



COMUNE DI SANTA LUCIA DI PIAVE



Provincia di Treviso



STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA Livello 1 e Livello 3

D.G.R. n.1572 del 03.09.2013

A cura di

Con la collaborazione di

Dr. Geol. Matteo Collareda

Dr. Geol. Claudia Tomassoli

StudioSisma

Dr. Geol. Matteo Collareda

via Lungo Giara 29 - 36033 Isola Vicentina (Vicenza)
tel./fax 0444 962532 - cell. 349 0567455

e-mail: info@studiosisma.com pec: studiosisma@epap.sicurezza postale.it

INDICE

1	INTRODUZIONE	2
2	GENERALITA'	3
3	ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA	5
3.1	Inquadramento geologico generale	5
4	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	9
4.1	Inquadramento sismotettonico generale	9
4.2	Caratterizzazione sismogenetica locale	12
4.3	Sismicità storica	13
4.4	Faglie capaci e sorgenti sismogenetiche	16
4.5	Pericolosità sismica di riferimento	20
5	MICROZONAZIONE SISMICA: PRINCIPI FONDAMENTALI E FINALITA'	23
5.1	Introduzione.....	23
5.2	La natura del problema	23
5.3	Finalità e livelli di approfondimento	25
6	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI DA INDAGINI PREGRESSE E DI NUOVA REALIZZAZIONE	26
6.1	Indagini pregresse.....	26
6.2	Metodologia di elaborazione delle indagini	26
6.2.1	Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.)	26
6.2.2	Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)	37
6.3	Modello geosismico del sottosuolo - interpretazione e incertezze	39
7	ELABORATI CARTOGRAFICI (ripresi dalla Microzonazione di Livello 1).....	40
7.1	Carta delle indagini	40
7.2	Carta delle frequenze	40
7.3	Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica	42
7.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello I)	43
7.5	Carta della pericolosità sismica locale (di nuova realizzazione)	45
8	MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 - FA e FV	46
8.1	Introduzione.....	46
8.2	Risultati indagini di nuova realizzazione	47
8.3	Modellazioni numeriche avanzate - Stima dei fattori di amplificazione	56
8.3.1	Descrizione del metodo.....	56
8.3.2	Casi applicativi nel Comune di Santa Lucia di Piave	63
9	MODELLAZIONI NUMERICHE RELATIVE ALLE "FAGLIE ATTIVE E CAPACI"	68
10	REDAZIONE CARTOGRAFICA BASI INFORMATICHE	73
11	BIBLIOGRAFIA.....	74
12	ALLEGATI FUORI TESTO	75

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, significa quindi sviluppare una serie di norme, linee guida e/o comportamenti operativi e/o educativi finalizzati alla gestione dei rischi naturali, alla riduzione generale dei costi sociali e conseguentemente alla 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 sulla 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 substrato roccioso, delle caratteristiche morfologiche del sito ed, inoltre, è 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 su siti in pianura, su terreni sciolti, siano stati amplificati di oltre il doppio rispetto ai siti su roccia e, inoltre, 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 GENERALITA'

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 ad una scala sufficientemente grande (scala comunale o sub-comunale) 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 e/o geomorfologiche del territorio;
- le zone in cui sono presenti fenomeni di deformazione permanente, 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.

3

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 definirne il grado di adeguamento necessario ad evitarne il collasso in caso di sisma e, quindi, per non compromettere le loro funzioni di pubblica utilità.



Il presente studio è stato svolto ad un Livello 1 e Livello 3 di approfondimento, secondo le modalità riportate negli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” approvati dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome il 13.11.2008 e s.m.i. e secondo le Linee Guida Regionali approvate con D.G.R. 1572.

