

COMUNE DI SUSEGANA

PROVINCIA DI TREVISO

**PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DI INIZIATIVA
CONGIUNTA PUBBLICA E PRIVATA**

Committente: F.Ili LANDO S.p.A. Via degli Scrovegni 1 - Padova

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA**

Ai sensi del D.M. 17.01.18

Geologo:

Dott. Celeste Granziera

S. Pietro di Feletto, novembre 2020



**PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DI INIZIATIVA CONGIUNTA
PUBBLICA E PRIVATA**

Committente: F.lli LANDO S.p.A.

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

Ai sensi del D.M. 17.01.18

NORMATIVE DI RIFERIMENTO

D.M. 11 marzo 1988: 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.

Norme tecniche per le Costruzioni 2008: Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008 e circolare.

Norme tecniche per le Costruzioni 2018: Aggiornamento alle Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 gennaio 2018.

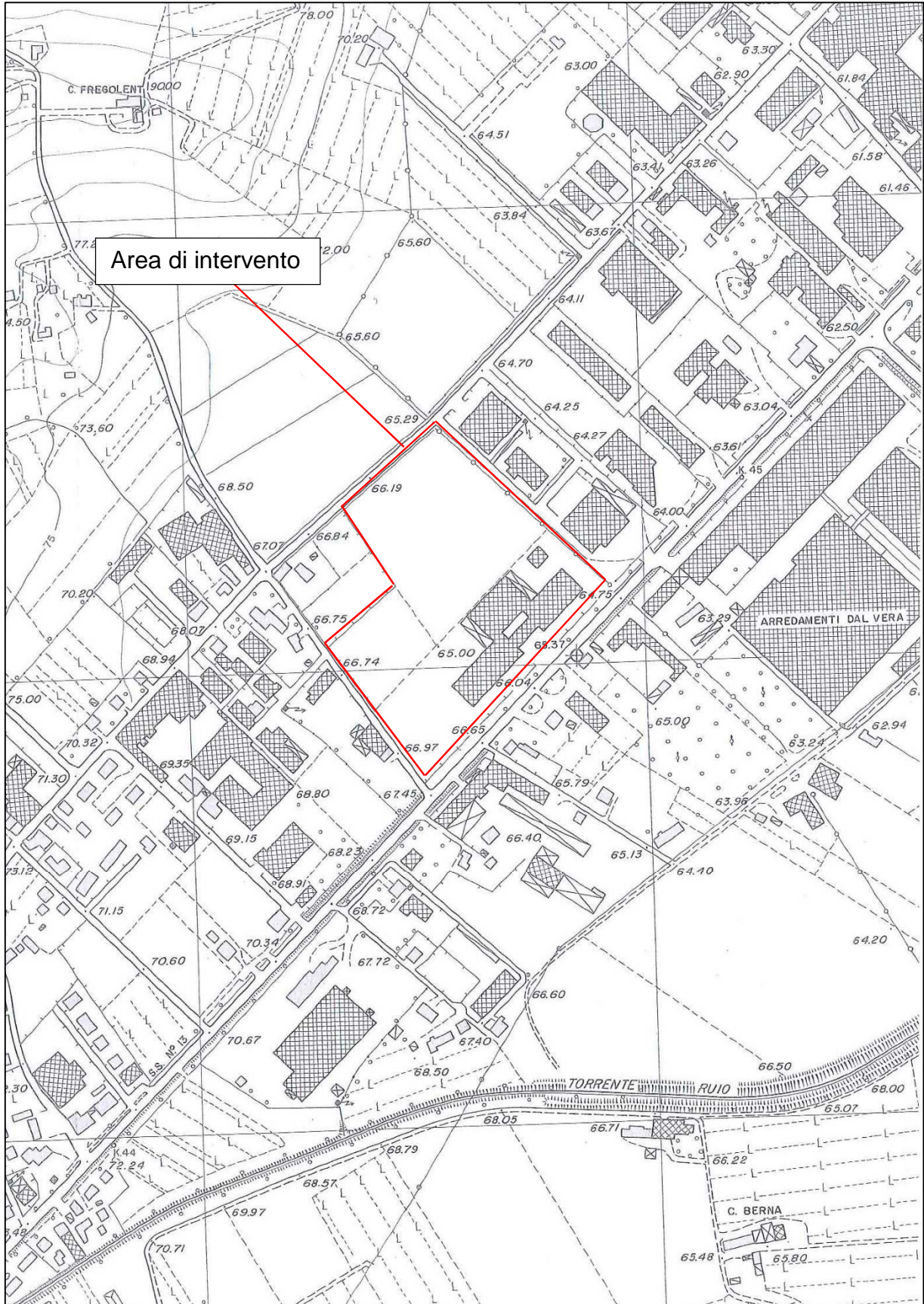
Eurocodice 7: Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.

Eurocodice 8: Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

Il presente studio geologico, geotecnico e sismico accompagna il progetto per la realizzazione del Piano Urbanistico Attuativo di iniziativa pubblica e privata da realizzarsi nella zona produttiva sita lungo la S.S. 13 Pontebbana (Via Conegliano) e delimitata dalla stessa, da Via Barriera e da Via dei Colli e posta a circa 1.1 km a NE del centro abitato di Susegana.

L'area di intervento si pone in zona pianeggiante intorno a quota 65 m s.l.m. e risulta catastalmente censita al F. 32 – mapp. n. 155 – 746 – 747 – 749 – 750 – 751 -757 – 758 – 759 – 760 – 822 – 825 -820 – 821 – 823 – 824 – 826 – 827 – 828 – 829 – 830 – 942 – 954. La zona interessata al progetto è indicata nello stralcio di C.T.R. - El. PARE' - scala 1:5.000, sotto riportata.



INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO – scala 1:5.000

PROGRAMMA DI STUDIO

Il presente studio è stato eseguito allo scopo di ricostruire l'andamento stratigrafico di dettaglio nella zona d'intervento e procedere alla determinazione dei parametri geotecnici e sismici dei terreni interessati dalle opere in progetto.

L'indagine geognostica pertanto si è articolata secondo il seguente programma:

- Rilevamento di dettaglio dell'area.
- Esecuzione di un'indagine sismica di 3° livello con la determinazione delle Vs 30 e della categoria di sottosuolo.
- Analisi di uno studio eseguito nel 2007 dal dott. geol. A. Fabbroni nell'ambito del quale erano già state eseguite n. 3 prove penetrometriche statiche.
- Esecuzione di due sondaggi a carotaggio continuo, spinte rispettivamente fino alla profondità di 10 e 15 m, con classificazione dei terreni in cassette catalogatrici.
- Esecuzione nel corso di ciascun sondaggio di n. 3 prove S.P.T. (Standard Penetration

RICHIAMO A STUDI PRECEDENTI

Il territorio comunale di Susegana è stato oggetto, nel 2012, di uno studio geologico allegato al PAT, redatto dal dott. geol. D. Barazzuol.

Nella "Carta della Fragilità" che rappresenta l'elaborato di sintesi l'area oggetto del presente studio è compresa nel "**Terreno buono**" ed un piccolo tratto, nella parte Nord orientale, classificata come "**Terreno scadente**".

Nella nuova grafia regionale il "**Terreno buono**" corrisponde a "**Terreno idoneo a condizione tipo A**" mentre il "**Terreno scadente**" è classificato come "**Terreno idoneo a condizione tipo C**".

*Nella relazione illustrativa per il "**Terreno idoneo a condizione tipo A**" si specifica che, secondo le "Grafie Geologiche per la Pianificazione Territoriale" – D.G.R.V. 615/96 " Vi sono limiti all'edificabilità solo per edifici particolari (assenza di frane o valanghe sovrincombenti e di movimenti del terreno antichi ed attuali; medio drenaggio con falda medio-profonda; buone caratteristiche geomeccaniche; remote possibilità di esondazione; assenza di dissesto idrogeologico-idraulico".*

Caratterizzazione locale: *La zona di maggior estensione riguarda la fascia pedecollinare di raccordo tra i rilievi e la Pianura tra Colfosco e Susegana. Da questa sono state escluse le aree a deflusso difficoltoso delle zone industriali Bardini e di Susegana.*

Morfologia: *Superfici subpianeggianti, lievemente inclinate e debolmente ondulate, con pendenze non superiori al 5%. Sono poste lontano da margini di scarpate attive.*

Geotecnica: Buone le caratteristiche geotecniche generali.

Idrogeologia: Soggiacenza della falda tra 5 e 10 m. Coefficiente di permeabilità da basso a medio.

Sismica: I terreni agli effetti delle sollecitazioni sismiche si considerano stabili. Va altresì localmente valutata la situazione del sottosuolo, in quanto la possibile presenza a profondità minori di 20 m di passaggi litologici a forte contrasto di rigidità potrebbe comportare delle amplificazioni locali dell'onda, di cui bisogna tenere conto in fase di progettazione.

Prescrizioni: Non vi sono limiti alla normale edificazione; si dovrà in ogni caso prevedere la realizzazione di una relazione geologica, che dovrà, tra l'altro contenere l'indicazione della classe sismica e topografica del terreno coinvolto in base alla situazione presente nel sottosuolo. Si consiglia, inoltre, di verificare lo spessore della coltre di materiale coesivo superficiale. Per edifici particolari, cioè di notevole mole ed impegno, si provvederà, in ogni caso, alla verifica puntuale delle caratteristiche geotecniche.

Per il **“Terreno idoneo a condizione tipo C”** si specifica che, secondo le “Grafie Geologiche per la Pianificazione Territoriale “ – D.G.R.V. 615/96 “ L'edificabilità è sconsigliata (possibilità remote di frane o valanghe sovraincombenti, drenaggio impedito e frequenti condizioni di saturazione del terreno; caratteristiche geomeccaniche scadenti; possibilità di esondazioni; dissesto idrogeologico-idraulico limitato).

Caratterizzazione locale: Rientra in questa categoria la fascia prospiciente il greto del Piave, a S degli argini, la zona N del Comune, alcuni lembi all'interno del Pedrè Doline, la Piana del torrente Crevada e le zone industriali di Bardine e Susegana caratterizzate da deflusso difficoltoso.

Morfologia: Per la parte collinare terreni caratterizzati da pendenze spesso superiori al 20%; locale presenza di dissesti idrogeologici seppur superficiali; presenza di morfologia carsica, in particolare doline, che possono in alcuni casi essere del tutto mascherate sotto alla copertura sciolta superficiale.

Litologia: Depisti fluvioglaciali ed alluvionali a tessitura prevalentemente limo-argillosa; depositi fluvioglaciali ed alluvionali costituiti da ghiaie e sabbie ghiaiose; depositi eluviali e colluviali argillosi, argilloso-sabbiosi e limoso-sabbiosi, da mediamente a poco addensati, aventi spessore variabile da 1 a qualche metro e poggianti su ghiaie, ghiaie cementate, conglomerati e sabbie argillose; formazioni litoidi conglomeratiche, sabbiose ed argillose, con coperture di alterazione di qualche metro.

Geotecnica: Le caratteristiche geotecniche per questa categoria vanno da buone a scadenti. Presentano elevata variabilità laterale.

Idrogeologia: Terreni a ridotta permeabilità primaria: nella parte collinare le litologie a

composizione prevalentemente argillosa tendono ad imbibirsi ed a dilatarsi: tale comportamento può diventare fattore predisponente alla franosità. I livelli conglomeratici presentano invece una permeabilità per fessurazione. Nella fascia parallela al greto del Piave la soggiacenza della falda è molto ridotta. Presenza di zone a drenaggio talora difficoltoso o a rischio esondazione.

Sismica: *Agli effetti sismici i terreni possono subire riduzione delle caratteristiche geotecniche, con ridotti cedimenti ed innesco di limitati fenomeni franosi.....*

Come per le classi precedenti ed a maggior ragione, andrà altresì valutata localmente la situazione nel sottosuolo, in quanto la probabile presenza a profondità minori di 20 m di passaggi litologici a forte contrasto di rigidità sismica potrebbe comportare delle amplificazioni locali dell'onda, di cui bisogna tenere conto in fase di eventuale progettazione.

Prescrizioni: *L'edificazione è sconsigliata, ma possibile con particolari interventi specifici. Qualsiasi intervento edificatorio dovrà essere preceduto da dettagliate indagini geologico-geotecniche, che dovranno sempre prevedere prove geognostiche in numero e profondità adeguate al tipo di intervento.*

Alle luce delle prove geognostiche effettuate, mentre risultano del tutto pertinenti le caratteristiche riferibili ai terreni **“Terreno idoneo a condizione tipo A”** non sono state rilevate all'interno dell'area elementi attinenti alle caratteristiche di cui al **“Terreno idoneo a condizione tipo C”**. Anzi, come verrà dettagliatamente illustrato in seguito, dall'indagine effettuata, emerge una sostanziale omogeneità nell'ambito di tutta la zona di intervento.

CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO ai sensi dell'art. 6.2.1 del D.M. 17.01.18

Dal punto di vista geomorfologico la zona in oggetto è posta al margine dei terreni alluvionali della pianura veneta, nella fascia disposta al piede del complesso collinare che si estende fino al limite del centro abitato di Susegana.

I depositi terrigeni presenti nella parte superficiale di questa zona, traggono origine dalle erosioni, trasporto e deposizione della formazione Mio Pliocenica in affioramento nelle colline immediatamente soprastanti.

Pertanto questo manto di alluvioni pedecollinari presenta, come componente fondamentale, un termine a granulometria fine: limi più o meno argillosi, talora anche sabbiosi a seconda della velocità di deposizione.

Il substrato presente a profondità compresa tra 3.7 e 4.1 metri ed è costituito da alluvioni grossolane ghiaioso sabbiose di origine fluvioglaciale trasportate in epoca wurmiana dai corsi d'acqua principali (Piave e Ruio).

Si constata inoltre che la zona è del tutto priva di fenomeni geodinamici in atto o potenziali per cui può essere definita completamente stabile dal punto di vista geomorfologico.

NOTA IDROGEOLOGICA

L'area di intervento, per quanto riguarda l'idrografia superficiale, ricade all'interno del bacino del torrente Crevada.

Nel corso della presente indagine il livello di falda, in corrispondenza del sondaggio n. 2, è stato misurato alla profondità di - 7.5 m dal p.c. Dato l'andamento pluviometrico antecedente, è probabile che tale quota sia inferiore alla media. La "Carta idrogeologica" allegata al PAT indica, infatti una profondità compresa tra 5 e 10 m nella fascia più a Nord dell'area e > 10 m nella zona più prossima alla S.S. 13 " Pontebbana. La direzione del deflusso è verso SE con un gradiente del 1.5‰.

Dal punto di vista della permeabilità, i terreni, per i primi 4 - 5 m sono costituiti da limi argillosi da classificare come **poco permeabili** ($K = 1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-6} \text{ cm/sec}$).

In considerazione della natura dell'intervento, è necessaria la predisposizione di uno studio idraulico che analizzi nel dettaglio le modificazioni indotte dall'intervento urbanistico previsto in progetto.

NOTA TETTONICA

Per gli aspetti tettonici dell'area di intervento, si rimanda allo studio di microzonazione sismica di 3° livello, redatta da "StudioSisma" allegato alla presente.

INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA ai sensi dell'art. 6.2.2 del D.M. 17.01.18

Per l'esame geotecnico dei terreni di fondazione sono stati eseguiti: n. 2 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità rispettivamente di 10 e 15 m dal p.c. e, nel corso di questi, n° 3 prove S.P.T rispettivamente alla profondità di: 1,5 - 3,0 - 6.0 m. Sono state, inoltre, analizzate n. 3 prove penetrometriche statiche spinte fino al "rifiuto" alla profondità compresa tra 4.6 e 6 m dal p.c e arrestate causa del grado di densità del banco ghiaioso. La loro ubicazione è indicata nella planimetria allegata.

Sondaggi

Sondaggio n. 1 - Stratigrafia (vedi scheda allegata)

Da (m)	A (m)	Litologia
0.0	0.1	Asfalto
0.1	1.5	Ghiaia di riporto
1.5	3.7	Limo argilloso marron
3.7	4.1	Limi argillosi con minuscoli clasti
4.1	10.0	Ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa

Le prove SPT, eseguite nel foro di sondaggio, hanno dato i seguenti risultati:

Sondaggio n. 1	S.P.T. n. 1	Profondità m 1.5	N _{SPT} = 9
----------------	-------------	------------------	----------------------

Litologia	Limi argillosi
Stato di consistenza	Mod. Consistente
Res. Compressione semplice	Q _u = 0.5 - 1.0 Kg/cmq
Peso di volume	γ = 1.7 - 1.8
Coesione	C = 0.5 - 0.75 Kg/cm ²

Sondaggio n. 1	S.P.T. n. 2	Profondità m 3.0	N _{SPT} = 15
----------------	-------------	------------------	-----------------------

Litologia	Limi argillosi
Stato di consistenza	Consistente
Res. Compressione semplice	Q _u = 1.5 – 2.0 Kg/cm ^q
Peso di volume	γ = 1.8 – 1.9
Coesione	C = 1.2 – 1.5 Kg/cm ²

Sondaggio n. 1	S.P.T. n. 3	Profondità m 6.5	N _{SPT} = Rif. 7 cm
----------------	-------------	------------------	------------------------------

Litologia	Ghiaie in matrice sabbiosa
Stato di consistenza	Molto addensato
Densità relativa	Dr = > 80 %
Peso di volume	γ = 2.0 – 2.1
Angolo d'attrito interno	Φ = 40° - 45°
Coesione	C = 0

Misure di consistenza e di coesione

Profondità - m	Pocket P. – kg/cmq	Torvane – kg/cmq
1.6	4.5	1.4
1.8	4.2	1.7
2.0	5.8	1.8
2.2	5.6	2.0
2.4	5.3	1.8
2.6	5.8	2.0
2.8	5.2	> 2
3.4	5.8	2.0
3.6	6.0	> 2

Sondaggio n. 2 - Stratigrafia (vedi scheda allegata)

a (m)	A (m)	Litologia
0.0	3.7	Limi argillosi marron
3.7	4.7	Ghiaie e ciottoli in matrice limoso-sabbiosa
4.7	15.0	Ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa

Le prove SPT, eseguite nel foro di sondaggio, hanno dato i seguenti risultati:

Sondaggio n. 2	S.P.T. n. 1	Profondità m 1.5	N _{SPT} = 4
----------------	-------------	------------------	----------------------

Litologia	Limi argillosi
Stato di consistenza	Mod. Consistente
Res. Compressione semplice	Q _u = 0.3 – 0.5 Kg/cmq
Peso di volume	γ = 1.6 – 1.7
Coesione	C = 0.1 – 0.2 Kg/cm ²

Sondaggio n. 2	S.P.T. n. 2	Profondità m 3.0	N _{SPT} = 10
----------------	-------------	------------------	-----------------------

Litologia	Limi argillosi
Stato di consistenza	Consistente
Res. Compressione semplice	Q _u = 1.3 – 1.5 Kg/cmq
Peso di volume	γ = 1.7 – 1.8
Coesione	C = 0.5 – 0.8 Kg/cm ²

Sondaggio n. 2	S.P.T. n. 3	Profondità m 6.0	N _{SPT} = 33
----------------	-------------	------------------	-----------------------

Litologia	Ghiaie in matrice sabbiosa
Stato di consistenza	Med. addensato
Densità relativa	Dr = 40 % - 50 %
Peso di volume	$\gamma = 2.0 - 2.1$
Angolo d'attrito interno	$\Phi = 35^\circ - 40^\circ$
Coesione	C = 0

Misure di consistenza e di coesione

Profondità - m	Pocket P. – kg/cmq	Torvane – kg/cmq
0.4	2.7	1.0
0.6	2.8	1.4
0.8	3.2	1.3
1.0	2.8	1.2
1.2	3.3	1.3
1.4	3.7	1.4
1.6	3.8	1.4
1.8	4.3	1.3
2.0	3.2	1.4
2.2	3.8	1.3
2.4	4.3	1.6
2.6	3.2	1.2
2.8	3.7	1.4
3.0	5.4	2.0
3.2	4.7	1.6
3.4	5.0	1.6
3.6	4.2	1.0

Prove penetrometriche statiche

Come accennato in precedenza sono state prese in considerazione n. 3 prove penetrometriche statiche eseguite nel 2007, nella stessa area dal dott. Geol. A. Fabbroni nell'ambito della "Relazione Geologica Generale" per il P.U.A di iniziativa privata – Area ex BrinoBet".

Le prove CPT sono state eseguite utilizzando un penetrometro statico tipo GOUDA da 20 ton e consistono essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($v = 2 \text{ cm/sec}$).

La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta, opportunamente ancorato al suolo, che agisce su una batteria doppia di aste (aste esterne cave e aste interne piene coassiali), alla cui estremità inferiore è collegata la punta. Lo sforzo necessario per l'infissione è determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura, collegato al martinetto idraulico.

La punta conica (di tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante per la misura dell'attrito laterale (punta/manicotto tipo "BEGEMANN").

Nei diagrammi e tabelle allegati sono riportati i seguenti valori di resistenza (rilevati dalle letture di campagna, durante l'infissione dello strumento):

Qc (Kg/cmq) - Resistenza alla punta (conica);

Fs (Kg/cmq) - Resistenza laterale (manicotto).

Ambedue sono stati rilevati a intervalli regolari di 20 cm.

Oltre ai valori di resistenza del sottosuolo, vengono fornite utili indicazioni per il riconoscimento di massima dei terreni attraversati, in base al rapporto Qc/Fs .

Sempre con riferimento alle prove statiche CPT, nelle tavole allegate sono riportate indicazioni concernenti i principali parametri geotecnici:

Coesione non drenata **Cu**;

Angolo d'attrito interno efficace ϕ ;

Modulo edometrico **Ed**;

Modulo elastico **Ey**;

Peso unità di volume γ ;

Peso unità di volume saturo γ' ;

Va precisato che in assenza di prove geotecniche di laboratorio (su campioni indisturbati di terreno) le correlazioni suddette hanno validità orientativa.

Dall'analisi degli elaborati allegati si osserva che l'andamento stratigrafico e geotecnico è così caratterizzato:

PROVA statica N. 1

Da	litologia	γ kg/mc	γ' kg/mc	ϕ	Cu kg/cm ²	Ed kg/cm ²
0.0 – 3.0	Argille limose	1990	2070	0.0	0.75	46.71
3.0 – 4.0	Ghiaie in matrice limoso-sabbiosa	1800	2100	41	0.0	219.92
4.0 – 6.0	Ghiaie e sabbie	1900	2200	42	0.0	575.75

PROVA statica N. 2

Da	litologia	γ kg/mc	γ' kg/mc	ϕ	Cu kg/cm ²	Ed kg/cm ²
0.0 – 2.8	Argille limose	1980	2060	0.0	0.7	42.45
2.8 – 3.4	Ghiaie in matrice limoso-sabbiosa	1900	2200	40	0.0	182.32
3.4 – 4.6	Ghiaie e sabbie	1900	2200	42	0.0	648.63

PROVA statica N. 3

Da	litologia	γ kg/mc	γ' kg/mc	ϕ	Cu kg/cm ²	Ed kg/cm ²
0.0 – 3.6	Argille limose	2080	2.160	0.0	1.3	77.94
3.6 – 4.0	Ghiaie in matrice limoso-sabbiosa	1900	2200	40	0.0	211.2
4.0 – 5.0	Ghiaie e sabbie	1900	2200	42	0.0	588.55

I sondaggi e le prove penetrometriche hanno fornito un quadro sostanzialmente molto omogeneo, sia per quanto riguarda la successione stratigrafica che per le caratteristiche geomeccaniche dei terreni. La stratigrafia della zona risulta caratterizzata da uno strato superficiale di spessore variabile fra i 3.5 ed i 4 m di limi argillosi mediamente compatti che ricoprono alluvioni ghiaioso-sabbiose che proseguono in profondità per almeno una decina di metri. Un pozzo terebrato a poche centinaia di metri in direzione SE indica che detti depositi si estendono fino alla profondità di 37 m dal p.c.

CALCOLO DEL CARICO LIMITE DI ROTTURA E RESISTENZA DI PROGETTO (Rd)

Attraverso il modello geotecnico sopra riportato, non conoscendo le caratteristiche dell'edificio e degli interventi in programma, a titolo indicativo, si è arrivati alla definizione del carico limite di rottura (Qult), della resistenza di progetto (Rd) e della tensione (Ed). Si sono adottate delle fondazioni superficiali a "plinto" (2.5 x 2.5 m)" posti intorno a 1.5 m o "a trave (B = 1.5 m)", posta alla profondità di - 1.0 m.

Per il calcolo dei carichi citati, si sono tenuti in considerazione i seguenti elementi:

- si è utilizzato l'approccio 2 (A1+M1+R3);
- per la valutazione dei carichi in condizioni sismiche si sono applicati i coefficienti di riduzione per effetto della classificazione sismica del sito, considerando come stato limite di riferimento lo SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita). Ciò si applica esclusivamente a terreni con componente granulare, in quanto per terreni coesivi le riduzioni non sono significative;
- l'effetto sismico è stato valutato tramite il metodo Paolucci e Pecker (previsto dalla normativa 2018);
- si è utilizzato il metodo **Brinch - Hansen (EC 7 - EC 8)**:

$$Q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot S_c \cdot i_c \cdot d_c \cdot g_c \cdot b_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot d_q \cdot g_q \cdot b_q + 0.5 \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma$$

Si sono ottenuti i seguenti risultati, per un modello fondazionale teorico e per carichi verticali e centrati.

Plinto (2.5 x 2.5 m – D = 1.5 m)

Combinazione	Carico limite di rottura (Qult)	Resistenza di progetto (Rd)	Tensione (Ed)
A1+M1+R3	5.11 kg/cmq	2.22 kg/cmq	1.70 kg/cmq
SISMA	5.11 kg/cmq	2.84 kg/cmq	

Trave (B = 1.5 m – D = 1.0 m)

Combinazione	Carico limite di rottura (Qult)	Resistenza di progetto (Rd)	Tensione (Ed)
A1+M1+R3	4.33 kg/cmq	1.88 kg/cmq	1,44 kg/cmq
SISMA	4.33 kg/cmq	2.41 kg/cmq	

Con tali ipotesi risulta verificata la relazione 6.2.1 del paragrafo 6.2.3.1 (Verifiche nei confronti degli stati limiti ultimi SLU) $Ed \leq Rd$.

