **T1**.
2. Nell'area di Castelfranco Veneto il valore di oscillazione della falda, registrata nel periodo 1927-1972 è di circa 4.0 metri, per cui il massima livello della falda, nel sito in esame, può raggiungere circa i - 6.00 metri dal piano campagna.
3. le caratteristiche geotecniche dei litotipi sono descritte nei paragrafi precedenti.
4. Le caratteristiche litologiche ci permettono di affermare che non vi è rischio di liquefazione nel sito in oggetto (v. par. 6.7) e vi sono modesti effetti di amplificazione litologica.
5. il progettista, in base alle considerazioni sopraesposte e alla tipologia di costruzione, potrà scegliere se utilizzare il metodo semplificato o i risultati dell'analisi di risposta sismica locale (RSL) eseguita in sito.
6. nel contesto sismico è sfavorevole la doppia risonanza suolo-struttura (v. capitolo precedente).

DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
Via S. Paolo n. 2
31017 Crespano di Pieve del Grappa (TV)
Tel/fax 0423.53271 cell. 333.2595546
geol.bernardi@tiscali.it

Il direttore dei lavori dovrà controllare la validità delle ipotesi di progetto durante la costruzione considerando, oltre ai dati raccolti in fase di progetto, anche quelli ottenuti con misure e osservazioni nel corso dei lavori per adeguare, eventualmente, l'opera alle situazioni riscontrate.

Pieve del Grappa, 30-03-2022

IL GEOLOGO
Marco dott. Bernardi