A tal riguardo, il Livello 1 di approfondimento è stato condotto dal sottoscritto nel mese di maggio 2013 poiché il comune di Santa Lucia di Piave risultava assegnatario dei finanziamenti statali (D.G.R. n° 655 del 17/04/2012 e D.G.R. n° 1575 del 31/07/2012). Per questo, la parte introduttiva relativa all’assetto geologico, geomorfologico, idrogeologico locale nonché l’assetto tettonico e le cartografie relative al Livello 1 sono state interamente riprese dal lavoro precedente. In seguito agli approfondimenti condotti nel presente studio, si è ritenuto necessario aggiornare alcune cartografie (come la CGT e la MOPS) come verrà esplicitato nei capitoli successivi.

La metodologia prevede che il Livello 1 di approfondimento sia esteso a tutto il territorio comunale, ad esclusione delle zone SIC e ZPS, in sede di redazione del P.A.T. mentre il Livello superiore di approfondimento, a supporto del P.I. e PUA, dev’essere condotto sulle parti di territorio suscettibili di amplificazione sismica individuate nello studio di Livello 1 (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.

Inoltre, sono state effettuate delle **misurazioni geognostiche sul territorio comunale**, in modo da ottenere informazioni più dettagliate sulla risposta sismica locale necessarie per definire con maggior cura lo studio di MS.

Ad ogni modo, i risultati del Livello 1 e Livello 3 possono offrire elementi conoscitivi utili per l’adeguamento o il miglioramento di opere esistenti, e per la realizzazione di quelle nuove, orientando il progettista nella scelta degli approfondimenti specifici da eseguire.