Sempre a titolo indicativo, con le soluzioni ipotizzate, sono stati valutati i vari cedimenti, con i seguenti risultati:

Prove statiche	Cedimenti in cm			
	Ed = 1.7 Kg/cmq	Ed = 1.2 Kg/cmq	Ed = 1.44 Kg/cmq	Ed = 1.2 Kg/cmq
	Plinto 2.5 x 2.5 m	Plinto 2.5 x 2.5 m	Trave B = 1.5 m	Trave B = 1.5 m
Prova P1	4.79	2.82	4.09 cm	3.3 cm
Prova P2	4.32	2.78	4.21 cm	3.4 cm
Prova P3	3.08	1.97	2.62 cm	2.11 cm
Differenziale	$\Delta_{\max}=1.71$ cm	$\Delta_{\max}=0.85$ cm	$\Delta_{\max}=1.59$ cm	$\Delta_{\max}=1.29$ cm

La tabella soprariportata evidenzia come, per i valori ottenuti, i cedimenti assoluti siano significativi mentre diventano accettabili per un $Ed = 1.2$ Kg/cmq. Qualora vengano prese in considerazione soluzioni con pressioni più elevate potranno essere prese in considerazione fondazioni profonde su pali impostate in corrispondenza del substrato ghiaioso presente in tutta l'area oltre i 4 – 5 m di profondità.

CARATTERISTICHE SISMOGENETICHE DEL COMUNE DI SUSEGANA

Per le caratteristiche sismiche del Comune di Susegana si rimanda alla specifica relazione redatta dallo "StudioSisma" allegata alla presente.

NORME TECNICHE PER IL PROGETTO, LA VALUTAZIONE E L'ADEGUAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI (TESTO UNITARIO: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI – D.M. 17.01.2018)

Comune	Susegana
Zona	2
Accelerazione orizzontale a_g/g	0.25
Categoria del suolo di fondazione	B – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
Categoria topografica	T1 - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Valutazione dei coefficienti sismici del sito

Secondo il decreto 17.01.2018 del Ministero delle Infrastrutture (G.U. n. 29 del 04.02.2008) la località in esame, per una struttura di classe 4° con vita nominale di 50 anni presenta le seguenti variabilità dei parametri di azione **a_g** , **F_o** e **T_c** in funzione dei periodi di ritorno:

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.057	2.478	0.237
Danno (SLD)	50	0.077	2.470	0.253
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.225	2.411	0.323
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.304	2.411	0.342

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.014	0.018	0.074	0.095
kv	0.007	0.009	0.037	0.047
A_{max} [m/s ²]	0.669	0.902	2.600	3.314
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

CONCLUSIONI

Il presente studio geologico, geotecnico idrogeologico e sismico relativo alla zona oggetto di Piano Urbanistico Attuativo di iniziativa congiunta pubblico- privato ha permesso di evidenziare i seguenti elementi:

- L'area dal punto di vista geomorfologico si presenta completamente stabile: sono del tutto assenti fenomeni geodinamici sia in atto che allo stato potenziale.**
- L'intervento in progetto comporterà un sensibile cambiamento delle condizioni generali per una parte significativa dell'area, soprattutto per quanto riguarda lo sgrondo delle acque superficiali. Tale situazione dovrà essere attentamente valutata mediante uno specifico studio di compatibilità idraulica;**
- Collocandosi l'area al piede dei primi rilievi collinari del Comune di Susegana, la successione stratigrafica risulta caratterizzata in tutta la sua estensione da uno strato superficiale di spessore compreso tra i 3.7 ed i 4.1 m di terreni fini di natura argilloso-limosa derivati dalle erosioni, trasporto e deposizione della formazione Mio Pliocenica in affioramento nelle colline immediatamente soprastanti. Questi ricoprono alluvioni ghiaioso-sabbiose di origine fluvioglaciale trasportate in epoca wurmiana dai corsi d'acqua principali (Piave e Ruio);**
- La superficie di falda è stata intercetta nel corso dell'esecuzione dei sondaggi alla profondità di 7.3 m dal p.c. In considerazione dell'andamento atmosferico nel periodo precedente è ipotizzabile che tale quota sia da considerare al di sotto del livello medio e che la stessa possa innalzarsi anche di qualche metro in coincidenza con precipitazioni intense e prolungate;**
- Attraverso l'esecuzione di n. 2 sondaggi a carotaggio continuo fino alla profondità di 10 e 15 m e l'analisi di n. 3 prove penetrometriche statiche spinte fino al rifiuto in corrispondenza dello strato ghiaioso eseguite in uno studio precedente, è stata ricostruita la successione stratigrafica ed acquisite le caratteristiche geotecniche dei terreni alle varie profondità. Si è potuto constatare una sostanziale omogeneità nell'ambito di tutta l'area;**
- Utilizzando il modello geotecnico derivato dall'analisi delle prove geognostiche (3 prove penetrometriche statiche e n. 2 sondaggi con n. 6 prove N_{SPT}) si è proceduto ad un calcolo indicativo del carico limite di rottura (Q_{ult}), della resistenza di progetto (R_d) e della tensione (E_d), ipotizzando fondazioni superficiali tipo "plinto" (3 x 3 m) posto alla profondità di 1.5 m o a platea (10 x 10 m) impostata a - 1.0 m dal p.c. Si sono ottenuti i seguenti valori:**

- **Plinto (2.5 x 2.5 m – D = 1.5 m)**

Combinazione	Carico limite di rottura (Qult)	Resistenza di progetto (Rd)	Tensione (Ed)
A1+M1+R3	5.11 kg/cmq	2.22 kg/cmq	1.70 kg/cmq
SISMA	5.11 kg/cmq	2.84 kg/cmq	

Trave (B = 1.5 m – D = 1.0 m)

Combinazione	Carico limite di rottura (Qult)	Resistenza di progetto (Rd)	Tensione (Ed)
A1+M1+R3	4.33 kg/cmq	1.88 kg/cmq	1,44 kg/cmq
SISMA	4.33 kg/cmq	2.41 kg/cmq	

- **Con i valori ottenuti sono stati anche calcolati i cedimenti in corrispondenza di ogni singola prova penetrometrica che risultano compresi tra 2.11 cm e 4.32 cm per valori di Ed variabili fra 1.2 e 1.7 Kg/cm² e con fondazioni del tipo a trave o plinto, con differenziali variabili fra 0.85 e 1.71 cm;**
- **Qualora vengano prese in considerazione soluzioni con pressioni più elevate potranno essere valutate fondazioni profonde su pali impostate in corrispondenza del substrato ghiaioso presente in tutta l'area oltre i 4 – 5 m di profondità.**
- **Dalla specifica indagine sismica di 3° grado emerge che la categoria del suolo di fondazione è “ B”;**
- **Per tutti gli altri aspetti di carattere sismico si rimanda alla specifica indagine allegata alla presente.**

Le condizioni geotecniche, idrogeologiche, geomorfologiche e sismiche risultano compatibili con l'opera prevista in progetto, ferme restando le indicazioni e le prescrizioni contenute nella presente relazione.

In ogni caso il direttore dei lavori, come previsto dal D.M. 11.03.88 al punto B2, dovrà controllare la validità dell'ipotesi di progetto durante la costruzione, oltre ai dati raccolti in fase di progetto, anche quelli ottenuti con misure e osservazioni nel corso dei lavori per adeguare, eventualmente, le opere alle situazioni riscontrate.

San Pietro di Feletto, 26 novembre 2020

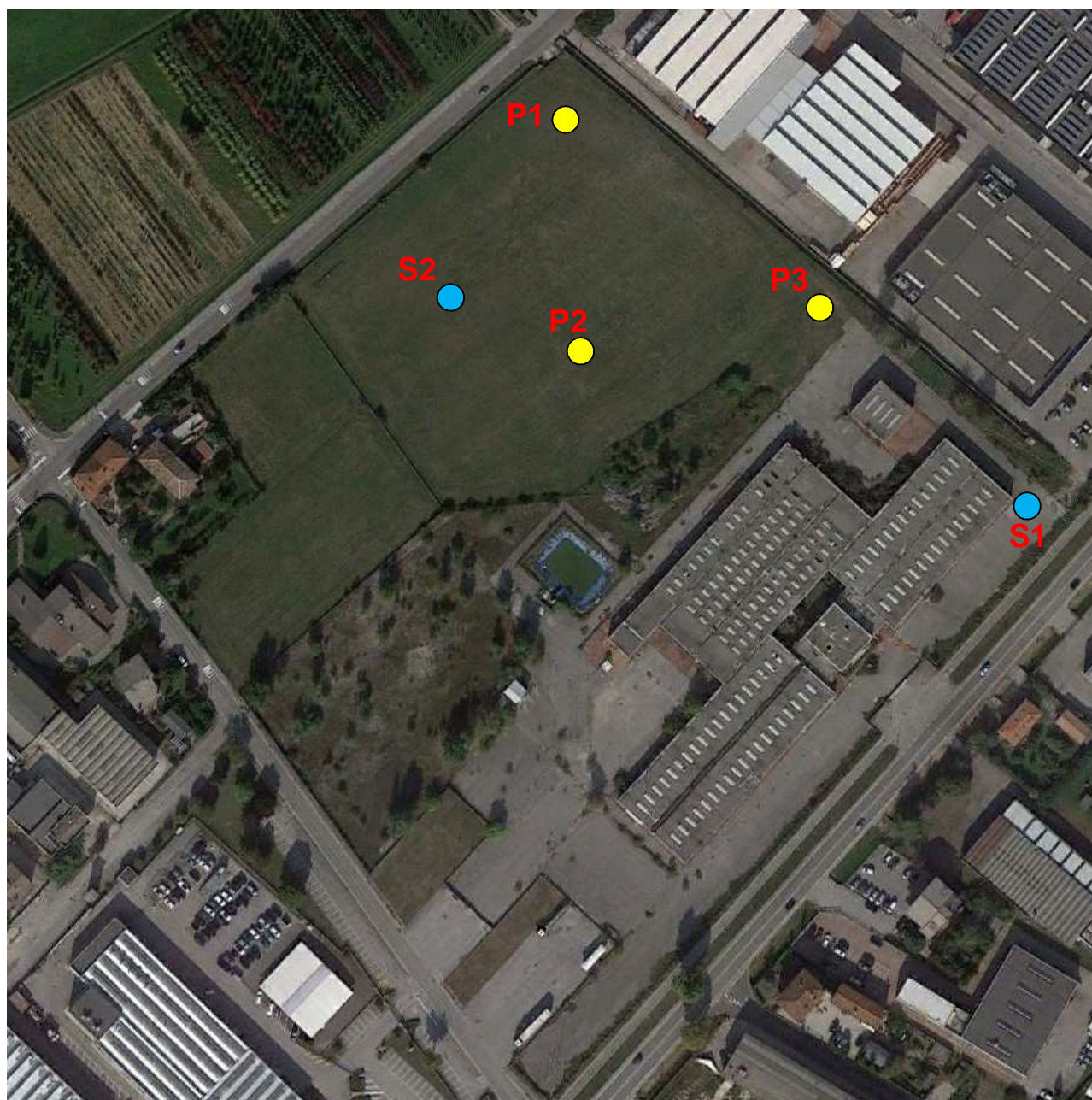
Dott. Geol. Celeste Granziera



Allegati:

- Planimetria con ubicazione prove geognostiche;
- Grafici e tabelle prove penetrometriche;
- Schede di sondaggio;
- Documentazione fotografica;
- Indagine sismica di 3° livello redatta dallo "Studio Sisma".

ORTOFOTO PLANIMETRICA CON UBICAZIONE PROVE GEOGNOSTICHE



P= prove statiche

S= sondaggi

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

Caratteristiche Strumentali

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35,7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	102

PROVA ...P1

Profondità (m)	Letture punta (Kg/cm ²)	Letture laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,138	0,544	0,254	394,2
0,40	1,20	2,0	12,378	0,476	26,004	3,8
0,60	1,50	2,2	15,438	0,68	22,703	4,4
0,80	1,30	2,3	13,398	0,68	19,703	5,1
1,00	1,70	2,7	17,478	1,156	15,119	6,6
1,20	8,50	10,2	86,976	2,788	31,197	3,2
1,40	4,20	8,3	43,116	1,224	35,225	2,8
1,60	1,90	3,7	19,656	2,244	8,759	11,4
1,80	4,20	7,5	43,116	1,36	31,703	3,2
2,00	1,90	3,9	19,656	1,088	18,066	5,5
2,20	2,40	4,0	24,894	1,156	21,535	4,6
2,40	2,70	4,4	27,954	1,496	18,686	5,4
2,60	2,80	5,0	28,974	1,632	17,754	5,6
2,80	3,00	5,4	31,014	0,952	32,578	3,1
3,00	1,80	3,2	18,774	2,652	7,079	14,1
3,20	9,10	13,0	93,372	1,972	47,349	2,1
3,40	7,40	10,3	76,032	2,244	33,882	3,0
3,60	9,10	12,4	93,372	4,76	19,616	5,1
3,80	23,00	30,0	235,152	2,72	86,453	1,2
4,00	23,00	27,0	235,152	2,72	86,453	1,2
4,20	42,00	46,0	429,09	2,72	157,754	0,6
4,40	49,00	53,0	500,49	2,04	245,338	0,4
4,60	27,00	30,0	276,09	2,72	101,504	1,0
4,80	39,00	43,0	398,49	2,04	195,338	0,5
5,00	19,00	22,0	194,49	2,04	95,338	1,0
5,20	25,00	28,0	255,828	2,04	125,406	0,8
5,40	25,00	28,0	255,828	3,4	75,244	1,3
5,60	43,00	48,0	439,428	3,4	129,244	0,8
5,80	43,00	48,0	439,428	2,72	161,554	0,6
6,00	53,00	57,0	541,428	0,68	796,218	0,1

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
3,00	23,35431	1,297231	2,0	Coesivo	Argille Limose
4,00	146,616	2,8832	2,3	Incoerente	Ghiaie in matrice limoso sabbiosa
6,00	383,8333	2,342222	2,5	Incoerente	Ghiaie e sabbie

PROVA ... Nr.2

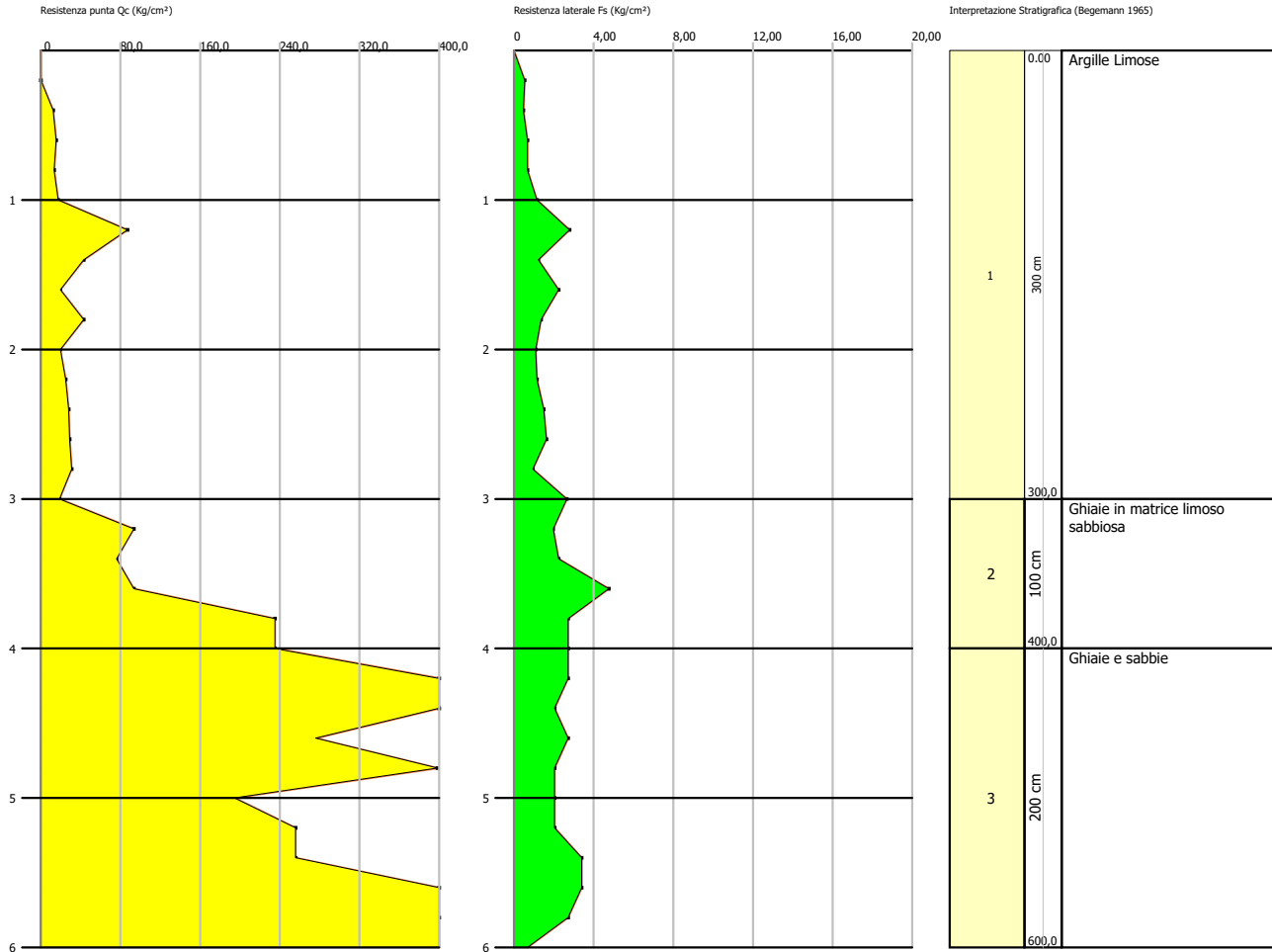
Profondità (m)	Letture punta (Kg/cm ²)	Letture laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,138	0,748	0,184	542,0
0,40	1,90	3,0	19,518	0,748	26,094	3,8
0,60	2,10	3,2	21,558	1,088	19,814	5,0
0,80	2,60	4,2	26,658	1,088	24,502	4,1
1,00	1,70	3,3	17,478	1,292	13,528	7,4
1,20	1,30	3,2	13,536	1,02	13,271	7,5
1,40	1,50	3,0	15,576	1,224	12,725	7,9
1,60	1,70	3,5	17,616	1,36	12,953	7,7
1,80	2,10	4,1	21,696	1,36	15,953	6,3
2,00	2,00	4,0	20,676	1,496	13,821	7,2
2,20	2,00	4,2	20,814	1,496	13,913	7,2
2,40	2,80	5,0	28,974	1,564	18,526	5,4
2,60	2,60	4,9	26,934	1,632	16,504	6,1
2,80	2,40	4,8	24,894	1,36	18,304	5,5
3,00	12,00	14,0	122,814	1,972	62,279	1,6
3,20	9,60	12,5	98,472	1,36	72,406	1,4
3,40	14,00	16,0	143,352	2,04	70,271	1,4
3,60	25,00	28,0	255,552	2,04	125,271	0,8
3,80	33,00	36,0	337,152	2,72	123,953	0,8
4,00	45,00	49,0	459,552	2,72	168,953	0,6
4,20	51,00	55,0	520,89	0,68	766,015	0,1
4,40	45,00	46,0	459,69	2,04	225,338	0,4
4,60	55,00	58,0	561,69	0,0		0,0

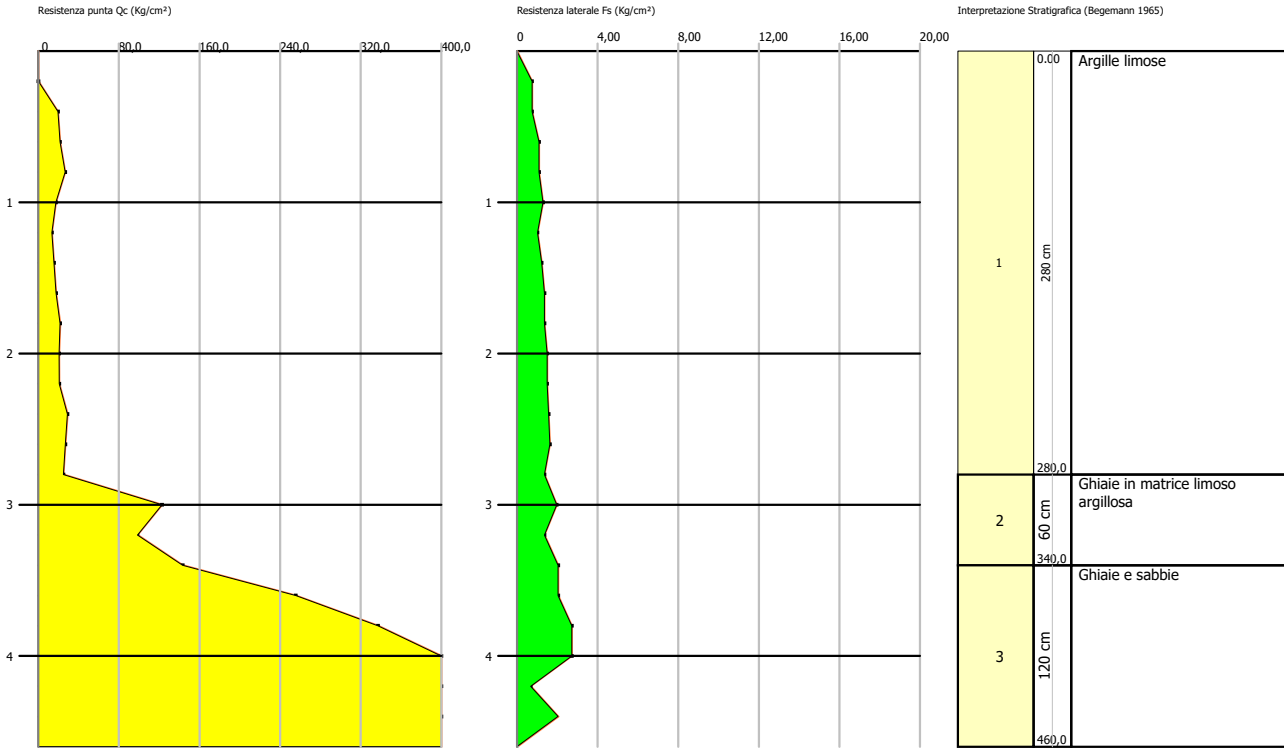
Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
2,80	21,22523	1,286769	2,0	Coesivo	Argille limose
3,40	121,546	1,790667	2,3	Incoerente	Ghiaie in matrice limoso argillosa
4,60	432,421	1,7	2,5	Incoerente	Ghiaie e sabbie

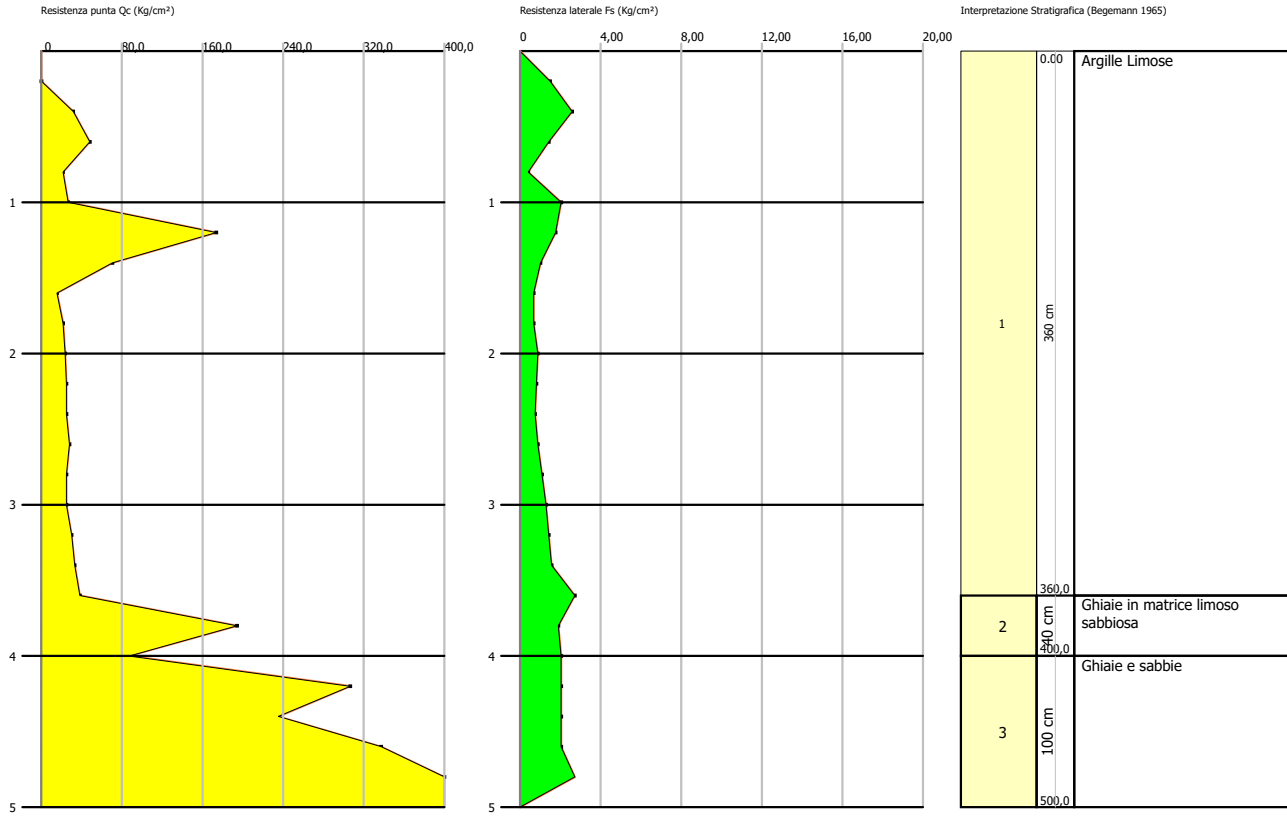
PROVA ... Nr.3

Profondità (m)	Letture punta (Kg/cm ²)	Letture laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,138	1,496	0,092	1084,1
0,40	3,10	5,3	31,758	2,584	12,29	8,1
0,60	4,70	8,5	48,078	1,428	33,668	3,0
0,80	2,10	4,2	21,558	0,408	52,838	1,9
1,00	2,60	3,2	26,658	2,04	13,068	7,7
1,20	17,00	20,0	173,676	1,768	98,233	1,0
1,40	6,90	9,5	70,656	1,02	69,271	1,4
1,60	1,50	3,0	15,576	0,68	22,906	4,4
1,80	2,10	3,1	21,696	0,68	31,906	3,1
2,00	2,30	3,3	23,736	0,884	26,851	3,7
2,20	2,40	3,7	24,894	0,816	30,507	3,3
2,40	2,40	3,6	24,894	0,748	33,281	3,0
2,60	2,70	3,8	27,954	0,884	31,622	3,2
2,80	2,40	3,7	24,894	1,088	22,881	4,4
3,00	2,40	4,0	24,894	1,292	19,268	5,2
3,20	2,90	4,8	30,132	1,428	21,101	4,7
3,40	3,20	5,3	33,192	1,564	21,223	4,7
3,60	3,70	6,0	38,292	2,72	14,078	7,1
3,80	19,00	23,0	194,352	1,904	102,076	1,0
4,00	8,50	11,3	87,252	2,04	42,771	2,3
4,20	30,00	33,0	306,69	2,04	150,338	0,7
4,40	23,00	26,0	235,29	2,04	115,338	0,9
4,60	33,00	36,0	337,29	2,04	165,338	0,6
4,80	51,00	54,0	520,89	2,72	191,504	0,5
5,00	55,00	59,0	561,69	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
3,60	38,97282	1,296	2,1	Coesivo	Argille Limose
4,00	140,802	1,972	2,3	Incoerente	Ghiaie in matrice limoso sabbiosa
5,00	392,37	1,768	2,5	Incoerente	Ghiaie e sabbie