3 ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA

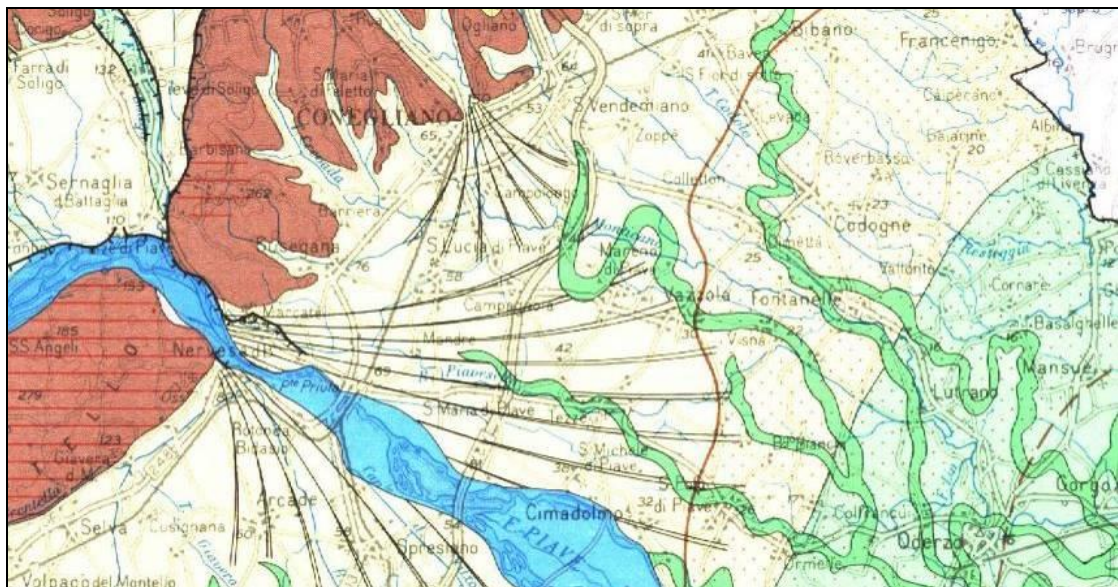
3.1 Inquadramento geologico generale

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

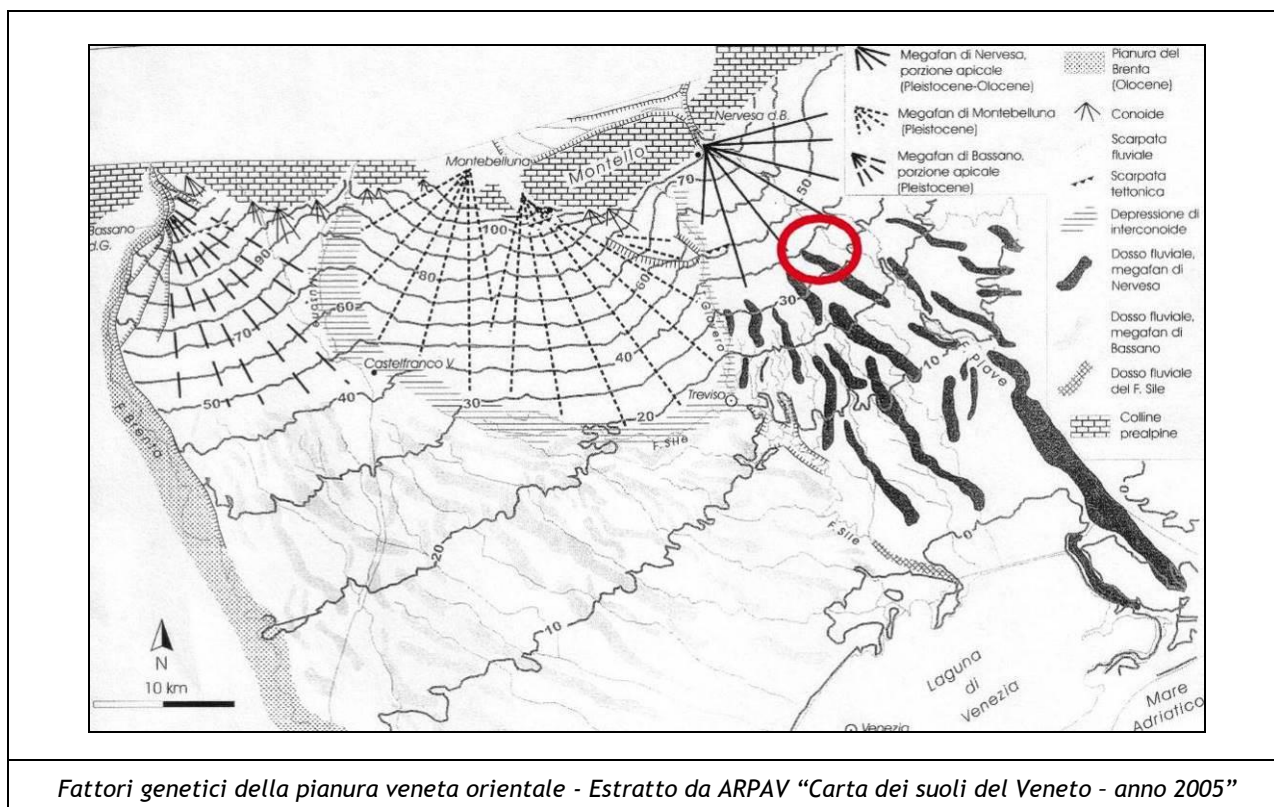
Dal punto di vista **geomorfologico**, il Comune di Santa Lucia di Piave si sviluppa nell'Alta Pianura Trevigiana formata, in età glaciale e postglaciale, dal deposito delle alluvioni grossolane apportate dal Fiume Piave che rappresenta l'attuale elemento idrografico di maggiore importanza assieme al 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.

Le quote altimetriche variano dai 65 metri sul livello del mare nella porzione più occidentale del territorio, ai 45 metri sul livello del mare nella parte più orientale degradano, quindi, in direzione da Ovest verso Est con una pendenza che si mantiene uniforme intorno al 3%. 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 meridionale, dai "Depositi mobili dell'alveo attuale del Fiume Piave". Inoltre, si segnala la presenza di due grandi paleoalvei e di due conoidi fluvio-glaciali pedemontane. Nelle figure seguenti è possibile notare come il territorio in oggetto si posiziona all'interno del *megafan* (grande conoide) di Nervesa e come il suo settore centro - orientale sia interessato dalla presenza dei dossi fluviali legati al medesimo *megafan*.