SONDAGGIO GEOGNOSTICON. 2

Committente:
Iperlando Spa




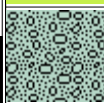


Località:
Susegana - vai Conegliano

Cantiere:
Piano Attuativo

Tipo Sondaggio:
Carotaggio continuo

Falda:
7.3 m

Inizio Esecuzione:
13-11-20

Scala	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T.	Pocket P.	Torvane	Campioni	Falda
1		limo argilloso marron		1 - 2 - 2	2.7 2.8 3.2 2.8 3.3 3.7 3.8 4.3	*1 *1.4 *1.3 *1.2 *1.3 *1.4 *1.4 *4.3		
2				1.50 PC	3.2 3.8 4.3	*1.4 *1.6 *1.4		
3				2 - 3 - 7	3.2 3.7 5.4 4.7 5 4.2	*1.2 *1.4 *2 *1.6 *1.6 *1.2		
			3.70					
4		ghiaie e ciottoli in abbondante matrice limoso sabbiosa	4.70					
5		ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa		12 - 15 - 18				
6				6.00 PC				
7								7.30 
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15			15.00					

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: Operazioni di sondaggio S1



Foto 2: Stratigrafia da 0-5 m S1



Foto 3: Stratigrafia da 5-10 m S1



Foto 4: Operazioni di sondaggio S2



Foto 5: Stratigrafia da 0-5 m S2



Foto 6: Stratigrafia da 5-10 m S2



Foto 7: Stratigrafia da 10-15 m S2



Comune di SUSEGANA
Provincia di Treviso



MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3

P.U.A. di via Conegliano
Comune di Susegana (TV)

D.G.R. 1572 del 3 settembre 2013 – D.G.R. 899 del 28 giugno 2019

Committente: **IPERLANDO SPA**



Dr. Geol. Matteo Collareda

via Lungo Giara 29 - Isola Vicentina (VI)

tel./fax 0444 962532 - cell. 349 0567455

e-mail: info@studiosisma.com -web: www.studiosisma.com

1 - Introduzione

Tra i principali compiti che la Regione Veneto svolge in materia ambientale e di governo del territorio vi è quello di pianificare e programmare strumenti diretti alla mitigazione dei rischi naturali e antropici con l'obiettivo di favorire trasformazioni positive nella vita delle persone e una migliore sostenibilità ambientale.

I rischi naturali possono essere mitigati attraverso azioni preventive, come la corretta gestione del territorio da parte delle amministrazioni competenti: attendere un evento sismico per intervenire in fase di emergenza aumenta esponenzialmente il costo di gestione degli interventi e delle successive ricostruzioni. Al contrario, agire in modo preventivo ridurrebbe i costi di gestione delle fasi successive all'evento. Procedere in modo preventivo, quindi, significa sviluppare una serie di norme, linee guida e comportamenti operativi e/o educativi finalizzati alla gestione dei rischi naturali, alla riduzione generale dei costi sociali e della loro ricaduta sulla popolazione.

La Regione Veneto, da diversi anni, ha attivato una serie di iniziative di tipo normativo e tecnico-operativo per conseguire efficaci progressi nella conoscenza dei fenomeni naturali del proprio territorio legati alla geologia, con l'obiettivo di attivare azioni efficaci in materia di riduzione dei rischi naturali, con particolare riguardo al rischio sismico.

Gli studi preventivi in campo sismico permettono di identificare aree in cui la pericolosità sismica raggiunge livelli che possono pregiudicare la sostenibilità del territorio, sia in termini di vite umane, sia economici e sia di degrado ambientale.

Per Microzonazione Sismica (di seguito definita MS) si intende la valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo. In sostanza, la MS individua e caratterizza le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità. È ormai noto che lo stesso evento sismico può provocare scuotimenti decisamente differenti in dipendenza degli spessori e delle qualità dei terreni posti a copertura del *bedrock* e delle caratteristiche morfologiche del sito. È, inoltre, riconosciuto che gli effetti di un terremoto variano col variare delle condizioni geologiche in cui esso si sviluppa.

Le caratteristiche geologiche del territorio possono alterare localmente e in maniera evidente l'azione sismica. Recentemente, anche in Italia (ad esempio Umbria-Marche, 1997 - Salò, 2004 - L'Aquila, 2010 - Modenese, 2012), sono stati evidenziati livelli di danneggiamento estremamente diversi in edifici ubicati a breve distanza tra loro e aventi all'incirca le stesse caratteristiche strutturali. In alcune di queste località (ad esempio Umbria-Marche, 1997) sono state effettuate registrazioni accelerometriche durante un *aftershock*, che hanno mostrato come i livelli di scuotimento nei pressi di siti in pianura su terreni sciolti siano stati amplificati di oltre il doppio rispetto a siti su roccia e abbiano avuto una durata molto più lunga.

Gli studi di MS hanno l'obiettivo di razionalizzare la conoscenza di questi fenomeni restituendo informazioni utili per chi deve pianificare o realizzare interventi sul territorio.

2 - Generalità

La MS è uno strumento molto utile ai fini della prevenzione sismica e della valutazione del rischio sismico, per il governo del territorio, per la progettazione e per la pianificazione per l'emergenza. La MS ha lo scopo di riconoscere a una scala sufficientemente grande (scala comunale o subcomunale) le condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture.

In sostanza, lo studio di MS viene sintetizzato in una carta del territorio nella quale sono indicate:

- le zone in cui il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono equiparati a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- le zone in cui il moto sismico viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio;
- le zone in cui sono presenti fenomeni di deformazione permanente del territorio, attivi o potenzialmente inducibili/attivabili in caso di sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali, ecc.).

In funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi, gli studi di MS possono essere effettuati a vari livelli di approfondimento, con complessità e impegno crescenti, passando dal Livello 1 fino al Livello 3:

- il Livello 1 è un livello propedeutico ai veri e propri studi di MS, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee rispetto alle zone sopra descritte;
- il Livello 2 si propone di quantificare l'effetto sismico proprio di ogni zona omogenea individuata nel Livello 1, utilizzando allo scopo ulteriori e mirate indagini, ove necessario, e definisce la Carta di Microzonazione Sismica;
- il Livello 3 restituisce una Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

Tali studi sono di fondamentale importanza nella pianificazione al fine di:

- orientare la scelta di aree per nuovi insediamenti;
- definire gli interventi ammissibili in una data area;
- programmare le indagini e i livelli di approfondimento;
- stabilire gli orientamenti e le modalità di intervento nelle aree urbanizzate;
- definire le priorità di intervento.

Nella pianificazione d'emergenza, sia di livello comunale che provinciale, gli studi di MS consentono una migliore e consapevole individuazione degli elementi strategici di un piano di emergenza e, in generale, delle risorse di protezione civile.

La conoscenza dei possibili effetti locali indotti da un evento sismico su un territorio contribuisce a:

- scegliere opportunamente le aree in cui si dovranno posizionare le strutture di emergenza e gli edifici strategici;
- individuare le strutture e le infrastrutture che necessitano di specifiche analisi, per definire il grado di adeguamento necessario a evitarne il collasso in caso di sisma e, quindi, per non compromettere le loro funzioni di pubblica utilità.

Il presente studio è stato svolto a un Livello 3 di approfondimento nell'ambito del Piano Urbanistico Attuativo in via Conegliano nel comune di Susegana, secondo le modalità riportate nelle Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica approvate con D.G.R. 1572 del 03/09/2013 (pubblicate nel Bur n.81 del 24/09/2013) e la D.G.R. 899 del 28 giugno 2019.

A tal riguardo, le nuove Linee Guida Regionali per la Microzonazione Sismica vanno applicate agli studi di MS a corredo degli strumenti di pianificazione urbanistica comunale (P.A.T., P.I. e loro varianti di cui alla L.R. 11/2004). Anche i Piani Urbanistici Attuativi (P.U.A.), nei comuni i cui strumenti urbanistici di livello superiore non contengono studi sismici appropriati, devono essere dotati di specifici studi di MS.

La metodologia prevede che il Livello 3 di approfondimento sia applicato in sede di P.I. e P.U.A. a tutte le parti di territorio suscettibili di amplificazione sismica e/o instabilità individuati nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio che comportano un incremento dei carichi urbanistico/insediativi e per il territorio compreso nel perimetro del centro abitato-così come previsti dalla normativa vigente.

Ad ogni modo, i risultati del presente studio sono stati ottenuti a partire dall'analisi della MS di Livello 1 effettuata, su tutto il territorio comunale, in data maggio 2019 dal dr. geol. Dario Barazzuol.

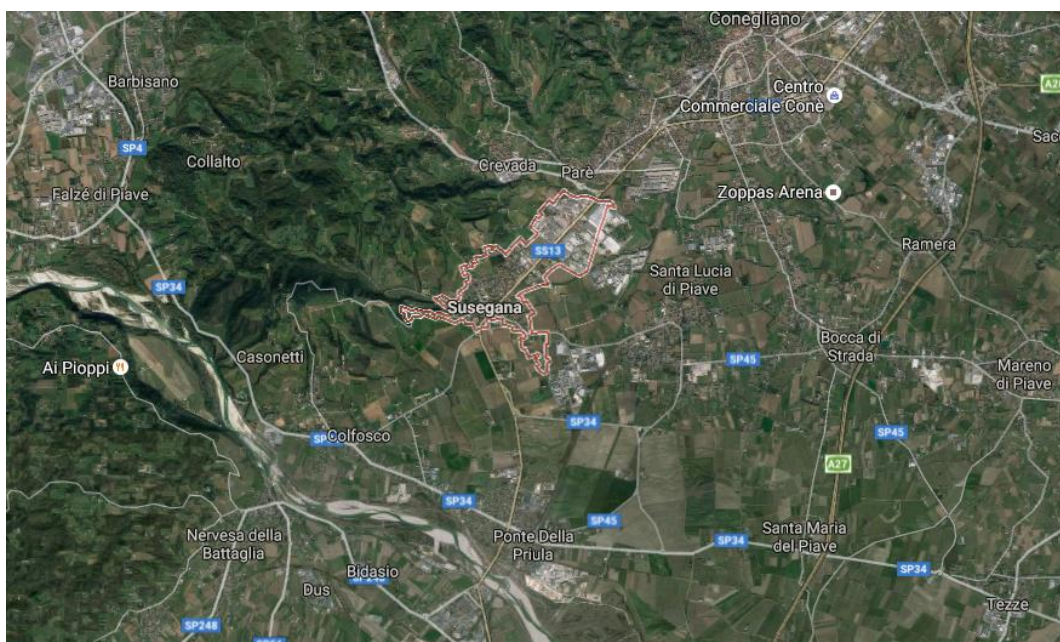
3 - Elementi geologici, geomorfologici e idrogeologici locali per la MS

3.1 Premesse

Nel presente capitolo vengono illustrate le principali caratteristiche geomorfologiche, litologiche e idrogeologiche del territorio comunale.

Il comune di Susegana si colloca nella porzione nordorientale della provincia di Treviso. Amministrativamente confina con i comuni di Conegliano a nord, Santa Lucia di Piave a est, Nervesa della Battaglia a sud e Sernaglia della Battaglia a ovest.

Il territorio ha una superficie di 44,1 kmq ed una popolazione di 11,835 abitanti (ISTAT, gennaio 2007).



Inquadramento generale del territorio

Le infrastrutture viarie principali che attraversano il territorio sono: l'Autostrada Alemagna A28 per un piccolo tratto a nord-est, l'Autostrada A27 (Portogruaro) che fiancheggia il comune ad est, le Strade Provinciali n° 34 (Toirano - Balestrino) e n° 45 (Gardesana Occidentale).

3.2 Inquadramento geologico e geomorfologico

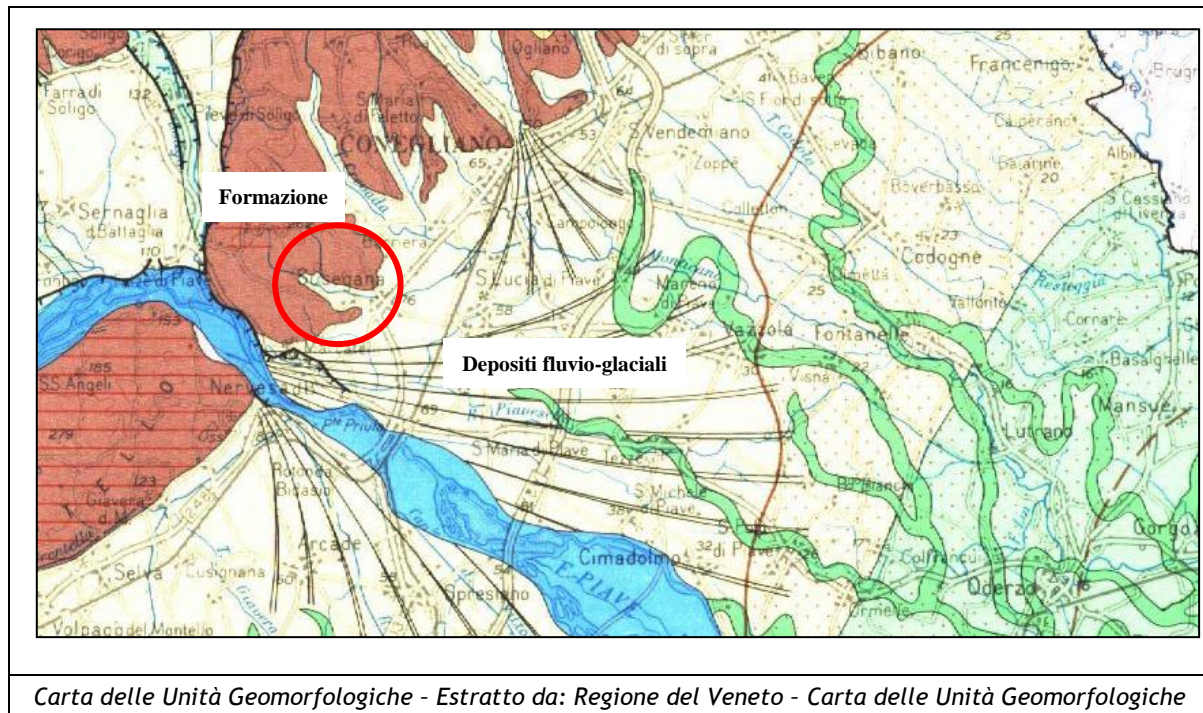
Per l'inquadramento geologico dell'area si è fatto riferimento alle considerazioni riportate nel P.A.T. comunale, ad alcune pubblicazioni consultate e alle osservazioni condotte durante i sopralluoghi effettuati.

Dal punto di vista geomorfologico, il Comune di Susegana si sviluppa nell'Alta Pianura Trevigiana formata, in età glaciale e postglaciale, dal deposito delle alluvioni grossolane apportate dal Fiume Piave che rappresenta l'attuale elemento idrografico di maggiore importanza assieme al Torrente Crevada che confluisce nel Fiume Monticano in località Tre Acque. Entrambi scorrono in direzione Ovest - Est rispettivamente nel settore meridionale e settentrionale del territorio comunale. Al Fiume

Piave sono collegate direttamente altre forme morfologiche come i tratti di scarpata di erosione fluviale attiva e, indirettamente, diversi paleoalvei peraltro privi di rilievo morfologico.

L'intero territorio si presenta, di fatto, sostanzialmente pianeggiante.

A scala regionale, l'area comunale ricade nell'unità dei "Depositi fluvio-glaciali e alluvionali antichi e recenti" lambito, nella zona settentrionale, dai vari membri della "Formazione del Conglomerato del Montello". Nelle figure seguenti è possibile notare come il territorio in oggetto si posiziona nella porzione laterale del *megafan* (grande conoide) di Nervesa.



Il sottosuolo del territorio in esame è parzialmente interessato, come precedentemente accennato, dalle grandi conoidi alluvionali di natura ghiaioso - sabbiosa, depositate nel passato dai corsi d'acqua che sboccarono dalle vallate prealpine.

Durante la loro formazione, le conoidi si sono più volte incrociate, sovrapposte ed anastomizzate, a causa del mutare frequente dei regimi idrici del corso delle acque. La maggior parte dei depositi presenti nel territorio, costituiti prevalentemente da ghiaie e ciottoli più o meno sabbiosi, sono stati depositati dal Fiume Piave in età glaciale e postglaciale.

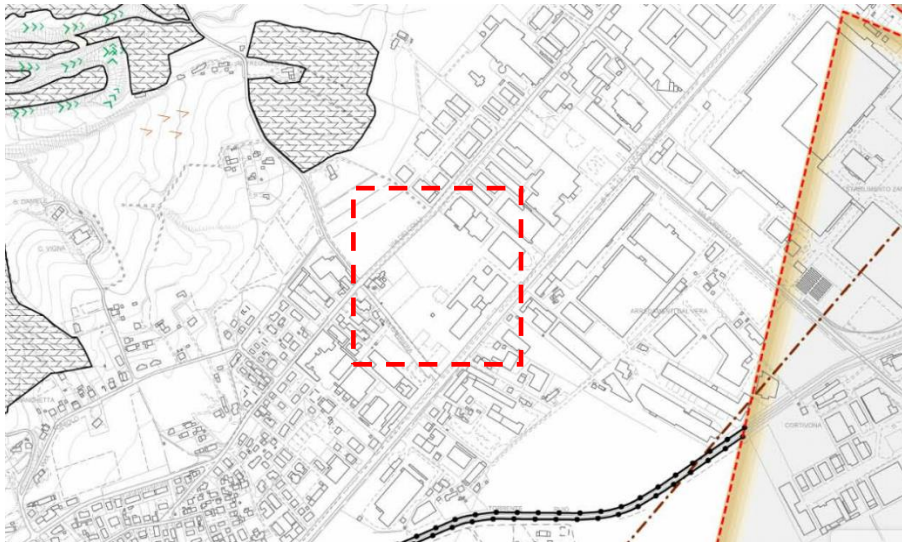
In particolare, la formazione del territorio è legata a quanto verificatosi nell'ultima glaciazione e nei tempi successivi: nel corso dell'espansione e della fase di massima intensità dell'ultima glaciazione (anaglaciale Würmiano) una spessa coltre di detriti grossolani venne distribuita a ventaglio sulla pianura, formando una grande conoide con vertici a Caerano, Biadene, Nervesa ed altri minori.

Questi vertici erano legati alle varie fronti del ghiacciaio plavense, le quali determinavano grandi correnti fluvio-glaciali che trasportavano verso sud i materiali morenici raccolti. Dopo aver conseguito la massima espansione ed aver sostato lungamente sulle posizioni raggiunte, il ghiacciaio cominciò a ritirarsi (cataglaciale) e le varie correnti pian piano si ridussero. Mantenne una notevole importanza quella in uscita da Nervesa che determinò la formazione di una seconda conoide interconnessa ed in parte sovrapposta alla prima, con vertice a Nervesa e con limite occidentale in corrispondenza del Torrente Giavera e limite orientale in corrispondenza del Fiume Monticano.

Su quest'ultima conoide in tempi postglaciali (10.000 anni fa circa - oggi) il Fiume Piave ha divagato, incidendo e ridepositando sulle vecchie alluvioni. Le singole correnti più veloci hanno lasciato lunghe strisce ghiaiose che ancora oggi si osservano. Alla fine della glaciazione e nel postglaciale, acquisirono importanza i processi deposizionali legati al giungere periodico delle acque di esondazione.

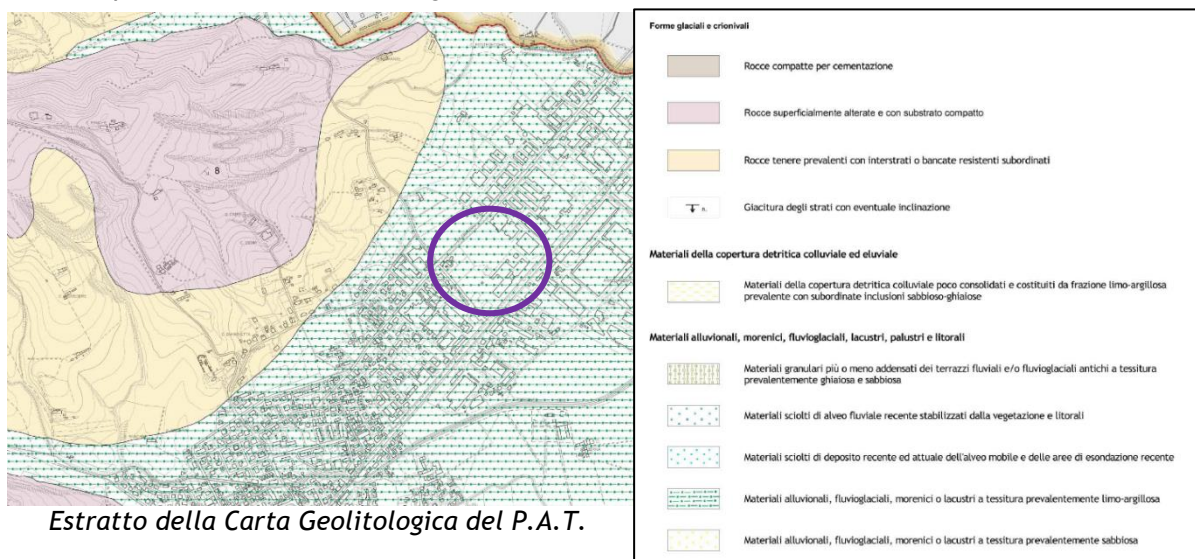
Qui la tranquilla espansione ed il sostare delle acque di piena favorì il deposito di spessori, anche rilevanti, di materiali a granulometria fine: sabbie, limi ed argille. Il tutto terminò con l'intervento dell'uomo che, arginando il Piave (a partire dal 1.200), pose fine all'accumulo di nuove alluvioni sull'Alta Pianura.

Nello specifico, l'area interessata dal presente studio si trova all'estremità orientale del comune e risulta priva di qualsiasi assetto morfologico rilevante ai fini dello studio di MS, come evidenziato dall'estratto della Carta Geomorfologica riportata.



Estratto della Carta Geomorfologica del P.A.T.

Dal punto di vista litologico stratigrafico, il territorio di Susegana è composto da una parte settentrionale dove affiorano i diversi membri litoidi della Formazione del Conglomerato del Montello spesso ricoperti da depositi sciolti eluvio colluviali, da depositi glaciali e da depositi di frana, e una parte meridionale occupata da depositi di origine alluvionale, morenici, fluvioglaciali, lacustri, palustri e litorali. Le aree appena descritte sono state cartografate nella Carta Geologico-Tecnica riportata nel P.A.T. del comune, di cui si riporta un estratto relativo all'area interessata dal presente studio. L'area indagata è composta da materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente limo - argillosa.

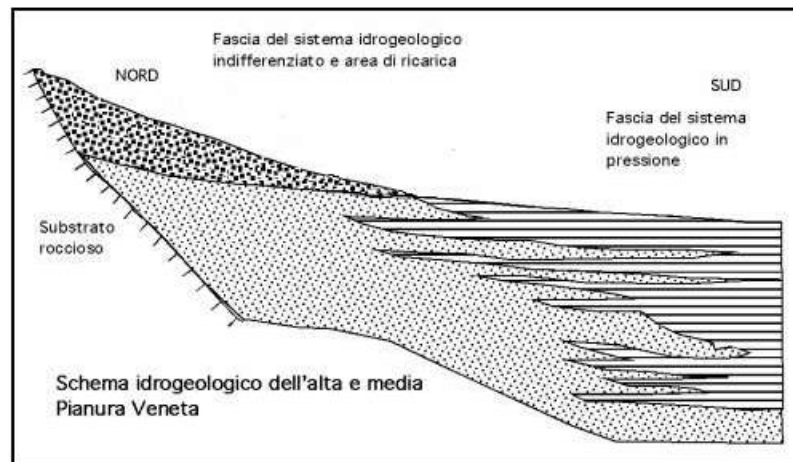


Estratto della Carta Geolitologica del P.A.T.

3.3 Inquadramento idrografico e idrogeologico

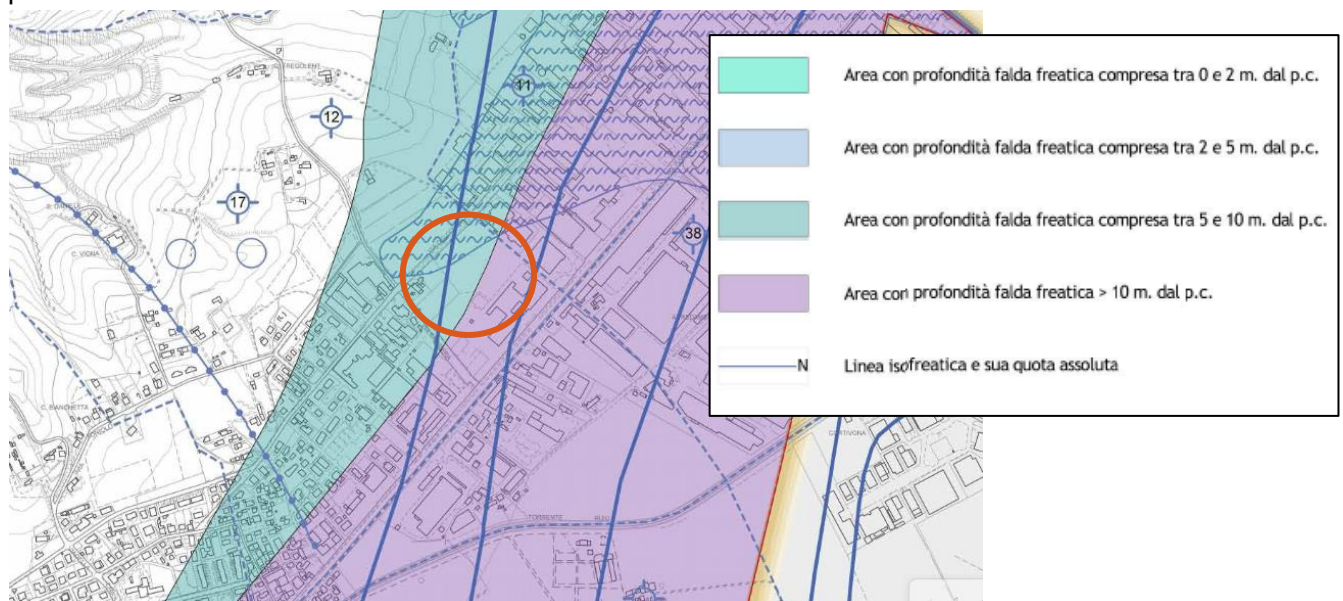
Dal punto di vista **idrogeologico**, risulta importante sottolineare che l'intero territorio comunale si posiziona all'interno della zona di Alta Pianura, compresa tra il piede dei rilievi montuosi ed il limite superiore della fascia delle risorgive che grossomodo coincide con l'inizio della zona nel cui sottosuolo sono presenti importanti falde acquifere in pressione. Il materasso ghiaioso dell'Alta Pianura contiene il cosiddetto acquifero freatico indifferenziato che alimenta e regola, dal punto di vista idraulico, tutto il sistema multifalदे in pressione presente più a Sud.

L'alimentazione della falda è legata essenzialmente alle dispersioni dal Piave; elementi secondari sono gli apporti meteorici, l'irrigazione a scorrimento e le perdite dai canali di irrigazione non impermeabilizzati.



Profilo geologico di alta e media pianura

Le oscillazioni della falda risultano importanti e dell'ordine di diversi metri mentre le principali direzioni di deflusso della falda freatica, le quote indicative del livello di falda ed il suo gradiente, sono illustrati nella figura seguente che riporta uno stralcio della "Carta Idrogeologica" del P.A.T. dove si può osservare che l'area in esame non è soggetta a nessun vincolo idrogeologico ed è compresa tra due isofreatiche con quote di 60 e 50 m dal livello del mare. Pertanto, ricade a cavallo tra la zona con profondità della falda freatica maggiore di 10 m e quella compresa tra 5 e 10 m dal p.c. locale.



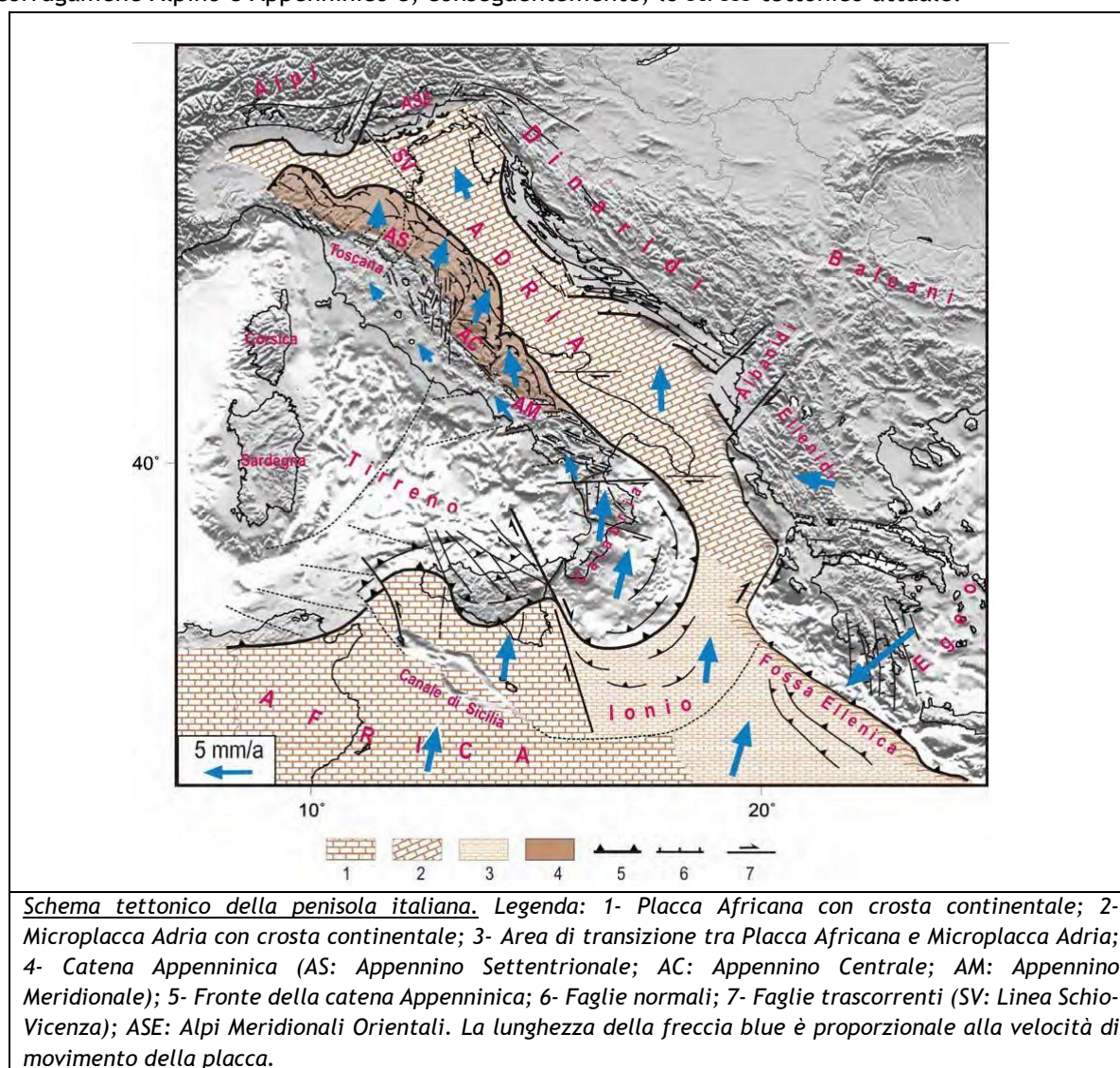
Estratto Carta Idrogeologica del P.A.T.

4 - Definizione della pericolosità sismica di base e degli eventi di riferimento

Nel presente capitolo verrà trattato l'inquadramento sismotettonico generale, la sismicità storica locale, le faglie capaci e le sorgenti sismogenetiche, la zonazione sismica nazionale, e la pericolosità sismica di riferimento del territorio circostante Susegana.

4.1 Inquadramento sismotettonico generale

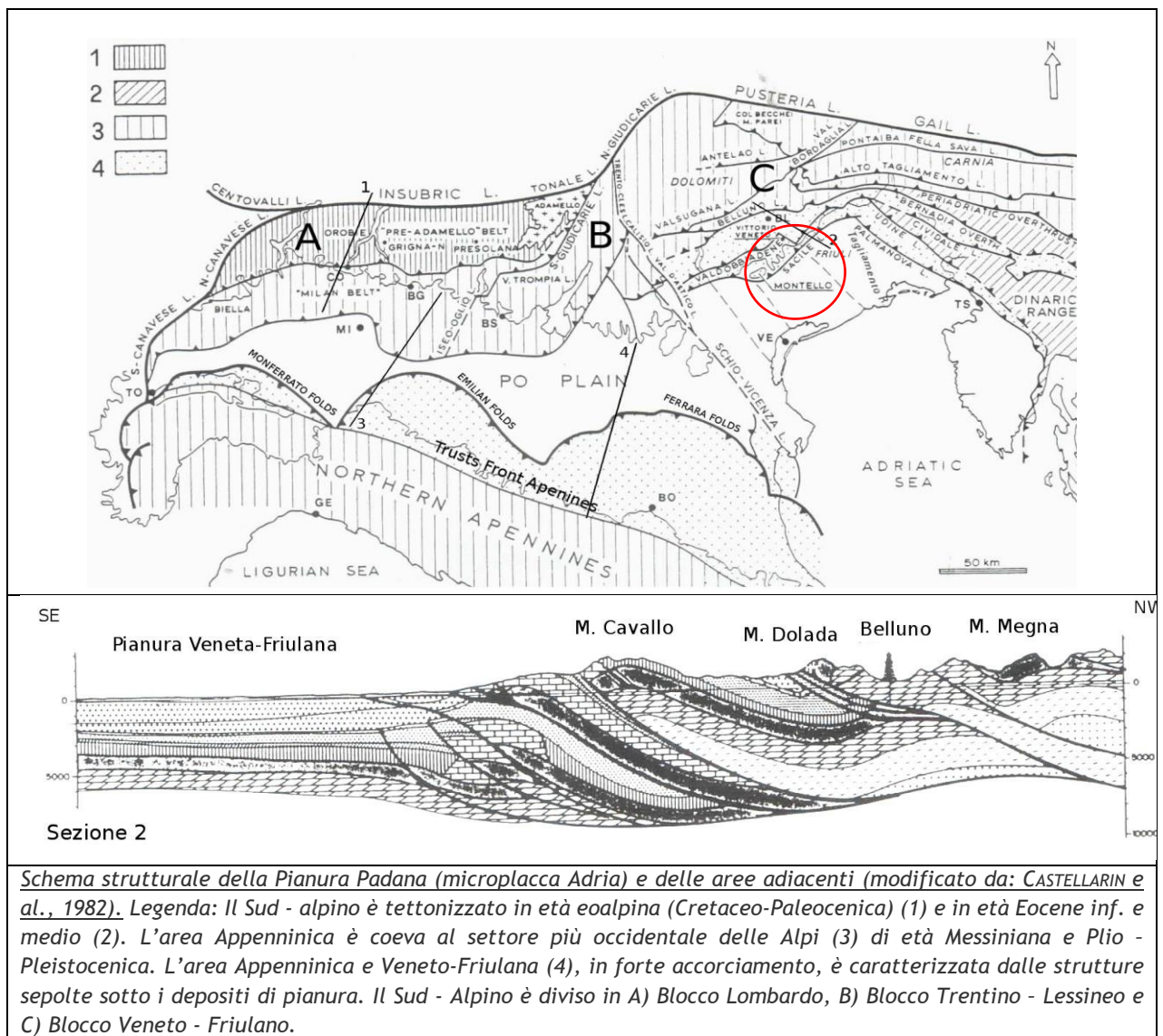
Dal punto di vista strutturale, il territorio di Susegana si colloca nell'Alta Pianura Veneta a ridosso della grande unità litologica delle Alpi meridionali. Quest'ultima è stata interessata dal *rifting* giurassico con l'individuazione di una piattaforma carbonatica bordata dal Bacino Carnico, Bacino Bellunese, Bacino di Tolmino e dal *plateau* Carnico - Giulio. La placca Adria, che tettonicamente rappresenta un promontorio della placca Africana (Channell, 1996) collocata lungo la Pianura Padana - Veneta e lungo il mare Adriatico, interagisce attivamente con la placca Europea determinando il corrugamento Alpino e Appenninico e, conseguentemente, lo *stress* tettonico attuale.



L'Adria è costituita da crosta continentale che, nella porzione più settentrionale, è rappresentata dal substrato della Pianura Padana interagente con il fronte della catena Appenninica a Sud e con il Sud-Alpino a Nord. La collisione continentale tra la parte più settentrionale della placca Adria e quella Europea ha portato alla formazione della catena Alpina. La conseguente subduzione verso Sud della placca Europea e il sovrascorrimento della placca Adria (subduzione continentale, Ballye al., 1985) ha provocato la formazione di strutture di *retro-trust*.

Un importante ruolo di svincolo cinematico della placca Adria settentrionale, viene svolto dalla Linea Schio - Vicenza (Babbucci e al., 2002): una faglia trascorrente sinistra (Plio - Quaternaria) che mette le Apli Meridionali a contatto con quelle Centro Occidentali.

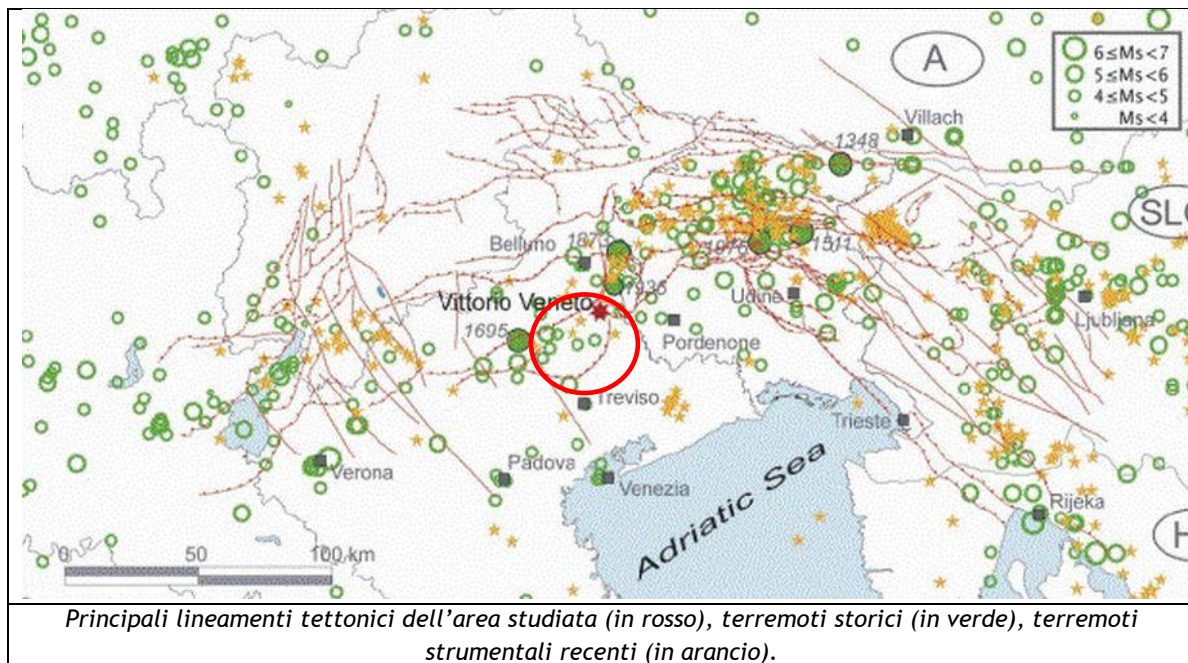
Il blocco Veneto - Friulano (figura seguente) è caratterizzato da strutture tettoniche con direzioni variabili (Dogliosi e al.,1987; Castellarin e al., 1992; Pontron e al., 2000). Nella zona friulana centrale si ha il massimo delle deformazioni e del raccorciamento per l'estrema embricazione Sud - vergente delle unità. L'assetto strutturale della Pianura Veneta, che rappresenta l'avampaese di due catene montuose perimetrali, è condizionato dall'interferenza tra le strutture del Sud Alpino a Nord ed il fronte della catena Dinnarica a Est (Merlini e al., 2002).



Dallo studio della distribuzione dei meccanismi focali si è ricavato l'assetto dell'ellissoide dello *stress* tettonico in termini di direzione di massima compressione e distensione, questo al fine di definire l'interazione tettonica attuale tra la placca Europea e quella Adria, responsabile degli ultimi terremoti emiliani (Balocchi, 2012; Balocchi e al., 2012).

Si può concludere che la placca Adria sia in netta compressione nel settore Sud - Alpino dove il sovrascorrimento di quest'ultima rispetto alla placca Europea genera dei *retro-stress* all'interno delle unità litologiche deposte sulla crosta continentale dell'Adria.

Il risultato finale è rappresentato da un'attività sismica nelle regioni delle Alpi Orientali (Slejko et al., 1989) considerata tra le più elevate del nostro paese. Cinque terremoti con magnitudo di superficie (MS) superiore a 6 sono, infatti, avvenuti nell'ultimo millennio: nel 1348 a Villaco con MS 6,4 (l'epicentro sembra localizzato nell'attuale zona di confine tra Italia e Austria), nel 1511 nella zona tra Gemona e Idria con MS 6,2, nel 1695 ad Asolo con MS 6,5, nel 1873 nell'Alpago con MS 6,3 e nel 1976 a Gemona con MS 6,5. Oltre a questi, nel 1936 un terremoto di magnitudo (MS) 6,1 ha provocato distruzioni nei paesi del Cansiglio. La figura seguente mostra le faglie principali rilevate nella regione e la distribuzione spaziale dei maggiori terremoti. Questi ultimi, nell'area indagata, risultano di numero molto inferiore rispetto a quelli avvenuti nel vicino Friuli: bisogna segnalare, però, che la sismicità friulana risente della coda del forte terremoto del 1976 e che le stazioni della rete sismometrica dell'Italia Nord - Orientale sono state ubicate, per un lungo periodo, esclusivamente sul territorio friulano.



Le principali strutture tettoniche nel Veneto Orientale sono rappresentate da sovrascorrimenti con orientazione Nord Est - Sud Ovest, tagliati, talvolta, da faglie trascorrenti.

Una prima interpretazione della sismicità in chiave sismogenetica è stata presentata da Slejko et al. (1989) nell'ambito di un modello sismotettonico che interessa il territorio italiano dal lago di Garda al confine con la Slovenia.

Nell'ambito di un progetto sviluppato negli anni Novanta, Meletti et al. (2000) hanno formulato un modello sismogenetico per l'Italia che consta di 80 zone sismogenetiche. Queste zone risultano omogenee sia dal punto di vista tettonico che da quello sismico. Studi successivi (Slejko e Rebez, 2002) hanno portato a complicare, a livello regionale, quel modello (zonazione FRI) o a semplificarlo (zonazione ZS9 - Meletti and Valensise, 2004) al fine di disporre di cataloghi sufficientemente ricchi di terremoti per tutte le zone sismogenetiche.

4.2 Caratterizzazione sismogenetica del Comune

Secondo il modello semplificato strutturale del Sud - Alpino Orientale, il Comune di Susegana si colloca nel sistema di sovrascorrimenti "Montebello - Conegliano".

L'area studiata è situata a cavallo del fronte pliocenico - quaternario della catena Sud - Alpina Orientale, in corrispondenza del passaggio fra i rilievi prealpini e l'Alta Pianura Veneto - Friulana. Secondo i cataloghi più recenti la sismicità massima dell'area raggiunge magnitudo comprese fra 6 e 7 ed è legata all'evoluzione del sistema di sovrascorrimenti Sud - vergenti che formano la porzione più esterna del fronte Sud - Alpino Orientale.

Il quadro sismo tettonico disponibile fino alla metà degli anni '90 era dominato da un rilevante cilindrisimo, con lunghi fronti di accavallamento attivi durante il Quaternario, senza evidenze di segmentazione (cfr. Castaldini e Panizza, 1991). Da Sud a Nord si riscontrava il sovrascorrimento di Sacile, di Aviano, del Bassano - Valdobbiadene e della linea di Belluno (sovrascorrimento periadriatico).

Verso la fine degli anni '90 sono riprese le ricerche sul fronte pliocenico - quaternario del Nord - Est Italia e sul suo potenziale sismogenetico. Una linea fondamentale di studio è rappresentata dalla reinterpretazione delle linee sismiche industriali realizzate nel settore di pianura compreso fra Conegliano e Cividale: sono stati ridefiniti l'architettura del fronte sepolto nella Pianura Friulana e Veneta Orientale, lo schema dei rapporti fra i sovrascorrimenti paleocenici dinarici Ovest Sud Ovest - vergenti e quelli neoalpini Sud Sud Est - vergenti e il quadro dell'evoluzione miocenica superiore - quaternaria dell'area.

Lo schema strutturale aggiornato del fronte pliocenico - quaternario (figura seguente) evidenzia la segmentazione del fronte stesso in un sistema di *thrust* arcuati, in massima parte ciechi e spesso caratterizzati da rampe oblique mediante le quali un *thrust* si accavalla lateralmente su un altro.

Analisi morfoneotettonica e neotettonica applicate a tali strutture hanno permesso, in vari casi, di datarne l'attività e di definirne la cinematica quaternaria.

4.3 Sismicità storica

Il Veneto è attualmente una regione silente dal punto di vista sismico. L'assenza di grossi eventi sismici recenti sorprende, ma non deve far pensare che il Veneto sia una regione tettonicamente inattiva. Evidenze di movimenti recenti (neotettonica) sono osservabili soprattutto nella fascia pedemontana (in particolare al confine tra le province di Belluno e Treviso) lungo la quale sono allineati i principali eventi storici.

La pericolosità sismica del Veneto è in parte legata all'attività dei distretti sismici del Friuli centrale e, in minor misura, dell'Alpago e del Garda. Allo stato attuale, il territorio regionale è interessato da una certa sismicità di magnitudo media, messa in luce negli ultimi decenni dal monitoraggio strumentale dell'attività sismica.

Tra i terremoti storici più rilevanti con epicentro in Veneto si possono ricordare quelli riportati nella tabella a fianco.

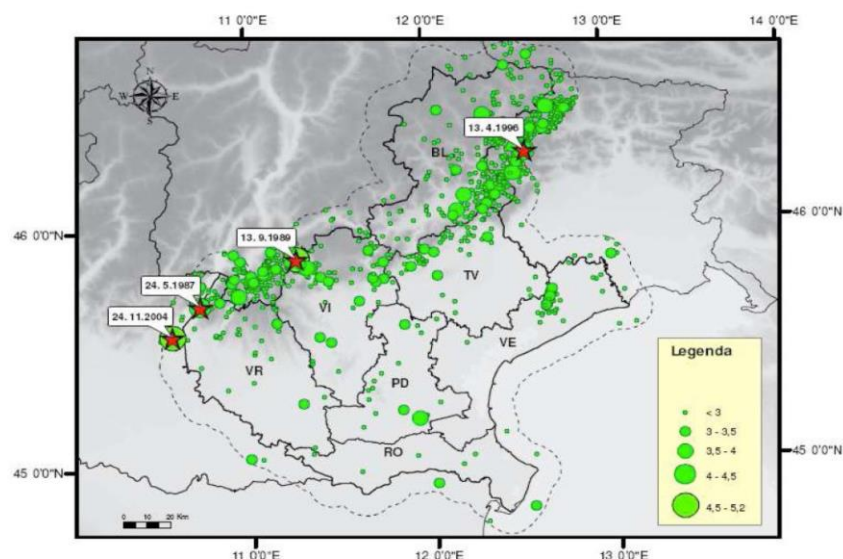
Nel periodo 1977-2006, la rete gestita dall'OGS (Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste) ha

Data	Area epicentrale	I MCS MAGNITUDO	Descrizione
03/01/1117	veronese	IX-X Mw=6.7	I danni maggiori si registrarono a Verona, ma interessarono anche la valle dell'Adige e, verso sud, il territorio fino ai primi rilievi emiliani.
04/11/1268	trevigiano	VII-VIII Mw=5.4	Colpita la provincia di Treviso. Danni gravi a Treviso, Feltre, Asolo. La scossa fu fortemente risentita a Padova.
25/02/1695	asolano	X Mw=6.5	Gravi danni in larga parte del Veneto in particolare nell'alto trevigiano, a sud del monte Grappa. Colpita la città di Asolo. Centinaia le vittime.
12/06/1836	Bassano	VIII Mw=5.5	Le località più danneggiate furono Liedolo, Fonte, Sant'Eulalia: complessivamente crollarono un centinaio di case. Sentita fortemente anche a Venezia.
11/08/1866	monte Baldo	VII Mw=4.9	Danni nelle località poste sulla riva orientale del Lago di Garda, in particolare ad Assenza, Cassone, Castelletto, Malcesine.
29/06/1873	bellunese	IX-X Mw=6.3	L'area più colpita dalla scossa fu il bellunese, ma gravi danni subirono gli edifici dei paesi compresi tra Belluno, Pordenone e Conegliano Veneto (TV). Il centro più danneggiato fu Belluno e si osservarono lesioni anche a Gorizia, Pordenone, Trieste, Udine, Verona e Vicenza. 80 le vittime.
29/04/1876	monte Baldo	VII Mw=4.9	La scossa provocò danni a Cassone, Malcesine, Ferrara di Monte Baldo.
18/09/1882	monte Baldo	VII Mw=5.0	Interessati i paesi della costa orientale del Lago di Garda, con danni lievi nei paesi di Cassone e Castelletto di Brenzone. Risentita a Verona.
07/06/1891	valle d'Illasi	VIII-IX Mw=5.9	I danni più gravi a Castelvero, Badia Calavena, Marzemigo. Una ventina i paesi danneggiati in modo significativo (superiore o pari al VII MCS). La scossa fu risentita fino a Trieste, Auronzo, Bormio, Chiavenna, Domodossola, Torino, Asti, Genova.
19/02/1932	monte Baldo	VII-VIII Mw=5.0	La scossa provocò danni a diverse località della sponda veronese del Lago di Garda, tra le quali Albasano, S. Zeno, Garda.
18/10/1936	Alpago-Cansiglio (BL-PN)	IX Mw=6.1	Colpita la zona di confine fra le attuali province di Belluno, Treviso e Pordenone con i massimi effetti a sud dell'altopiano del Cansiglio nei paesi di Fiaschetti, Stevenà e Villa di Villa. Gravissimi danni anche a nord del Cansiglio, nella conca d'Alpago in particolare nelle località di Puos d'Alpago, Cornei e Villa.

registrato in Veneto quasi 1200 eventi sismici con magnitudo compresa tra 2,0 e 3,0.