Carta delle Unità Geomorfologiche - Estratto da: Regione del Veneto - Carta delle Unità Geomorfologiche



Il sottosuolo del territorio in esame è costituito, 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.

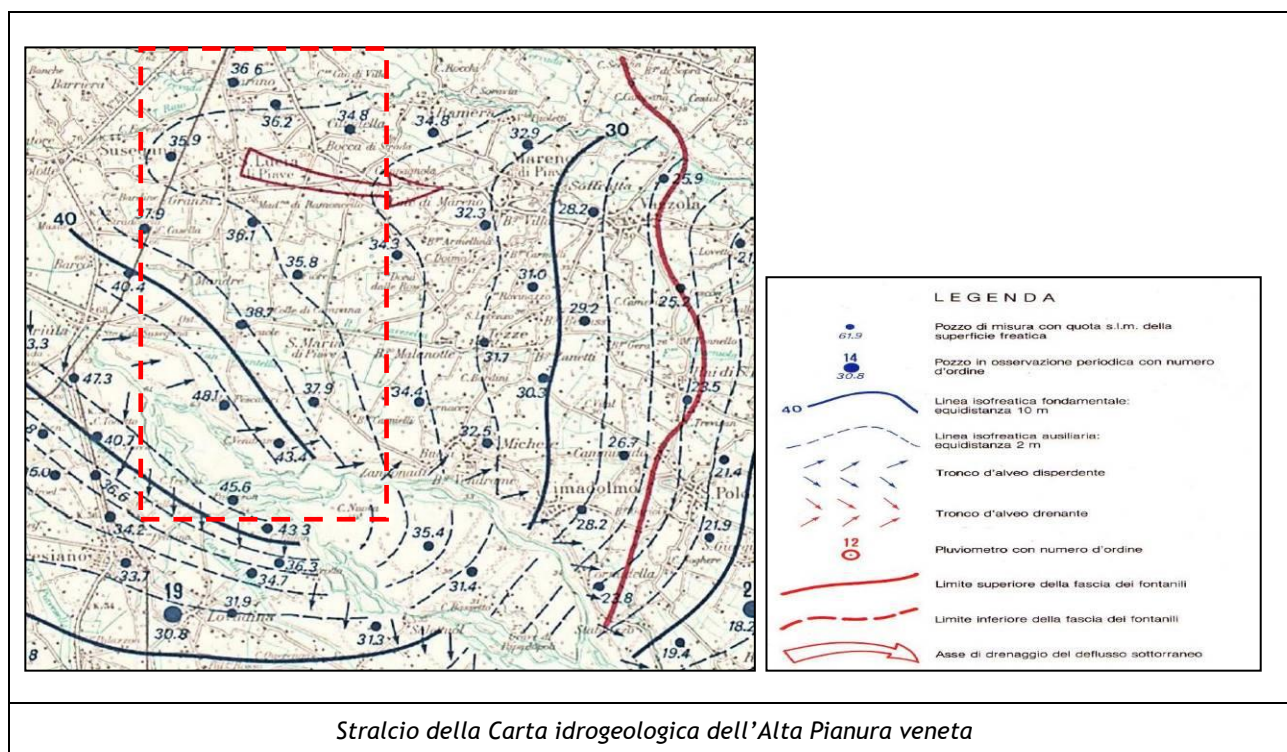
Qui la tranquilla espansione ed il sostare delle acque di piena favorì il deposito di spessori, anche rilevanti, di materiali a granulometria fine: sabbie, limi ed argille. Il tutto terminò con l'intervento dell'uomo che, arginando il Piave (a partire dal 1.200), pose fine all'accumulo di nuove alluvioni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