La maggior parte di questi eventi è localizzata lungo la fascia prealpina che unisce l'Alpago al monte Baldo. La profondità epicentrale più frequente è compresa tra i 7 e i 15 km di profondità. Solo l'11% degli eventi si colloca a profondità maggiore (fino a 22 km).

Nella figura seguente è riportata la distribuzione di tutti i terremoti registrati da OGS distinti per classi di magnitudo di durata MD1. Gli eventi con MD > 4, i cui epicentri ricadono nel territorio regionale o in prossimità di esso, sono identificati con una stella rossa.



Distribuzione di tutti i terremoti recenti registrati dalla rete sismometrica gestita da OGS in Veneto nel periodo 1977 – 2006 (Priolo, 2008)

I terremoti identificati con la stella rossa sono così sintetizzabili:

Data	Località	Magnitudo
24.05.1987	Garda	4.2
13.09.1989	Pasubio	4.8
13.04.1996	Claut M.	4.2
24.11.2004	Salò	5.2

La ricostruzione storica degli eventi sismici che hanno caratterizzato il territorio comunale di Susegana è stata fatta utilizzando il database macrosismico italiano DBMI15 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, 2015. DBMI15, la versione 2015 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>): rispetto al precedente DBMI11, raccomandato nelle linee guida della Regione Veneto per la realizzazione dello studio della compatibilità sismica, il DBMI15 ne rappresenta l'integrazione e l'aggiornamento, per cui è stato consultato per estrarre le seguenti informazioni.

Nello specifico, il comune di Susegana appare due volte nel Database sopra citato con intensità registrata superiore o uguale a 3. Nella tabella seguente sono stati elencati i vari eventi registrati, con indicati, oltre all'intensità in scala MCS al sito in esame (I), la data (anno, mese, giorno, ora,

minuto) in cui si è verificato l'evento Ax, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
NF	2001	07	17	15	06	1	Val Venosta	657	5-6 4.78
NF	2004	07	12	13	04	0	Slovenia nord-occidentale	353	5.12

Storia sismica di Susegana

Si riporta per conoscenza anche la storia sismica di Conegliano data la vicinanza tra i due comuni.

Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
6	1695	02	25	05	30		Asolano	107	10 6.40
6-7	1812	10	25	07			Pordenonese	34	7-8 5.62
5	1859	01	20	07	55		Prealpi Trevigiane	36	6 4.80
7	1873	06	29	03	58		Alpago Cansiglio	197	9-10 6.29
3	1879	06	22	04	15		Friuli	16	5-6 4.74
6	1885	12	29				Alpago Cansiglio	47	6 4.96
F	1890	03	26	20	10		Bellunese	48	6 4.82
5	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9 5.87
3	1892	08	09	07	58		Valle d'Alpone	160	6-7 4.91
4	1893	10	27	16	31		Bellunese	54	5 4.42
F	1894	02	09	12	48	0	Valle d'Illasi	116	6 4.74
4	1900	03	04	16	55		Asolano	98	6-7 5.05
3	1904	03	10	04	23	0	Slovenia nord-occidentale	57	
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7 5.36
5	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7 5.63
2	1916	05	17	12	50		Riminese	132	8 5.82
4	1916	08	16	07	06	1	Riminese	257	8 5.82
4	1924	12	12	03	29		Carnia	78	7 5.42
5	1926	01	01	18	04	0	Carniola interna	63	7-8 5.72
3-4	1930	05	14	00	01		Cadore	15	5-6 4.89
3	1930	10	30	07	13		Senigallia	268	8 5.83
2-3	1931	12	25	11	41		Friuli	45	7 5.25
4	1934	05	04	13	56		Carnia	80	6 4.69
7	1936	10	18	03	10		Alpago Cansiglio	269	9 6.06
2	1938	07	07	07	48		Pordenonese	7	5 4.97
3	1952	01	18	01	36		Pordenonese	108	5 4.44
NF	1955	07	23	03	54	3	Prealpi Friulane	47	5 4.49
4-5	1966	01	23	01	31	2	Alpago Cansiglio	7	4-5 4.02
6	1976	05	06	20	00	1	Friuli	770	9-10 6.45
NF	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7 5.04
3	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6 4.71
3-4	2004	07	12	13	04	0	Slovenia nord-occidentale	353	5.12

Storia sismica di Conegliano

4.4 Faglie capaci e sorgenti sismogenetiche

Per quanto riguarda il tema delle faglie capaci (faglie che si sono rotte almeno una volta negli ultimi 40.000 anni, raggiungendo la superficie e producendo una rottura del terreno) e l'inquadramento delle sorgenti sismogenetiche più prossime all'area di Susegana, si è fatto riferimento agli studi condotti dagli esperti scientifici e riportate nei cataloghi ITHACA e DISS 3.2.0.

Le sorgenti sismogenetiche rappresentano le zone che sono state riconosciute come origine dei terremoti grazie allo studio della sismicità storica e delle indagini geologiche.

ITHACA è un database creato per la raccolta e la consultazione di tutte le informazioni disponibili sulle strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali.

Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie: **dalla sua consultazione è stato possibile escludere la presenza di faglie attive e capaci, nell'area di studio.** Si ritiene rilevante segnalare la presenza della Linea del Montello (immagini estratte dal sito dell'ISPRA) a circa 1 Km in direzione sudest.

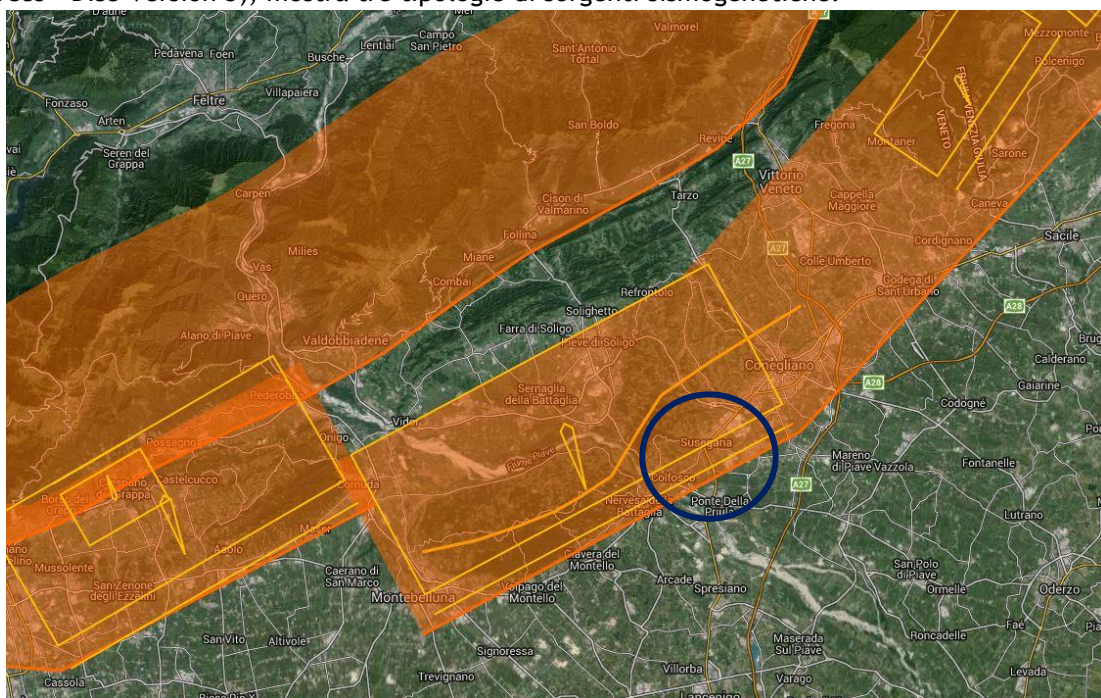


Nelle tabelle sottostanti, sono riportate le informazioni desunte dalle schede specifiche ITHACA per tali lineamenti.

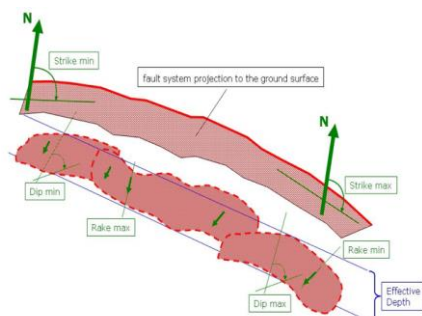
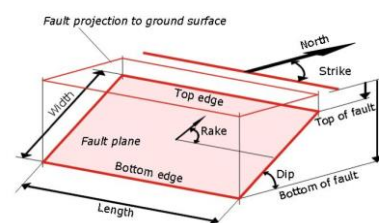
Nome faglia	Montello Line
Tipo Faglia	Faglia inversa ad alto angolo
Codice faglia	70300
Macrozona	2
Regione	Veneto
Sistema	Montello Line
Ordine	Primaria
Direzione media	240

Immersione	0
Lunghezza (km)	80
Profondità (km)	0
Ultima attività (anni)	Olocene (<10,000)
Affidabilità dato sull'attività	Media
Intervallo ricorrente (anni)	750
Velocità di slittamento (mm/anno)	1.9
Massima lunghezza attesa di rottura	1000
Massimo scivolamento atteso (m)	2000000
Massima magnitudine attesa (MW)	6
Qualità dello studio	Fair

La mappa dell'INGV riportata di seguito, denominata DISS 3.2.0 (Database of Individual Seismogenic Sources - DISS Version 3), mostra tre tipologie di sorgenti sismogenetiche.



Sorgenti individuali (IS): per le quali viene proposta una rappresentazione tridimensionale semplificata del piano di faglia. Questo tipo di sorgente esibisce caratteristiche definite di estensione, movimento e massima magnitudine attesa.



Sorgenti composite (CS): sono regioni estese contenenti un numero non specificato di sorgenti minori allineate che non è ancora conosciuto singolarmente. Le sorgenti composite non sono associate a uno specifico gruppo di terremoti storici.

Sorgenti dibattute (DS): sono zone proposte in letteratura come potenziali sorgenti, ma considerate ancora non sufficientemente attendibili per entrare nel database.

La mappa del DISS pone il territorio di Susegana all'interno della regione a Sorgenti composite (CS) ITCS 060 "Montebelluna - Montereale" e nella zona a Sorgenti individuali (IS) ITIS 101 "Montello". Riguardo la prima, è un'area estesa contenente un numero non specificato di sorgenti minori allineate, che non sono ancora conosciute singolarmente e non sono associate a uno specifico gruppo di terremoti storici.

Questa zona passa lungo la fascia pedemontana veneto-friulana, a metà strada tra le città di Belluno e Pordenone e appartiene al sistema di thrust della catena sud-alpina orientale; si tratta di un sistema di faglie vergente verso sud-est, associato alla convergenza tra il continente africano (microplacca Adria) e quello europeo. I cataloghi storici mostrano una sismicità media associata a questa zona con eventi distruttivi concentrati nel settore orientale della faglia; tra questi si ricordano il terremoto di Pordenone del 1812 (Mw 5,7), quello dell'area Bellunese del 1873 (Mw 6,3) e quello del Bosco del Cansiglio del 1936 (Mw 6,1).

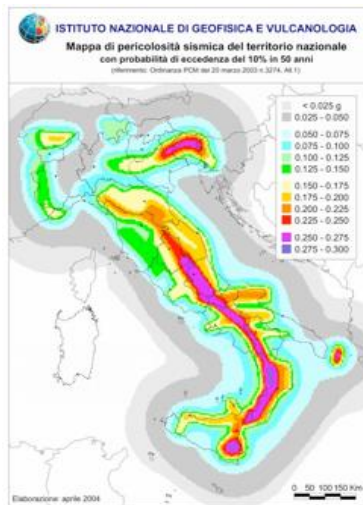
Minima profondità (km)	1
Massima profondità (km)	9
Direzione (°)	210 - 245
Inclinazione (°)	30 - 50
Rake (°)	60 -100
Velocità di movimento (mm/anno)	0,24 – 0.91
Magnitudo massima	6.5

Relativamente alla sorgente ITIS 101, esibisce caratteristiche definite di estensione, movimento e massima magnitudo attesa e per essa viene proposta una rappresentazione tridimensionale semplificata del piano di faglia.

Questa sorgente è rappresentativa del thrust Montello-Conegliano, la più rilevante struttura nella parte orientale della catena Sudalpina che dà origine all'anticlinale del Montello. Sono stati eseguiti molti studi per spiegare la sua geometria ed evoluzione e dati geologici e strutturali mostrano che tale faglia termina ad est dove è sovrastata dal thrust di Cansiglio. Inoltre, la presenza di terrazzi fluviali del Pleistocene Medio e Superiore fortemente deformati nella sezione orientale, suggerisce che l'anticlinale del Montello è guidata dal suddetto thrust ed ancora attiva.

Minima profondità (km)	1
Massima profondità (km)	8.2
Direzione (°)	242
Inclinazione (°)	40
Rake (°)	80
Velocità di movimento (mm/anno)	0,47 – 1.56
Magnitudo massima	6.5

4.5 Zonazione sismica nazionale



In seguito all’emanazione dell’O.P.C.M. 20/03/2003, n° 3274, in cui si manifestava l’esigenza di una mappa di pericolosità sismica di riferimento per l’individuazione delle zone sismiche sul territorio nazionale, è stato redatto a cura dell’INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) un documento denominato “Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’O.P.C.M. 20/03/2003, n° 3274. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile” (INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici), che rappresenta il punto di riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica su tutto il territorio nazionale (figura seguente).

All’interno della ricerca eseguita per tale redazione, è stata elaborata una nuova zonazione sismogenetica, denominata ZS9 che divide tutto il territorio italiano in 36 zone.

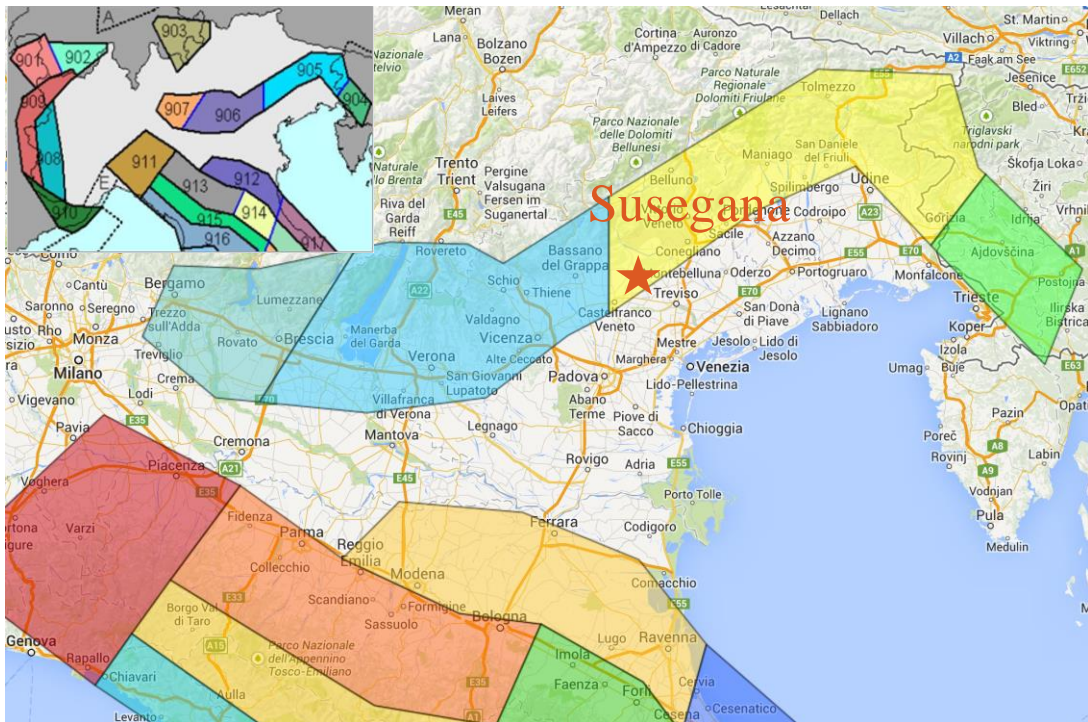
Tale zonazione è stata condotta tramite l’analisi cinematica degli elementi geologici (cenozoici e quaternari) coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale; essa, pur basandosi ampiamente sull’impianto generale e sul background informativo della precedente zonazione ZS4 (Scandone e Stucchi, 1996), rappresenta un suo sostanziale ripensamento, alla luce delle evidenze di tettonica attiva, delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite nei primi anni del decennio (con i fondamentali contributi del Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), che, combinando dati geologici, storici e strumentali, censisce le sorgenti in grado di produrre terremoti di magnitudo 5.5 e superiore) e del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (all’epoca della redazione della mappa CPTI2, ora arrivato alla versione CPTI11). Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la Carta delle Zone Sismogenetiche del territorio nazionale.

Ogni zonizzazione sismogenetica è caratterizzata da un definito modello cinematico il quale sfrutta una serie di relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche effettuate sia sul territorio nazionale che europeo.

Secondo la zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), nel Veneto ricadono le Zone Sismogenetiche n° 905 “Friuli-Veneto orientale” e n° 906 “Garda-veronese”, che interessano rispettivamente la fascia pedemontana tra Bassano del Grappa e il confine con il Friuli Venezia Giulia e la fascia pedemontana che da Bassano prosegue fino al lago di Garda. Il meccanismo di fagliazione responsabile dei terremoti che si sono verificati in entrambe le zone è di tipo faglia inversa, con una profondità ipocentrale media stimata di 8 km. Entrambe le zone sono legate all’interazione Adria-Europa ma presentano una sismicità differente.



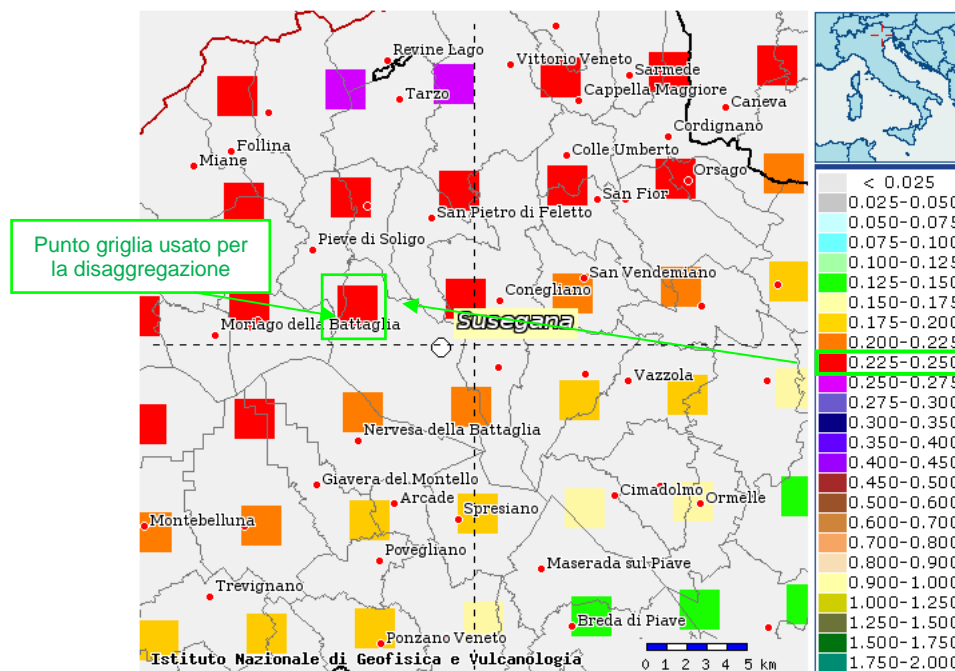
Il comune di Susegana si posiziona, per buona parte, all’interno della zona sismogenetica n. 905 della figura seguente, per cui si sviluppa all’interno dell’area di massima convergenza tra la placca adriatica ed europea caratterizzata da faglie trascorrenti destre con direzione nord-ovest - sud-est (trend dinarico) (es., Bernardis et al., 2000; Baic et al., 2001; Vrabec, 2001).



Localizzazione della Zona sismogenetica 905 in giallo.

4.6 Pericolosità sismica di riferimento

La distribuzione e la caratterizzazione delle zone sismogenetiche finora riconosciute e descritte in precedenza è stata tradotta in una Carta di Pericolosità Sismica, valida su tutto il territorio nazionale ed entrata in vigore con l'O.P.C.M. n° 3519 del 28/04/2006. Nella carta, della quale la figura seguente rappresenta l'estratto per il comune di Susegana, sono riportati i valori di accelerazione orizzontale massima al suolo ag con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi subpianeggianti di Categoria A.



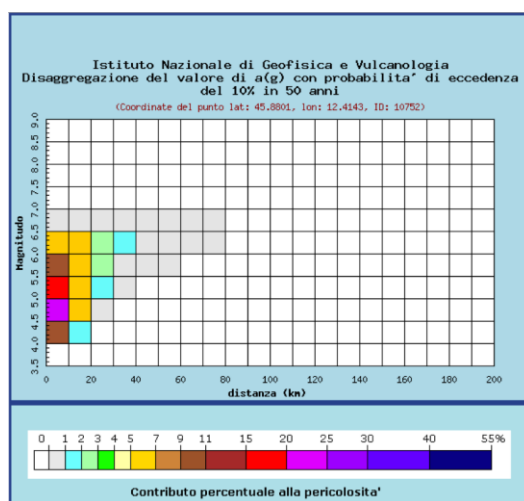
Pertanto, secondo l'O.P.C.M. n° 3519 del 28/04/2006, la cui applicazione è stata definita dalla Regione Veneto con D.G.R.V. n° 71 del 22/01/2008 e considerata nell'emanazione del D.M. 14/01/2008, la maggior parte del territorio di Susegana è inseribile nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s compreso tra 0,225g e 0,250 (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni - mappa 50° percentile), ovvero in Zona 2, come classifica la tabella riportata sotto, estratta dall'O.P.C.M. n° 3519 stessa.

a) Ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s, secondo lo schema seguente:

zona	accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni $[a_g]$	accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico $[a_g]$
1	$0,25 < a_g \leq 0,35 g$	0,35 g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25 g$	0,25 g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15 g$	0,15 g
4	$\leq 0,05 g$	0,05 g

Infine, si riporta il calcolo della disaggregazione della pericolosità: questa ha lo scopo di individuare il maggior contributo alla pericolosità del sito in termini di magnitudo-distanza di un evento. I grafici riportati sotto sono stati desunti dalle Mappe Interattive di Pericolosità Sismica dell'INGV e sono relativi al punto della griglia definito nella figura precedente (Carta di Pericolosità Sismica dell'INGV).

Dalla ricostruzione dell'INGV riportata di seguito, considerando un tempo di ritorno $T_r = 475$ anni e una Categoria A di sottosuolo in condizioni sub-pianeggianti, si evidenzia che il maggior contributo alla pericolosità sismica locale è dato da eventi di entità Mw compresa tra 4,0 e 6,5 e relativamente vicini (R = entro 10-30 km).



Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.8801, lon: 12.4143, ID: 10752)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	10.400	22.700	16.200	9.820	5.160	0.646	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	1.240	5.010	6.710	6.780	5.480	0.877	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.212	1.200	2.160	2.590	0.514	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.078	0.587	1.070	0.252	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047	0.205	0.057	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.044	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Si fa comunque presente che, come tutte le zone sismogenetiche del territorio italiano, anche quella contrassegnata dal n° 905 e precedentemente descritta viene considerata omogenea ai fini della

probabilità di accadimento degli eventi sismici, ovvero si ritiene che tutti i punti in essa contenuti abbiano la stessa probabilità di essere sede di eventi sismici.

Secondo il paragrafo 2.8 degli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”, la magnitudo massima attesa nella Zona n° 905 vale $M_{wmax} = 6,60$.

Secondo il paragrafo 2.8 degli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, per alcune tipologie di verifiche si potrebbe assumere come valore di magnitudo attesa quella massima della zona sismogenetica di appartenenza, che per la zona n° 905 in cui il territorio di Susegana risulta prossimo vale $M_{wmax} = 6,60$.

Tabella 2.8-1 – Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)

Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio – Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

5 - Microzonazione sismica: principi fondamentali e finalità

5.1 Introduzione

I recenti terremoti che hanno interessato il nostro paese hanno ampiamente dimostrato che la variabilità spaziale del danno rilevato trova molto spesso la sua causa principale nei cosiddetti effetti locali o effetti di sito, ossia nelle differenti risposte del sito alle azioni sismiche, a causa delle diverse condizioni geologiche, geomorfologiche e geotecniche.

Una efficace cultura di difesa dai terremoti non può che presupporre una valutazione della pericolosità locale a scala urbana, più ampia di quella della singola costruzione, e deve potersi basare su un'operazione tecnico-scientifica che sia autorizzata a rientrare a pieno titolo nelle valutazioni urbanistiche di riduzione del rischio e nelle politiche di pianificazione del territorio.

Tale operazione è, appunto, la Microzonazione Sismica: la MS è l'operazione di suddivisione di un dato territorio in zone omogenee sotto il profilo della risposta a un terremoto di riferimento, valutata tenendo conto delle interazioni tra le onde sismiche e le condizioni proprie di ogni zona individuata (pericolosità sismica locale).

5.2 La natura del problema

Durante lo scuotimento sismico e immediatamente dopo il terremoto, si verificano degli effetti molto appariscenti e, spesso, più devastanti dell'onda sismica, che sono tra le cause più importanti di vittime e danni: questi sono gli effetti di sito, che sono ormai ben conosciuti e possono amplificare notevolmente le sollecitazioni nelle strutture (di entità tale da portarle fino al collasso) o essere rappresentati da rotture del terreno, movimenti franosi, elevati cedimenti nei terreni soffici,



liquefazione dei terreni incoerenti saturi. Le figure sottostanti sono un esempio di tali effetti.

Le osservazioni condotte nei secoli hanno dimostrato come possono verificarsi situazioni completamente differenti all'interno dello stesso territorio, anche a breve distanza; fin dagli anni settanta, le ricerche scientifiche hanno evidenziato che la causa maggiore di variabilità spaziale del moto sismico sono i fenomeni legati alla propagazione delle onde S nei depositi di terreno, lungo la direzione verticale.

Da tali osservazioni è nata la necessità di iniziare degli studi per ipotizzare il comportamento del territorio in caso di terremoto e, di conseguenza, per valutare la pericolosità sismica locale e realizzare la MS, precedentemente definita.



La MS può assumere forme molto diverse a seconda delle condizioni territoriali in cui si realizza ed è difficile da standardizzare anche se, grazie ad alcune procedure ormai consolidate, è possibile sintetizzare lo studio di MS in una cartografia del territorio nella quale sono indicate:

- le zone in cui il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante (Categoria A di sottosuolo secondo Eurocodice 8) e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono equiparati a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- le zone in cui il moto sismico viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio;
- le zone in cui sono presenti o suscettibili di attivazione fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazione, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali, ecc.).

In sostanza, dal punto di vista della pericolosità, la MS distingue le seguenti aree:

- aree sismicamente stabili, dove possono verificarsi o meno effetti di sito (stratigrafici, di valle, topografici, ecc.);
- aree sismicamente instabili, dove possono verificarsi anche fenomeni di instabilità quali movimenti franosi, crolli di roccia, liquefazione, densificazione, subsidenza, spostamenti di faglia, crolli legati a cavità, ecc.

5.3 Finalità e livelli di approfondimento

La MS ha lo scopo di riconoscere a una scala sufficientemente grande (comunale o subcomunale) 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 colloca a un livello intermedio tra la classificazione sismica a scala nazionale, che fa riferimento a un terreno ideale rigido e pianeggiante per il quale fornisce dei parametri indicativi della pericolosità di base, e la progettazione antisismica, che opera invece a scala di singolo manufatto. L'obiettivo principale è quello di distinguere le zone il cui comportamento può essere instabile (aree critiche) dalle zone dove possono aversi o meno fenomeni di amplificazione del moto sismico (aree stabili suscettibili o non suscettibili), mentre il secondo obiettivo è quello di valutarne la risposta.

Le principali linee guida internazionali, tra cui gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile (2008) e le Linee Guida Regionali, prevedono tre Livelli di approfondimento.

In sintesi:

- il Livello 1, propedeutico ai veri e propri studi di MS, si basa prevalentemente sulla raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee in prospettiva sismica;
- il Livello 2 associa alle zone omogenee dei parametri quantitativi di interesse ingegneristico-strutturale, utilizzando allo scopo ulteriori e mirate indagini, ove necessarie, e definisce la Carta di Microzonazione Sismica;
- il Livello 3 quantifica numericamente l'amplificazione del moto sismico atteso in superficie tramite un'analisi monodimensionale o bidimensionale, a seconda delle condizioni geologiche/topografiche presenti nel sito d'indagine, e restituisce una Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

Va sottolineato che l'adozione di tre livelli consente una grande flessibilità nelle applicazioni, in quanto permette di adeguare il livello di approfondimento alle risorse e ai tempi disponibili, nonché al tipo di utilizzo. Si ritiene che, soprattutto nei piccoli centri abitati o nelle fasi preliminari di stesura dei piani urbanistici, anche il Livello 1 si possa rivelare di grande efficacia ai fini della prevenzione sismica.

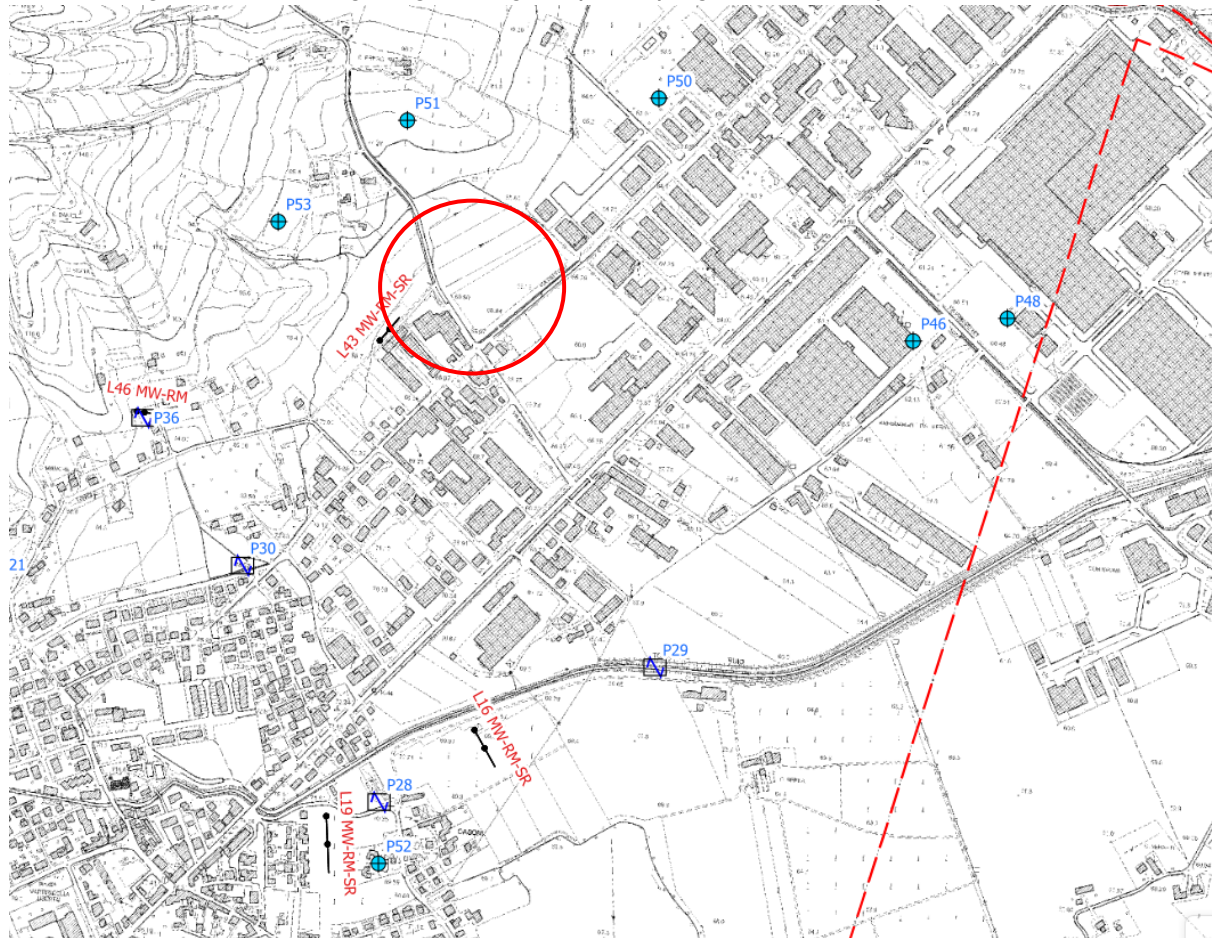
Nel caso in esame, è possibile affermare che lo studio di MS eseguito soddisfa il Livello 3 come previsto nella D.G.R. 1572 del 3 settembre 2013 e dalle Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica, nell'ambito del P.U.A. in Via Conegliano nel comune di Susegana.

Sono state condotte alcune misure sperimentali di tipo geologico-tecnico per la ricostruzione stratigrafica e sismico per quantificare il grado di rigidità del sottosuolo e le frequenze di risonanza del sito al fine di ottenere il fattore di amplificazione tramite una modellazione numerica avanzata di riposta sismica locale (RSL).

6 - Dati geotecnici e geofisici da indagini pregresse e di nuova realizzazione

6.1 Indagini pregresse e di nuova realizzazione

Le ricerche finalizzate alla raccolta di indagini pregresse sono state condotte attraverso la consultazione del catalogo ISPRA, del P.A.T. comunale, della Microzonazione Sismica di Livello 1 e di alcune indagini di carattere geologico eseguite per la progettazione di opere civili.

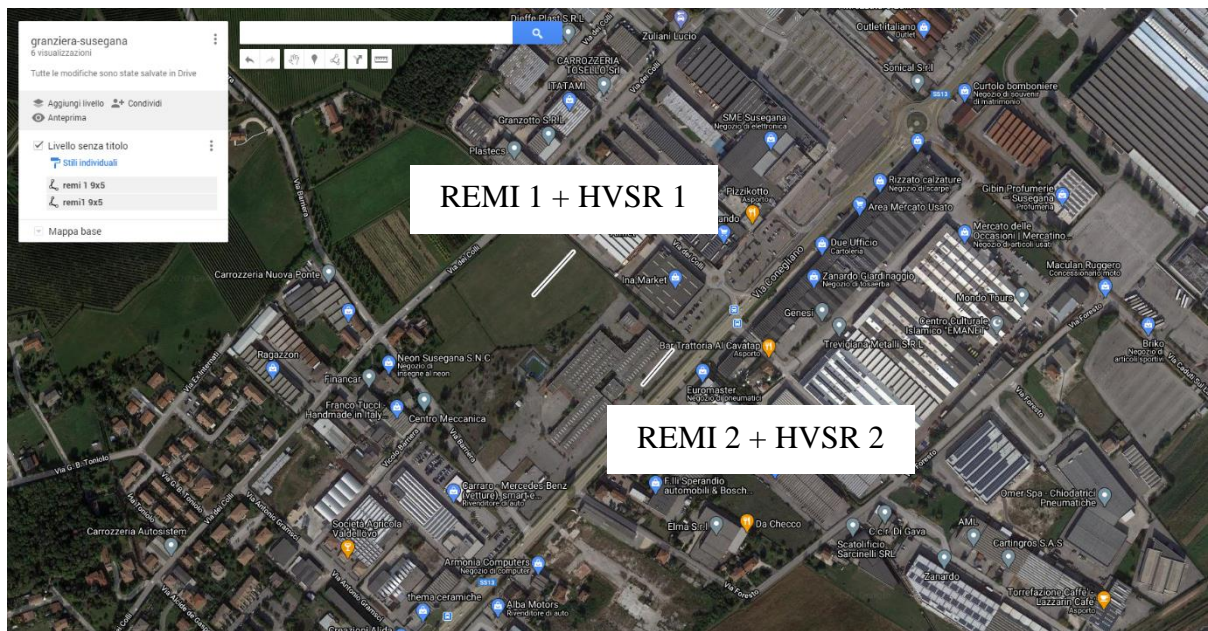
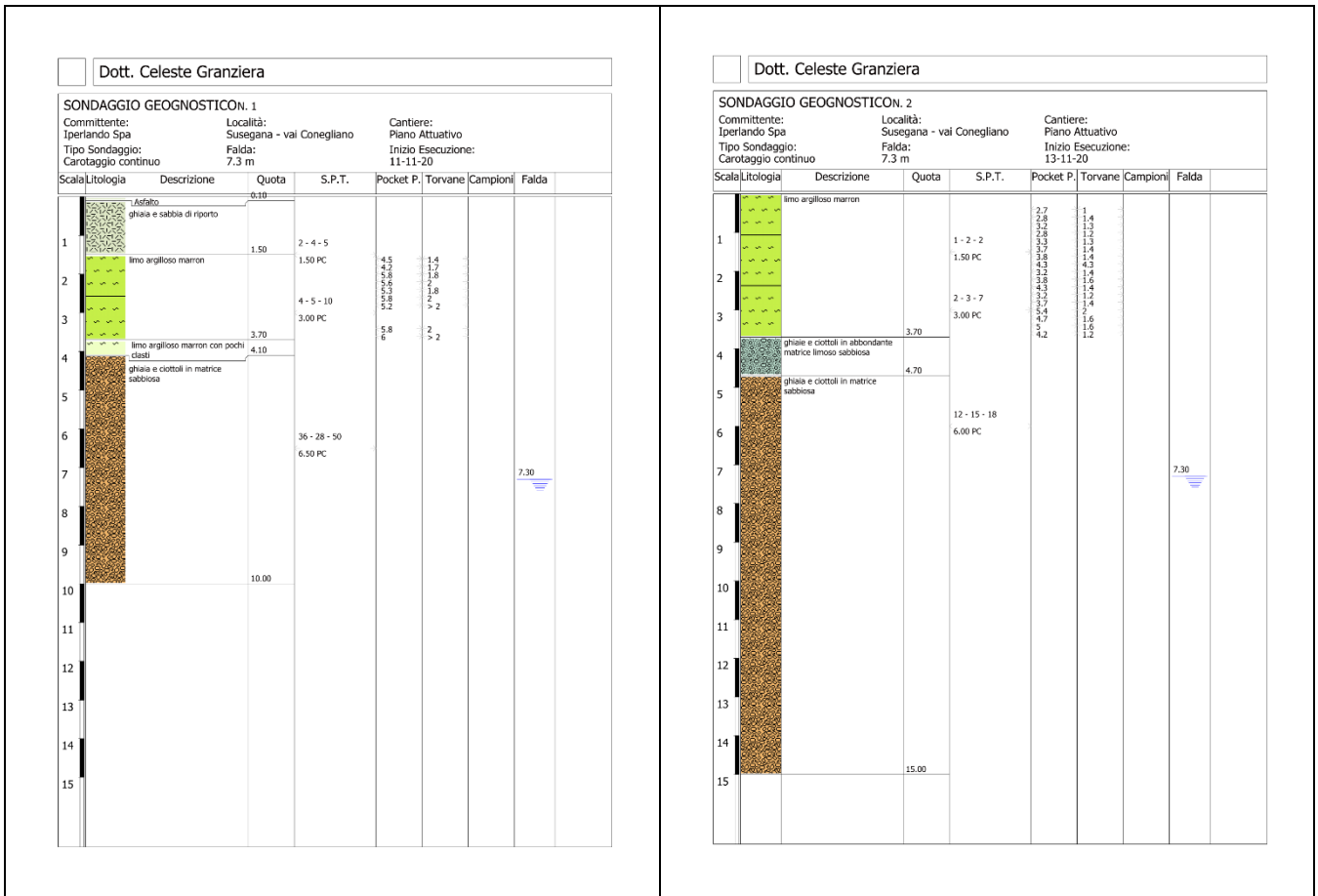


L'estratto della "Carta delle indagini" redatta a supporto dello studio di Microzonazione Sismica Livello 1, mostra che nell'area di studio sono presenti alcune indagini pregresse significative per il presente lavoro, che è stato possibile consultare.

Tuttavia, al fine di caratterizzare dal punto di vista sismico i terreni dell'area indagata, sono state condotte alcune misure geofisiche in prossimità dei punti ritenuti più significativi. In particolare, sono state effettuate:

- n.2 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) per individuare le frequenze di risonanza dei depositi (stelle nelle foto sotto riportate);
- n.2 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor) sviluppate in un array lineari con geofoni ad asse verticale per la ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo tramite la misura della velocità di propagazione delle onde S (linee nelle foto sotto riportate);

- n°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino ad una profondità massima di 15 m dal p.c. locale per la ricostruzione stratigrafica del sito.



6.2 Metodologia di elaborazione e risultati delle nuove indagini

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

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

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito, che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nel costruire edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di doppia risonanza, estremamente pericoloso per la stabilità degli stessi;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito, sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito (free field) e capire se, in caso di sisma, la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità media delle onde di taglio V_s calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. Sarà quindi possibile calcolare la $V_{s,30}$ e la relativa Categoria di sottosuolo come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14/01/2008;
- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0,5 m e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 m. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostante per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e la densità del mezzo stesso.

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

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

Possiamo scrivere questo come:

segnale registrazione al sito x = sorgente * effetti di percorso * funzione trasferimento strumento

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi, poiché il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono

dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che, se da un lato l'informazione riguardante la sorgente è persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni concernenti il percorso del segnale e, in particolare, relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però sepolta all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o semplicemente H.V.S.R., che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali del sottosuolo, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

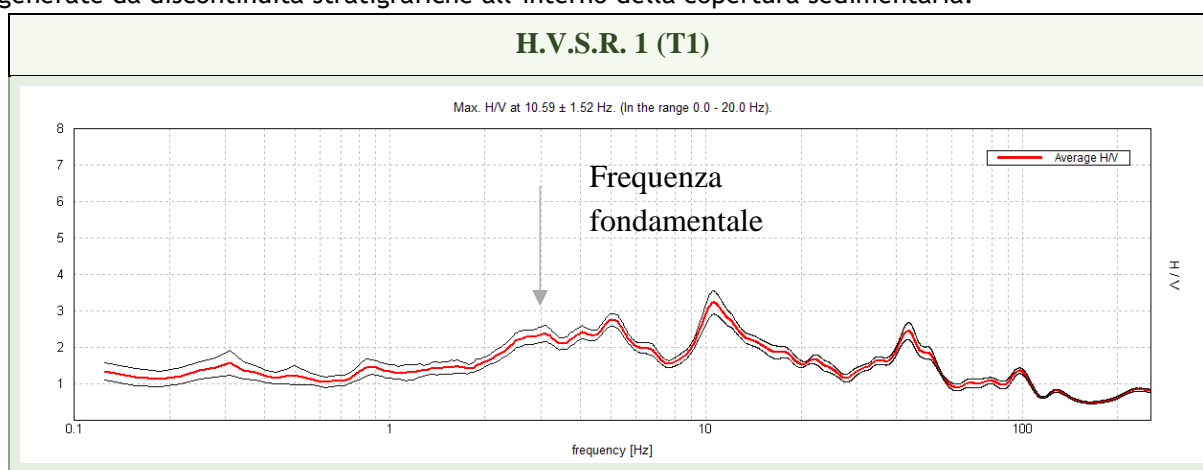
Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta MoHo Srl modello Tromino® ENGY-Plus che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0,1 Hz e 256 Hz.

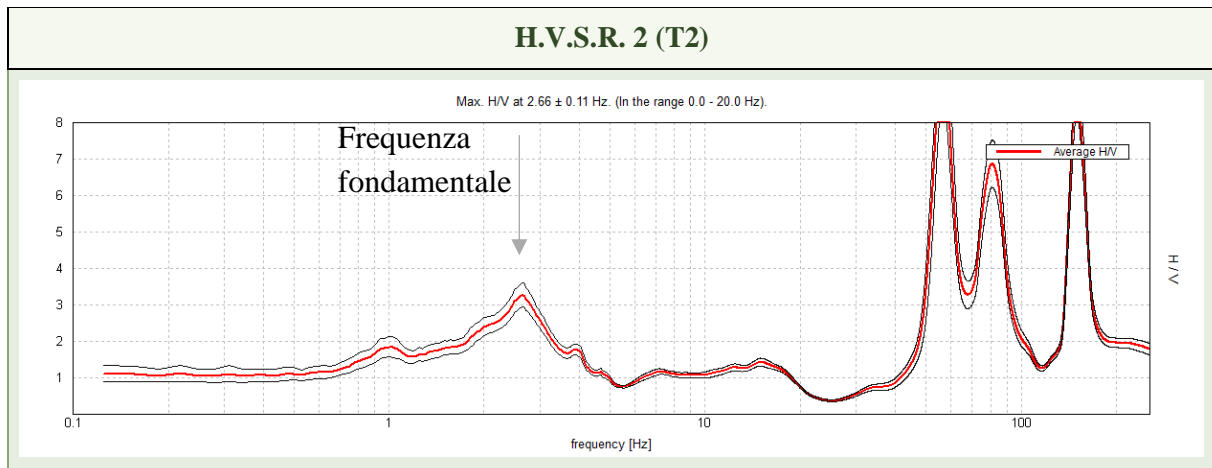
Sintesi dei risultati

Le frequenze fondamentali di risonanza del terreno fanno parte degli effetti di sito che, assieme all'instabilità per azione sismica, caratterizzano la vulnerabilità del territorio quale elemento indispensabile per la stima del rischio sismico.

In linea di principio, visto che il suolo è assimilabile ad un corpo viscoelastico, è possibile misurarne le frequenze proprie di oscillazione in ogni punto: infatti, le frequenze sono determinate dalle proprietà meccaniche e, in maniera secondaria, dalla morfologia attorno al punto di misura.

In particolare, le misure condotte hanno evidenziato la presenza di una frequenza fondamentale (risonanza a più alto periodo) generata da un contrasto di rigidità tale da poter generare, in occasione di eventi sismici di magnitudo rilevante, marcate amplificazioni del moto sismico ad una frequenza compresa tra circa 2,6 Hz e 3,0 Hz. Inoltre, alle frequenze più elevate sono presenti altre risonanze generate da discontinuità stratigrafiche all'interno della copertura sedimentaria.





6.2.2. - Indagini sismica passiva in array (Re.Mi.)

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità, ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste lunghezze d'onda interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche che sono variabili, appunto, con la profondità. Questo comportamento viene definito dispersione in frequenza ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie.

Ovviamente, le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario, le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico-matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati con caratteristiche elastiche lineari.

La procedura Re.Mi. è un metodo di prospezione sismica sviluppato presso l'Università di Reno in Nevada (Louie, 2001) e viene classificata come metodo passivo in quanto utilizza il rumore ambientale. I vantaggi derivanti da questo metodo sono molteplici poiché è veloce e semplice da usare in fase di acquisizione, raggiunge una buona profondità e risoluzione d'indagine ma, soprattutto, permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati. La fase di acquisizione deve essere effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni da adottare in sito e nella pianificazione della registrazione. Tutto è finalizzato alla registrazione di dati contenenti la miglior informazione possibile riguardo alla propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale-rumore. Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, rappresenta nel caso Re.Mi. la fonte del segnale utile che si vuole registrare. I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh dai modi superiori e dall'aliasing spaziale: risulta quindi necessario soddisfare la condizione di omnidirezionalità delle sorgenti, cioè si suppone che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni.

I tempi di registrazione dei microtremori sono decisamente più elevati rispetto alle indagini di tipo attivo. La registrazione viene analizzata in finestre temporali che variano dai 10 ai 30 secondi. Sono da considerare la lunghezza dello stendimento L e la distanza intergeofonica Δx , che agisce sul segnale come una specie di filtro in frequenza; supponendo, infatti, che il segnale arrivi da tutte le direzioni, maggiore è la spaziatura, minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa: se la frequenza è più bassa, aumenta la profondità d'indagine.

La fase più delicata è quella del data processing, che consiste nel trattamento dei dati acquisiti con l'obiettivo di stimare la velocità di fase delle onde di Rayleigh (V_r), che sono correlabili con le velocità V_s di propagazione delle onde S ($V_s \approx 1,1 V_r$). Le varie tecniche di processing trasformano l'informazione registrata nel dominio x-t (spazio tempo), in un dominio dove l'energia associata all'evento è funzione della frequenza e di altre variabili. Tutto questo allo scopo di localizzare attraverso lo spettro la densità di energia maggiore, alla quale sono di solito associate le onde di Rayleigh. Con procedura manuale vengono selezionati dei punti sullo spettro, che andranno a formare la curva di dispersione sperimentale.

La scelta di questi valori, denominata picking, è condizionata da alcune indicazioni ma è imprescindibile dall'abilità e dall'esperienza dell'interprete anche in base ad altre conoscenze in merito al sito in esame. Per ottenere un elevato dettaglio del segnale, il sampling rate utilizzato è stato di 512 Hz. La durata (lunghezza temporale) del segnale registrato per ogni misura è stato di circa 6 minuti. Il software utilizzato per l'analisi spettrale è Grilla v.6.4 - 2013.

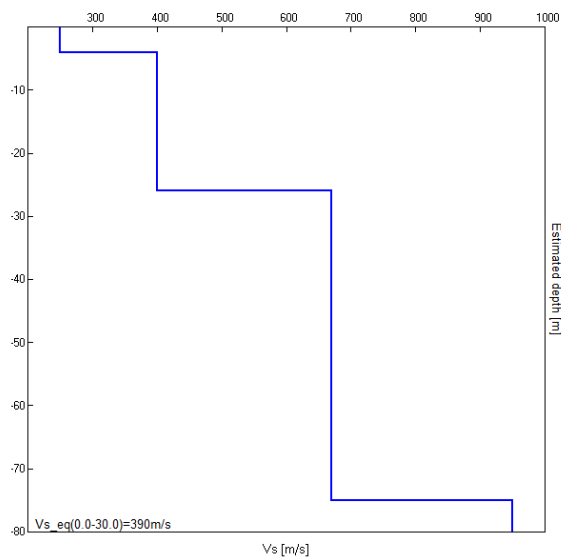
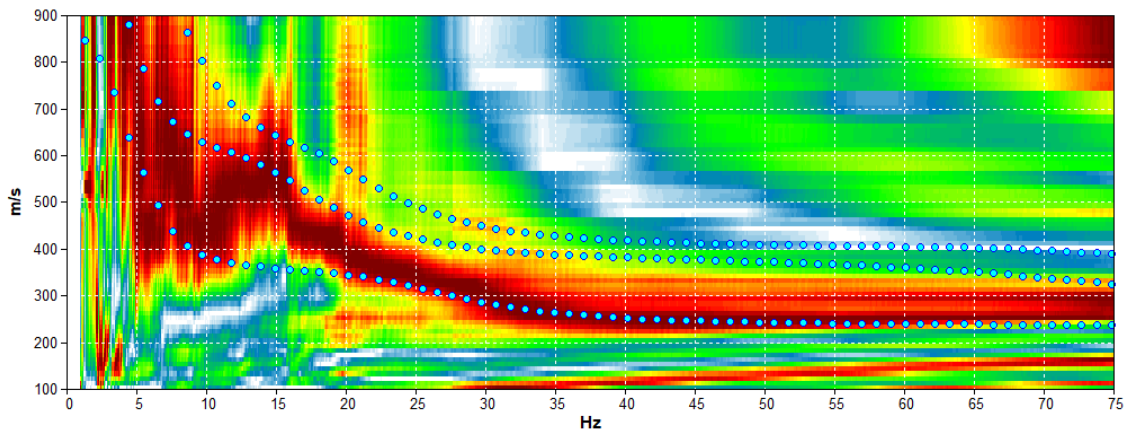
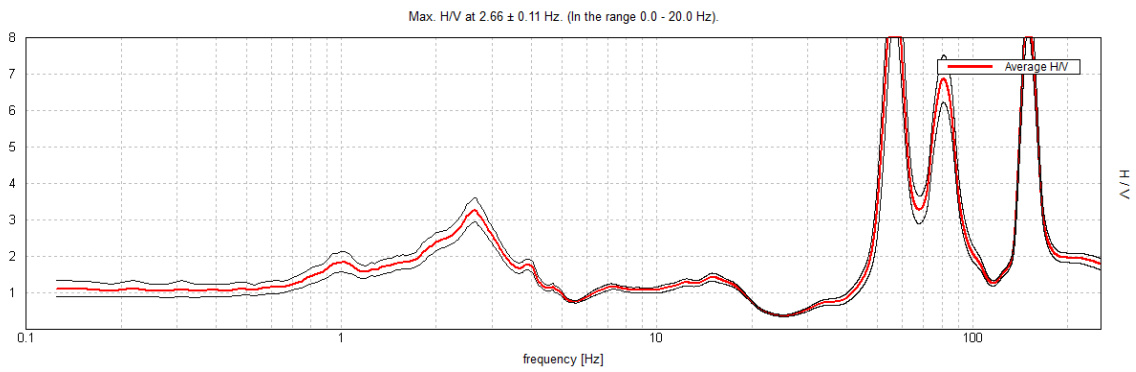
Data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 10 Hz), sono stati utilizzati n°16 geofoni verticali a 4,5 Hz uniti in array lineari totalmente digitali (SoilSpy Rosina). Ogni geofono è munito di un digitalizzatore che converte il segnale e lo trasmette al sismografo tramite un'interfaccia USB. Tale sistema permette di avere elevati rapporti di rumore, un perfetto sincronismo e una estrema leggerezza. Tutti gli stendimenti eseguiti non presentavano sostanziali variazioni di quota e, quindi, i siti indagati sono stati considerati a sviluppo orizzontale.

Sintesi dei risultati

In questo paragrafo è riportata esclusivamente la sintesi dei risultati ottenuti dall'analisi congiunta dell'array sismico e della misura H.V.S.R. accoppiata ad essa.

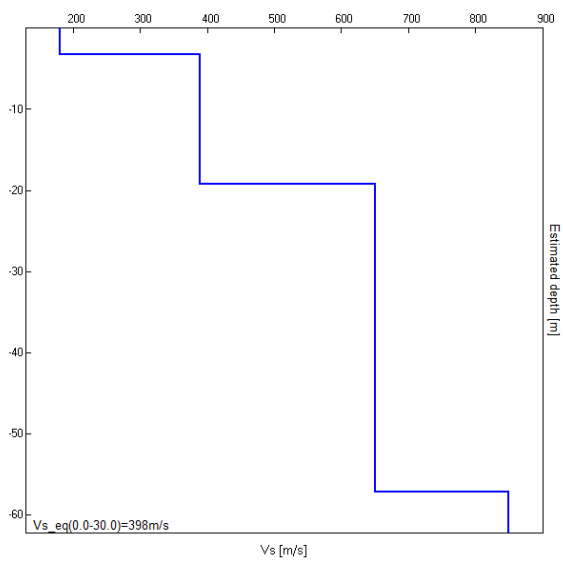
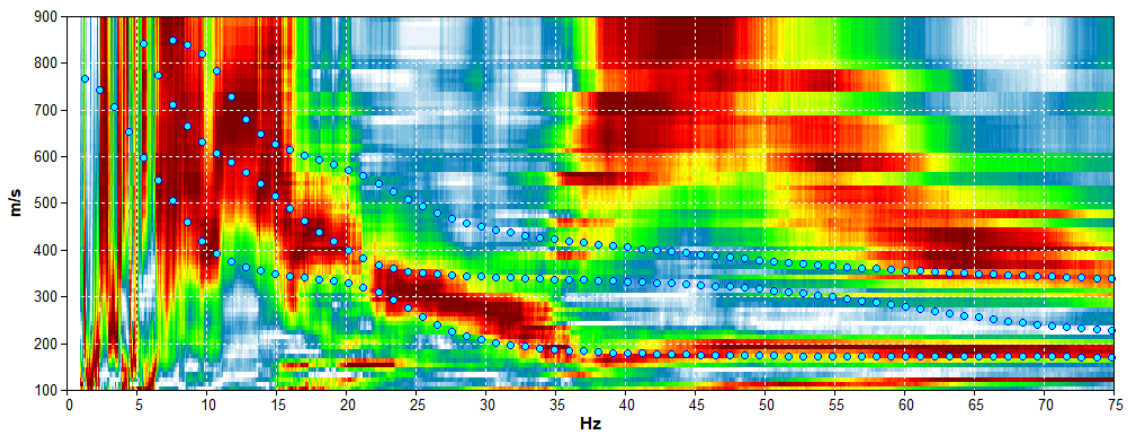
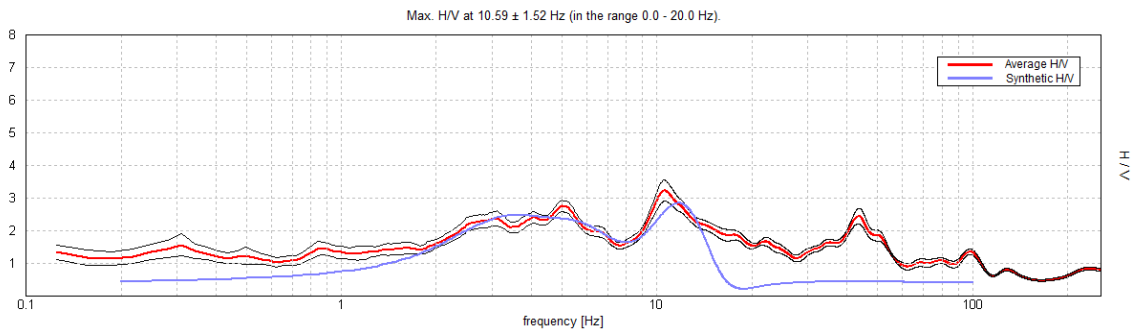
Nelle figure seguenti viene riportato il profilo verticale delle onde di taglio (V_s), e la curva di dispersione e la curva sintetica H.V.S.R. associate.

Misura sismica Re.Mi.1 (A1) con inversione congiunta all'H.V.S.R. 1 (T1)



Profondità in [m] dal p.c. locale	Vs in [m/s]
0,0 – 4,0	250
4,0 – \approx 26	400
\approx 26 - \approx 75	670
$> \approx$ 75	950

Misura sismica Re.Mi. 2 (A2) con inversione congiunta all'H.V.S.R. 2 (T2)

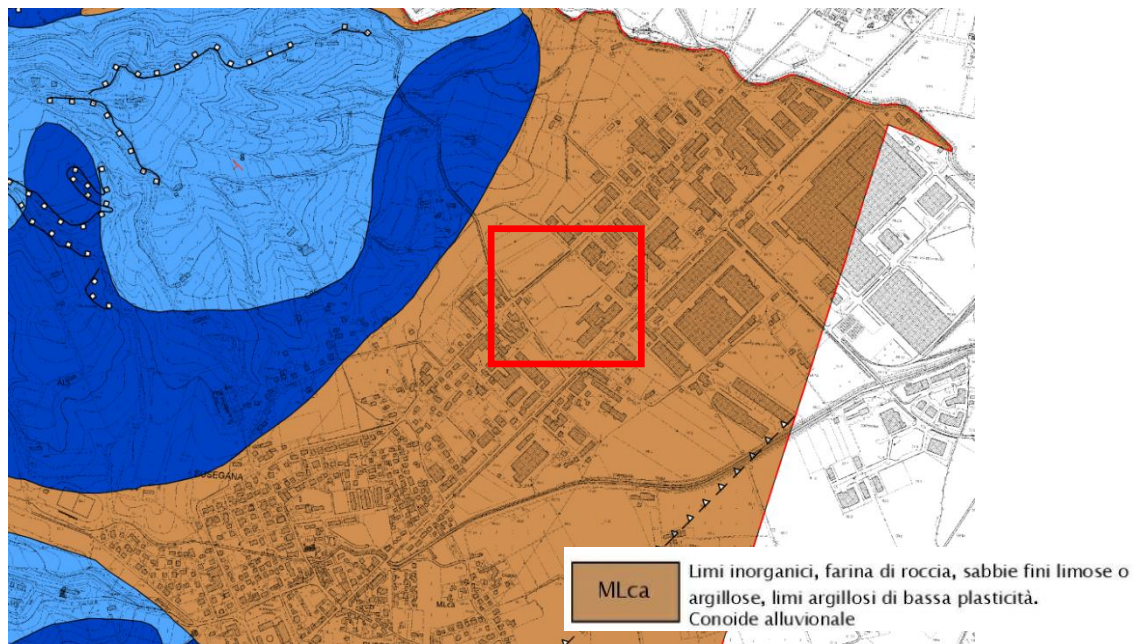


Profondità in [m] dal p.c. locale	Vs in [m/s]
0,0 – 3,2	180
3,2 – ≈19	390
≈19 - ≈ 57	650
> ≈ 57	850

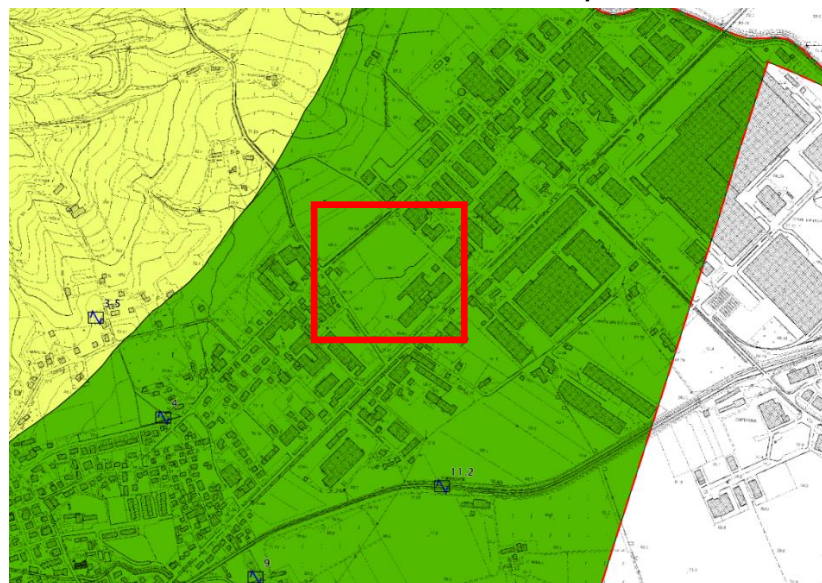
7 - Microzonazione sismica di Livello 3

7.1 Generalità

La MS di Livello 3 si applica a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica in contesti tettonico - stratigrafici complessi e di instabilità individuate nella precedente fase (Livello 1) e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio o incremento dei carichi urbanistici, e per il territorio compreso nel perimetro del centro abitato e lungo le fasce delle nuove reti infrastrutturali, così come previsto dalla normativa vigente. In particolare, lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 definisce la zona d'indagine come interessata da "Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di conoide alluvionale (ML_ca)".



Invece, per quanto riguarda l'individuazione delle aree omogenee dal punto di vista sismico il sito d'indagine è stato inserito nelle zone "stabili suscettibili di amplificazione locale".



Le Linee Guida Regionali per la Microzonazione Sismica prevedono la realizzazione, al Livello 1 di approfondimento, della Carta di Pericolosità Sismica Locale (CPSL), nella quale vengono indicate le maggiori criticità del territorio e individuate le aree che richiedono approfondimenti per particolari tematiche e/o assetti stratigrafici-tettonici complessi.

Anche se tale carta non è stata realizzata, considerando la litologia prevalentemente presente nel sito e la zona sismica omogenea a cui è stato assegnato, è possibile attribuire all'area d'indagine, una pericolosità P4a così descritta:

P4 : Zone suscettibili ad amplificazioni litologiche e geometriche

P4a Zona di fondovalle ampie e di pianura con depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi

Inoltre, facendo riferimento alla tabella relativa alla procedura per la MS con i differenti livelli di approfondimento e per i differenti scenari di pericolosità sismica locale (fig. 2 nelle Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica) si costata che l'analisi di Livello 3 per l'area d'indagine sarà finalizzata a quantificare gli effetti amplificati del moto sismico in superficie per effetto litologico.

PROCEDURA DI MICROZONAZIONE SISMICA								
SIGLA	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	Verifica di assoggettabilità	(soglia)	1°livello	(soglia)	2°livello	(soglia)	3°livello
P1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi				cartografia			Analisi stabilità
P1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti				cartografia			Analisi stabilità
P1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana				cartografia	Analisi di stabilità	Fs prossimo a 1	Analisi stabilità
P2a	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI* PREV.URBAN* Cedimenti Eventuale verifica	PREV.URBAN*	Cedimenti
P2b	Zona con depositi granulari fini saturi	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI* PREV.URBAN* Liquefazione Eventuale verifica	PREV.URBAN*	Liquefazione
P2c	Zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI* PREV.URBAN* Cedimenti	PREV.URBAN*	Cedimenti
P3a	Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di cava, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc...)				H=10 m, a>15°	Effetti topografici		
P3b	Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita - arrotondata				h=1/3H, a e a2>15°	Effetti topografici		
P4a	Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi				Vs30<800m/s, C<0,25 Vs30<800m/s, C<0,25	Effetti litologici V/b>0,65/(Cv-1)		Effetti lito-geometrici
P4b	Zona di fondovalle stretta (C>0,25) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale				Vs30<800m/s- C>0,25			Effetti lito-geometrici
P4c	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre				Vs30<800m/s	Effetti litologici		
P4d	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)				Vs30<800m/s	Effetti litologici		
P4e	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluviale-colluviale				Vs30<800m/s	Effetti litologici		
P5a	Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse				cartografia	Comportamenti differenziali		
P5b	Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole				cartografia			Comportamenti differenziali

8 - Modellazione numerica di Livello 3

Per quantificare correttamente la risposta sismica di sito, in virtù del fatto che la procedura semplificata tramite abachi nazionali risulta, a volte, poco attendibile essendo stata creata tramite modelli generici che difficilmente riescono a riprodurre il comportamento dinamico di tutti gli ambienti deposizioni presenti sul territorio nazionale, è stata condotta una modellazione monodimensionale, propria del Livello 3 di approfondimento.

La simulazione ha considerato gli effetti amplificativi del moto sismico dovuti alla stratigrafia, in quanto si sono escluse quelle topografiche (territorio pianeggiante) e anche quelle derivanti da morfologie sepolte.

La tecnica di risoluzione numerica adoperata è stata quella alle differenze finite (FDM) implementata nel codice di calcolo FLAC 8.0 (Itasca, 2011), operante nel dominio del tempo. Il codice effettua un'analisi lagrangiana del continuo risolto mediante uno schema di avanzamento temporale di tipo esplicito.

Il risultato finale è rappresentato in una storia accelerometrica orizzontale attesa nel sito d'indagine e plottata in uno spettro di risposta elastico.

8.1 - Descrizione del metodo

Il codice di calcolo FLAC 2D v.8.0 (Fast Lagrangian Analysis of Continua) della Itasca (2011) è basato sul metodo delle differenze finite con un procedimento di tipo esplicito. La flessibilità nella modellazione della geometria del problema, la disponibilità di elementi strutturali, l'elevato numero di modelli costitutivi implementati e la possibilità di svilupparne anche di nuovi, rendono FLAC idoneo allo studio di tutti i problemi riguardanti il comportamento meccanico di mezzi continui (terreni, rocce, ecc.) e di strutture interagenti. Sviluppato inizialmente per le applicazioni di ingegneria geotecnica e ingegneria mineraria in campo statico, esso ha trovato successivamente, con l'introduzione del modulo dinamico, largo impiego anche per la soluzione di problemi di risposta sismica locale. Il codice di calcolo FLAC, anche per i problemi in campo statico, risolve le equazioni di equilibrio dinamico di un mezzo continuo:

$$\rho \cdot \frac{\partial \dot{u}_i}{\partial t} = \sum_j \frac{\partial \tau_{ji}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (8.1)$$

dove:

- ρ è la densità
- x_j la componente i - esima del vettore posizione
- \dot{u}_i la componente i - esima del vettore velocità
- g_i la componente dell'accelerazione di gravità (forze di volume) lungo la direzione i
- τ_{ji} la generica componente del tensore degli sforzi.

Il comportamento meccanico dei materiali è espresso dalla legge costitutiva:

$$\tau_{ji} = M(\tau_{ji}; \dot{\epsilon}_{ij}; k) \quad (8.2)$$

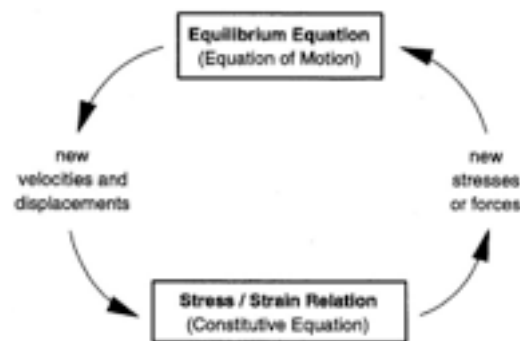
dove k è un parametro che tiene conto della storia di carico, M un funzionale ed $\dot{\epsilon}_{ij}$ il tensore velocità di deformazione espresso dalla:

$$\dot{e}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \dot{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (8.3)$$

I materiali vengono rappresentati da elementi quadrilateri, o zone, che formano una griglia (mesh) che può essere configurata dall'utente in modo da modellare contatti stratigrafici e morfologie superficiali, anche complesse e irregolari. A ciascuna zona si assegnano le proprietà fisiche e meccaniche che ne caratterizzano il comportamento nell'analisi. I vertici di ogni zona costituiscono i nodi della griglia.

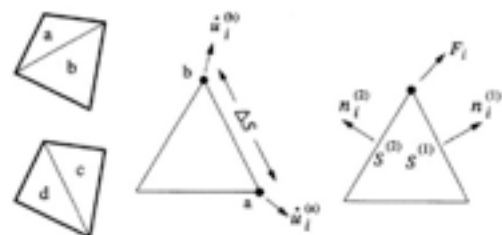
I metodi alle differenze finite come quelli agli elementi finiti traducono un sistema di equazioni differenziali come la (8.1) in un sistema di equazioni algebriche. Se i metodi agli elementi finiti hanno come punto centrale la definizione delle funzioni di forma, che descrivono la variazione delle grandezze che interessano il problema (tensioni, deformazioni) attraverso ciascun elemento, nei metodi alle differenze finite si prescinde da questa definizione della funzione di forma, e le equazioni algebriche vengono scritte direttamente in termini di variabili di campo (tensioni, spostamenti) definite nei nodi della mesh.

In sintesi, l'algoritmo risolutivo dell'approccio esplicito si articola secondo il ciclo indicato nella seguente figura.



Ad ogni nuovo passo di calcolo (step), vengono risolte le equazioni di equilibrio dinamico, per cui dalle tensioni e dalle forze si ottengono i valori corrispondenti delle velocità di deformazione e degli spostamenti; successivamente, dalle velocità di deformazione e attraverso le equazioni dei legami costitutivi, si giunge a valori aggiornati delle tensioni. L'ipotesi base dell'approccio esplicito consiste nel fatto che, durante ciascuna fase, le grandezze vengono ricavate da altre grandezze i cui valori sono assunti costanti durante l'operazione. Ad esempio, attraverso le leggi costitutive, i valori delle velocità di deformazione sono considerati fissi durante l'operazione di calcolo delle tensioni: in altre parole, i nuovi valori calcolati delle tensioni non influenzano le velocità. Questo può apparire poco accettabile dal punto di vista fisico, poiché se c'è una variazione di tensione in un punto, questa necessariamente influenza i punti vicini alterandone le velocità di deformazione. Tuttavia, se l'intervallo di tempo Δt (timestep) corrispondente al singolo ciclo di calcolo è sufficientemente piccolo, tale alterazione non può propagarsi da un elemento all'altro in tale intervallo.

Tale approccio si è dimostrato particolarmente efficiente nella modellazione di problemi non lineari in presenza di grandi deformazioni. Per contro, essendo il Δt richiesto generalmente molto piccolo, sono necessari un gran numero di passi di integrazione cui corrispondono tempi di calcolo molto elevati.



Gli elementi quadrangolari della griglia vengono automaticamente suddivisi dal programma in due set sovrapposti di triangoli a deformazioni costanti.

Le equazioni alle differenze finite per ogni triangolo si ottengono dalla forma generalizzata del teorema della divergenza di Gauss:

$$\int_S \mathbf{f} \cdot \hat{\mathbf{n}} \cdot d\mathbf{s} = \int_A \text{div } \mathbf{f} \cdot dA \quad (8.4)$$

in cui:

- \mathbf{n} è il versore normale al contorno S del dominio triangolare
- f la funzione generica (scalare, vettore o tensore)
- A la superficie del dominio triangolare di contorno S
- ds la lunghezza incrementale lungo il contorno S .

Sostituendo ad f un valore medio del vettore velocità, la relazione precedente consente di scrivere:

$$\frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x_i} \cong \frac{1}{2A} \sum_s (\dot{u}_i^{(a)} + \dot{u}_i^{(b)}) n_i \Delta s \quad (8.5)$$

dove (a) e (b) sono due nodi consecutivi sul generico lato del triangolo. Attraverso la (8.3) e la (8.5) è, quindi, possibile calcolare tutte le componenti del tensore velocità di deformazione. La legge costitutiva è poi utilizzata per calcolare un nuovo valore del tensore delle tensioni. Calcolate le tensioni, vengono calcolate le forze equivalenti applicate ai nodi. Le tensioni agiscono in ciascun triangolo come trazioni sui lati del triangolo stesso; ogni trazione è considerata equivalente a due forze agenti sui due nodi all'estremità del lato. Su ogni nodo del triangolo agiscono, quindi, due forze relative ai due lati convergenti nel nodo stesso:

$$\mathbf{F}_i = \frac{1}{2} \tau_{ji} \left(n_i^{(1)} S^{(1)} + n_i^{(2)} S^{(2)} \right) \quad (8.6)$$

Infine, per ciascun nodo vengono sommate tutte le forze dovute ai triangoli convergenti nel nodo stesso, le forze dovute a eventuali carichi esterni applicati e le forze di volume dovute alla gravità. In tal modo viene determinata la forza nodale netta ΣF_i ; se $\Sigma F_i = 0$, il nodo è in equilibrio, altrimenti subirà un'accelerazione espressa dalla seconda legge di Newton, nient'altro che la (8.1) espressa in termini incrementali:

$$\dot{u}_i^{(t+\frac{\Delta t}{2})} = \dot{u}_i^{(t-\frac{\Delta t}{2})} + \left[\sum F_i^{(t)} \right] \frac{\Delta t}{m} \quad (8.7)$$

dove l'apice indica il tempo in corrispondenza del quale è valutata la variabile e m è la massa associata a ciascun nodo pari alla somma di un terzo delle masse dei triangoli convergenti nel nodo. Dalla relazione precedente si determinano nuovi valori della velocità e, quindi, del tensore velocità di deformazione per un nuovo ciclo.

Come detto, condizione essenziale dell'algoritmo descritto è che il time step Δt , corrispondente al singolo ciclo di calcolo, sia sufficientemente piccolo da rendere accettabile l'approssimazione di tensioni e velocità costanti sul singolo step di calcolo. In particolare, Δt deve essere inferiore ad un time step critico Δt_{cr} definito dalla:

$$\Delta t_{cr} = \min \left\{ \frac{A}{V_p \Delta x_{max}} \right\} \quad (8.8)$$

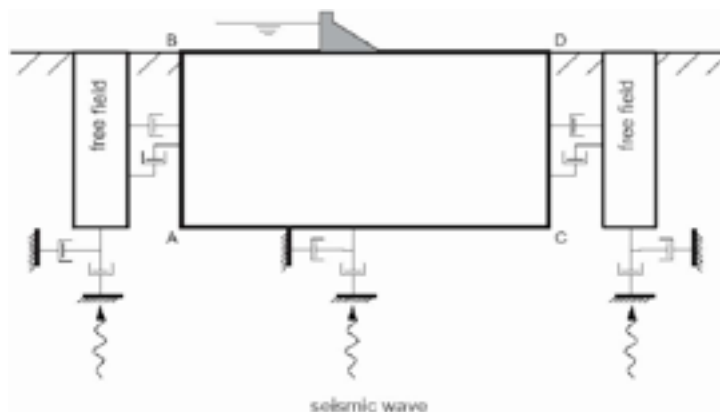
dove A è la superficie del subelemento triangolare, Δx_{max} la dimensione massima della zona (in genere la diagonale) e VP la velocità delle onde di compressione. La funzione minimo è presa su tutte le zone. Il timestep critico è tanto più piccolo (e i tempi di calcolo quindi tanto più elevati) quanto più la rigidezza del materiale è elevata e quanto più piccolo è l'elemento. Il Δt di calcolo viene determinato internamente da FLAC, applicando un coefficiente di sicurezza pari a 2 al valore fornito dalla (8.8). Particolare attenzione va posta nella scelta delle dimensioni degli elementi della mesh, in quanto queste condizionano in maniera fondamentale l'accuratezza numerica della trasmissione delle onde. In particolare, per un'accurata modellazione viene consigliato di scegliere una altezza degli elementi h almeno pari a un valore compreso tra un decimo e un ottavo della minima lunghezza d'onda di interesse λ_{min} :

$$h \leq \frac{\lambda_{min}}{10} \quad (8.9)$$

La λ_{min} è la lunghezza d'onda che corrisponde alla massima frequenza di interesse ed è legata ad essa dalla velocità di propagazione delle onde di taglio. I metodi alle differenze finite, così come quelli agli elementi finiti, si basano sulla discretizzazione, tramite una mesh di nodi, di una porzione finita dello spazio, per cui appropriate condizioni al contorno vanno imposte ai confini artificiali di tale regione. In ogni problema di propagazione di onde sismiche, parte dell'energia si allontana indefinitamente dalla regione di interesse verso il semispazio circostante per fenomeni di diffrazione e riflessione, dando luogo a una perdita di energia indicata come smorzamento di radiazione.

Al fine di modellare correttamente questo fenomeno, FLAC consente di minimizzare la riflessione delle onde sui contorni della mesh, imponendo su questi condizioni di campo libero (free-field boundaries) o viscosi (quiet boundaries). La definizione delle condizioni al contorno è strettamente correlata all'applicazione della sollecitazione dinamica, come discusso in seguito.

I contorni free-field consistono sostanzialmente in colonne monodimensionali di larghezza unitaria, situate ai lati del modello, che simulano il comportamento di un mezzo infinitamente esteso (figura seguente).



In pratica, essi riproducono il moto libero del terreno che si avrebbe in assenza della configurazione bidimensionale e allo stesso tempo impediscono la riflessione ai bordi della mesh delle onde diffratte verso l'esterno. Come illustrato, i singoli nodi dei contorni laterali della griglia principale vengono accoppiati alla griglia free-field attraverso smorzatori viscosi che materialmente assorbono l'energia delle onde incidenti sui contorni, applicando delle forze viscosi proporzionali alla differenza tra il campo di velocità esistente al bordo e quello in condizioni free-field. Prima dell'applicazione delle condizioni free-field durante l'analisi dinamica, il modello deve essere in condizioni di equilibrio

statico, per cui è necessario eseguire una analisi statica preliminare per determinare lo stato tensionale e deformativo all'interno del modello. All'atto dell'applicazione delle condizioni free-field, tutte le variabili di stato determinate dall'equilibrio statico vengono quindi applicate alle colonne monodimensionali ai bordi del modello.

I contorni free-field sono di notevole utilità, in quanto consentono di evitare l'allontanamento dei confini laterali, altrimenti necessario in assenza di confini assorbenti, per la minimizzazione delle onde riflesse dai contorni.

I contorni quiet sono invece costituiti, secondo la formulazione di Lysmer e Kuhlemeyer (1969), da smorzatori viscosi attaccati alla griglia e agenti in direzione normale e tangenziale al contorno stesso; essi consentono un pressoché completo assorbimento delle onde di volume che incidono sul contorno. I contorni quiet possono essere applicati su contorni verticali, orizzontali o inclinati. Essi vanno applicati al confine inferiore della mesh per simulare la base elastica, mentre ai bordi del modello, come detto, è preferibile l'utilizzo dei contorni free-field.

Le sollecitazioni dinamiche possono essere applicate sia ai bordi della mesh sia ai suoi nodi interni in una delle seguenti forme:

- storia temporale di accelerazioni;
- storia temporale di velocità;
- storia temporale di tensioni;
- storia temporale di forze.

Nell'applicare la sollecitazione dinamica, bisogna però tenere conto di alcune limitazioni che derivano da particolari incompatibilità tra forme di applicazione dell'input e delle condizioni al contorno. Se, ad esempio, queste sono rappresentate da quiet boundaries (come avviene solitamente per il bordo inferiore della mesh), il loro effetto viene annullato se si applica un accelerogramma o una storia di velocità.

Quindi, in questo caso, la base è modellata come rigida, cioè perfettamente riflettente, dando luogo a irrealistiche sovrastime del moto sismico. Per simulare correttamente una base elastica occorre applicare ai quiet boundaries, alla base della mesh, una storia temporale di tensioni. A tal fine, un accelerogramma di input deve essere integrato per ottenere una storia temporale di velocità e questa viene infine convertita in tensioni tramite le seguenti relazioni:

$$\sigma_n = 2(\rho V_p) v_n \quad \sigma_s = 2(\rho V_s) v_s \quad (8.10)$$

dove:

- ρ è la densità;
- σ_n , σ_s rispettivamente tensione applicata in direzione normale e tangenziale al contorno;
- V_p , V_s rispettivamente velocità delle onde di compressione e di taglio del materiale che viene simulato al di sotto del contorno inferiore (costituente la base elastica);
- v_n , v_s rispettivamente la velocità di input normale e tangente al contorno.

In definitiva, un input costituito da onde S sarà quindi applicato come una storia temporale di tensioni tangenziali, mentre le onde P tramite una storia temporale di tensioni normali al contorno. Entrambe le sollecitazioni sono applicate con incidenza verticale.

La non linearità e le proprietà dissipative dei terreni possono essere modellate in FLAC secondo differenti modalità: attraverso l'adozione di un legame costitutivo propriamente non lineare o, a

partire dalla versione 5.0 (Itasca, 2005), tramite semplici modelli di smorzamento isteretico. Le proprietà dissipative possono altresì essere modellate attraverso la formulazione di Rayleigh.

L'adozione di una legge sforzi-deformazione non lineare rappresenta, teoricamente, il modo più efficace per tenere conto della degradazione di rigidità al procedere della deformazione e della dissipazione di energia per isteresi. Questi modelli possono essere accoppiati con modelli di filtrazione per simulare la generazione e dissipazione di eccessi di pressioni neutre e/o fenomeni di liquefazione e consentono, inoltre, la valutazione delle deformazioni permanenti. Però, dal punto di vista pratico, i modelli non lineari sono spesso complessi e richiedono la definizione di molti parametri e lunghi processi di calibrazione.

La complessità dei modelli non lineari e la comodità di un utilizzo diretto delle curve di tipo G / G0 e D / D0, generalmente fornite dalle prove di laboratorio e dalle correlazioni empiriche, ha portato all'introduzione di semplici modelli di smorzamento isteretico (hysteretic damping) nella recente versione 5.0 del codice.

Durante ciascuno step di calcolo, in funzione del valore medio del tensore di velocità di deformazione, viene restituito un fattore moltiplicativo da usarsi nel legame costitutivo, in modo da correggere il valore del modulo tangente di taglio associato a ciascun elemento. Il modello isteretico implementato utilizza solo curve continue che esprimono la variazione del modulo di taglio con la deformazione tangenziale; pertanto, i parametri da fornire in input che definiscono la forma di tali curve vanno ricavati attraverso regressione dei dati sperimentali. Analisi di calibrazione dello smorzamento isteretico sono necessarie prima di un suo uso nella pratica corrente.

Nel caso di analisi lineari, o per modellare comunque lo smorzamento a basse deformazioni che spesso i legami costitutivi non lineari non riescono a cogliere, si può utilizzare la formulazione di Rayleigh. Essa conduce a uno smorzamento dipendente dalla frequenza, in contrasto con le evidenze sperimentali sul comportamento dei terreni. Il suo impiego richiede, pertanto, una oculata scelta dei parametri che lo definiscono, per limitare la variazione dello smorzamento con la frequenza (Lanzo et al., 2003 e 2004). Lo smorzamento di Rayleigh è stato originariamente formulato per le analisi strutturali ed è espresso in forma matriciale attraverso la definizione di una matrice di smorzamento C proporzionale alla matrice di massa M e a quella di rigidità K:

$$\mathbf{C} = \alpha_R \mathbf{M} + \beta_R \mathbf{K} \quad (8.11)$$

dove α_R e β_R sono i coefficienti di Rayleigh che hanno dimensione rispettivamente di s⁻¹ e s. È possibile dimostrare (Chopra, 1995) che lo smorzamento ξ_j associato al j-esimo modo di vibrazione del deposito è espresso dalla:

$$\xi_j = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_R}{\omega_j} + \beta_R \omega_j \right) \quad (8.12)$$

dove ω_j è la frequenza circolare relativa al modo j.

I coefficienti di Rayleigh vengono comunemente determinati attraverso due procedure, a seconda che si fissi il valore dello smorzamento modale in corrispondenza di una o due frequenze naturali opportunamente selezionate (dette frequenze di controllo). Il codice FLAC adotta la prima procedura in accordo alla quale i coefficienti di Rayleigh sono espressi dalle:

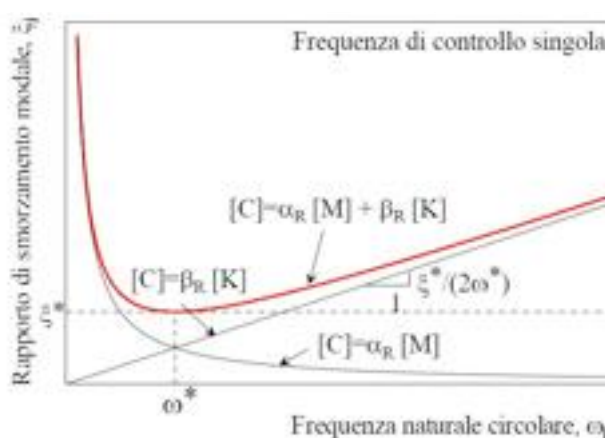
$$\alpha_R = \xi^* \omega^* \quad , \quad \beta_R = \frac{\xi^*}{\omega^*} \quad (8.13)$$

avendo fissato lo smorzamento modale al valore ξ in corrispondenza della singola frequenza ω .

Per ciascun elemento della mesh occorre specificare il rapporto di smorzamento ξ^* del materiale e la frequenza ω^* . A titolo di esempio, nel caso di smorzamento ξ^* e frequenza ω^* costante per tutto il deposito, è possibile dimostrare che un'analisi lineare eseguita con FLAC fornisce gli stessi risultati di un'analisi modale, con rapporto di smorzamento modale dell'intero sistema variabile con la frequenza circolare naturale ω_j secondo la:

$$\xi_j = \xi^* \left(\frac{\omega^*}{\omega_j} + \frac{\omega_j}{\omega^*} \right) \quad (8.14)$$

riportata nella figura seguente, nella quale si nota come ξ_j assuma un minimo (pari al valore imposto ξ^*) in corrispondenza della frequenza di controllo ω^* , mentre sia sovrastimato nel campo dei valori maggiori e minori di ω^* .



La formulazione di Rayleigh viene applicata a livello del singolo elemento della mesh per cui, tra i dati di input, occorre specificare per ciascun elemento il valore del rapporto di smorzamento del materiale che lo costituisce ξ^* e la frequenza di controllo ω^* (o meglio il valore f^*). La scelta di f^* è cruciale per fissare il campo di frequenza in corrispondenza del quale lo smorzamento mostra variazioni contenute rispetto a ξ^* .

In definitiva, per ciascun materiale occorre fornire i seguenti parametri di input:

- peso dell'unità di volume;
- nel caso di analisi lineari modulo di taglio (G_0) e di elasticità volumetrico (k), o, in alternativa modulo di Young (E) e coefficiente di Poisson (ν);
- nel caso di analisi non lineari occorre fornire i parametri caratteristici del modello adottato;
- rapporto di smorzamento (ξ^*) e frequenza di controllo (f^*) se si adotta la formulazione di Rayleigh.

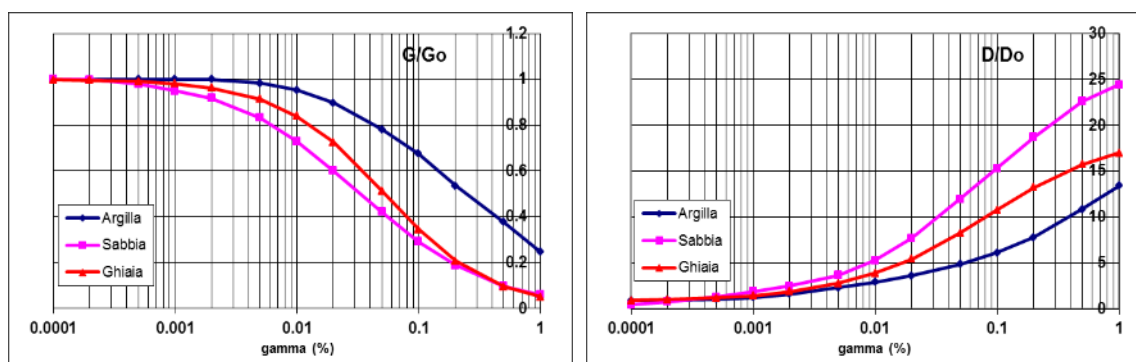
Il codice offre notevoli potenzialità di dati in *output*, potendo restituire la storia temporale di tutte le grandezze di interesse: spostamenti, velocità, accelerazioni, deformazioni e tensioni. L'interfaccia grafica consente, inoltre, di costruire ed esportare i grafici delle sopracitate grandezze, in funzione della profondità o lungo un generico profilo.

8.2 - Risultati ottenuti dall'analisi condotta

Per quantificare l'azione sismica in superficie in corrispondenza dell'area presente in via Conegliano e valutare il fattore di amplificazione è stato realizzato un modello bidimensionale sul quale sono state successivamente condotte le simulazioni 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, oltre ad evitare la riflessione delle onde in maniera analoga agli smorzatori viscosi introdotti da Lysmer e Kuhlemeyer (1969), forzano i nodi delle frontiere laterali a riprodurre il moto di free-field, essenziale per le analisi di risposta sismica locale monodimensionale 1D.

Per limitare la riflessione delle onde in corrispondenza della frontiera inferiore del modello, sono stati utilizzati degli smorzatori viscosi (quiet boundaries), mentre le proprietà dissipative dei materiali sono state ottenute attraverso la formulazione di Rayleigh per quanto riguarda il bedrock geofisico (smorzamento 0,02%); per i materiali di copertura è stato utilizzato lo smorzamento isteretico tramite le curve G/G_0 e D/D_0 indicate negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica e sotto riportate.



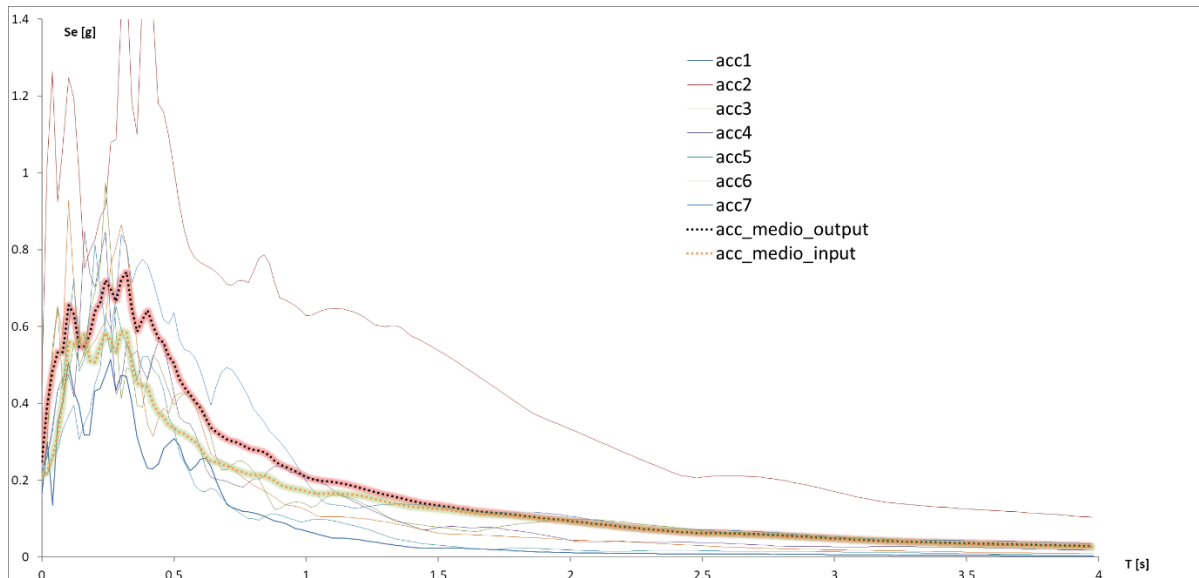
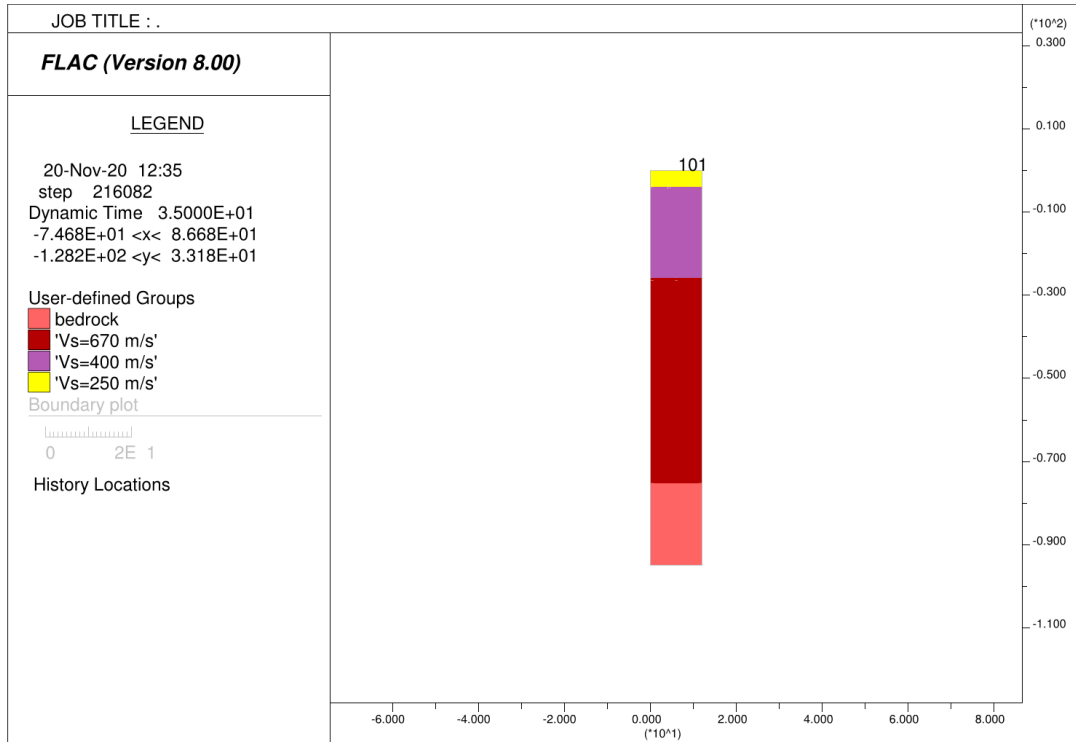
Nel rispetto della normativa vigente - D.M. 14/01/2008 - è stata assunta una severità dell'azione sismica con la probabilità di superamento (P) e con il periodo di ritorno (Tr) relativi allo stato limite considerato. In particolare, è stata considerata una vita nominale della costruzione (Vn) di 50 anni, un coefficiente d'uso (Cu) pari a II e quindi una vita di riferimento Vr = 100 anni. A partire da queste indicazioni, si è determinato un periodo di ritorno dell'azione sismica di 475 anni corrispondente ad una probabilità di superamento del 10% allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV).

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) e correttamente deconvoluto (v. Dynamic Analysis della Itasca, 2011).

In particolare, i sette accelerogrammi sono stati ricavati tramite l'utilizzo del programma REXEL - *computer aided record selection for code - based seismic structural analysis*. Tramite una procedura ottimizzata (Corigliano et al., 2012) è stato selezionato l'insieme migliore di accelerogrammi spettrocompatibili registrati su sottosuolo roccioso di Categoria A e disponibili nelle principali banche dati accelerometriche mondiali accreditate.

Le history (storia temporale) ricavate al tetto del modello (per ogni input sismico applicato) rappresentano le storie accelerometriche orizzontali attese nel sito d'indagine: ogni history è stata

successivamente plottata in uno spettro di risposta elastico e mediata in una curva rappresentativa (acc_medio_output). Infine, per calcolare il Fattore di Amplificazione (FA) si è confrontato lo spettro medio in ingresso con quello in uscita, calcolando il rapporto dell'intensità di Housner per periodi compresi tra 0,1 s e 0,5 s, 0,4 - 0,8 s e 0,7 - 1,1 s(FA) poiché in tali intervalli, si ha la massima risposta in accelerazione. A seguire, si riporta il modello sismo-stratigrafico utilizzato e lo spettro di risposta elastico ottenuto con i tre valori di amplificazione, per i vari periodi strutturali.



FATTORI DI AMPLIFICAZIONE		
FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1s
1,3	1,4	1,3

9 - Bibliografia

- ✦ A. Viganò, G. Bressan, G. Ranalli, S. Martin (2008) - Focal mechanism inversion in the Giudicarie - Lessini seismotectonic region (Southern Alps, Italy): Insight on tectonic stress and strain
- ✦ Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta - Bacchiglione. Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino idrografico del fiume Livenza (P.A.I.L.).
- ✦ L. Benedetti, P. Tapponnier, C.P. Geoffroy King, M. Bertrand, I. Manighetti: "Growth folding and active thrusting in the Montello region, Veneto, northern Italy"
- ✦ C. Braitenberg, B. Grillo, I. Nagy, S. Zidarich, A. Piccin (2007) - La stazione geodetico-geofisica ipogea del Bus De La Genziana - Pian Cansiglio. Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan" pp. 105 - 120
- ✦ Bramerini F., Di Pasquale G., Naso G., Severino M. (2008) - Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica - Parti I e II - Gruppo di lavoro "Indirizzi e criteri generali per la Microzonazione Sismica" del Dipartimento della Protezione Civile
- ✦ Castellaro S., Albarello D. (2011). Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. Ingegneria sismica, pp. 32 - 62
- ✦ Castellaro S., Mulargia F., Bianconi L. (2005). Passive Seismic Stratigraphy: A new efficient, fast and economic technique. *Geologia tecnica & ambiente*, pp. 77 - 102
- ✦ CERI Centro di ricerca "Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici" (2004) - La microzonazione sismica. Metodi, esperienze e normativa
- ✦ Chopra L. (1995). *Dynamic of Structures: theory and applications to earthquake engineering*. Prentice Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics. Prentice - Hall
- ✦ Dey A. and Morrison H.F. (1979) - Resistivity modelling for arbitrary shaped two-dimensional structures. *Geophysical Prospecting*, 27, 1020-1036
- ✦ Facciorusso J. et al. (2012) - Microzonazione Sismica - Uno strumento consolidato per la riduzione del rischio - L'esperienza della Regione Emilia - Romagna - a cura del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia - Romagna
- ✦ Ghosh B.; Madabhushi S. P. G. (2003). A numerical investigation into effects of single and multiple frequency earthquake input motion. *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, 23(8), 691-704
- ✦ Gruppo di lavoro MPS (2004) - Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'OPCM 3274 del 20 Marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano - Roma
- ✦ Iervolino I., Galasso C., Cosenza E. (2009) - REXEL: computer aided record selection for code - based seismic structural analysis - *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8: 339 - 362
- ✦ Itasca (2011). *FLAC Fast Lagrangian Analysis of Continua. v.7.0. User's Manual*
- ✦ Kuhlmeier R. L.; Lysmer J. (1969). Finite Element Method Accuracy for Wave Propagation Problems. *J. Soil Mech. and Found. Div.*, ASCE, 99(5), 421-427
- ✦ Lanzo G., Pagliaroli A., D'Elia B. (2003). Numerical study on the frequency-dependent viscous damping in dynamic response analyses of ground. In Latini & Brebbia (eds), *Earthquake Resistant Engineering Structures*, WIT Press, Southampton, Boston, pp. 315-324
- ✦ Lanzo G., Pagliaroli A., D'Elia B. (2004a). Influenza della modellazione di Rayleigh dello smorzamento viscoso nelle analisi di risposta sismica locale. Atti XI Congresso Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Genova, Italia, 25 - 29 Gennaio
- ✦ Lanzo G., Silvestri F. (1999) - *Risposta Sismica Locale*. Hevelius Ed.
- ✦ Louie, J. N. (2001). Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 347-364
- ✦ M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, 2015. DBMI15, la versione 2016 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>
- ✦ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R. (2001) - A critical review of 10 Years of microtremor H.V.S.R. technique - *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 42, P. 255 - 266
- ✦ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R. (2006) - Comparison between V_{s30} and other estimates of site amplification in Italy - *Conf. Eartq. Eng. And Seismol.*, Ginevra, 3 - 8 Sept. no 270
- ✦ Mucciarelli M (2011) - Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici - Progetto ricerca 2007PTRC4C - Aracne editrice
- ✦ Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. (2012) - "Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms", in stampa sul *Bulletin of Earthquake Engineering*
- ✦ SESAME Project (2005) - "Site Effects Assessment Using Ambient Excitations"
- ✦ Silvester P.P. and Ferrari R.L. (1990) - *Finite elements for electrical engineers* (2 nd ed.) Cambridge University Press.
- ✦ Slejko D. et al (1987) - *Modello sismotettonico dell'Italia Nord - Orientale*. CNR
- ✦ Spallarossa D. e Barani S. (2007) - Report, Disaggregazione della Pericolosità Sismica in Termini di M - R - ϵ - Progetto DPC-INGV S1, <http://esse1.mi.ingv.it/d14.html>