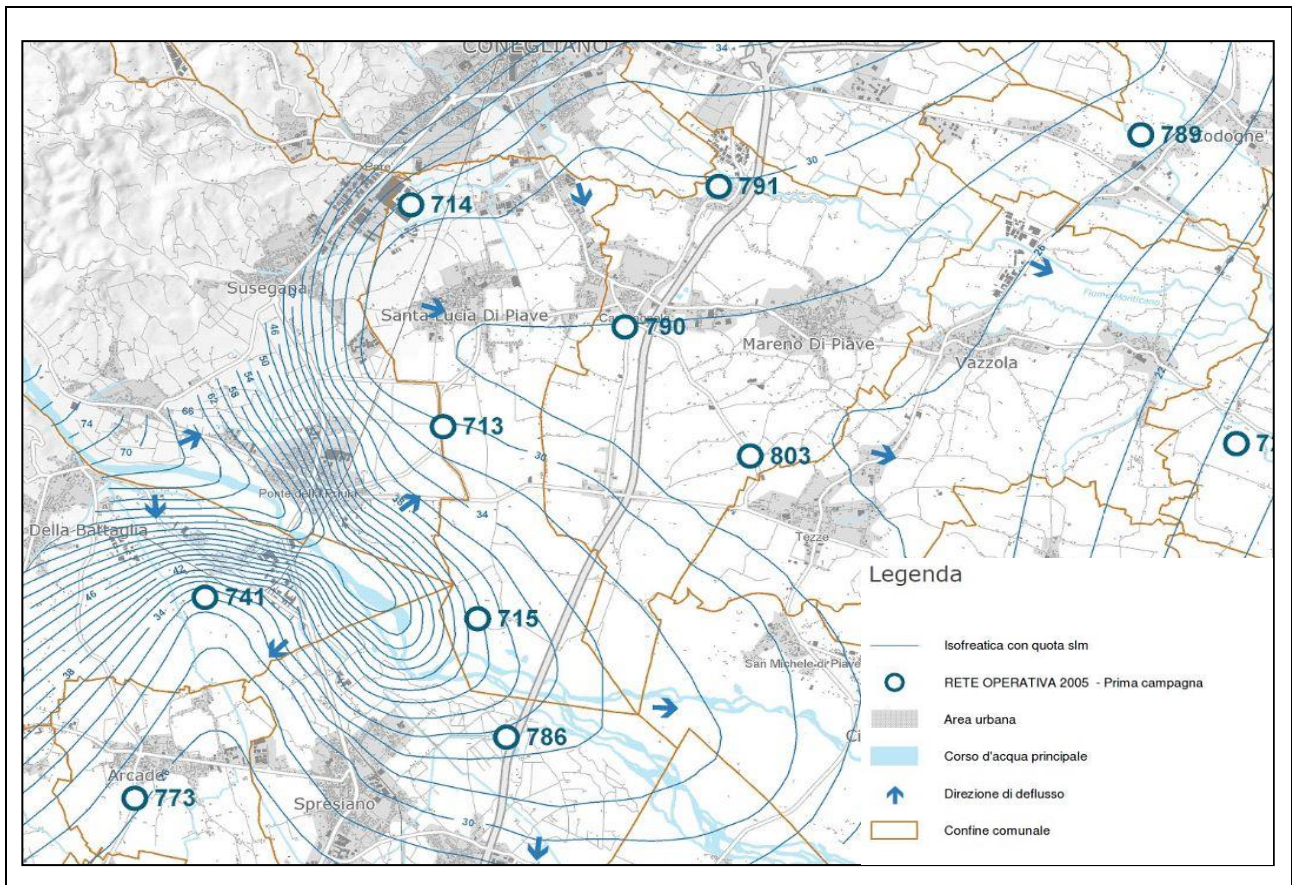
Come indicato nel P.A.T.I. del comune di Santa Lucia di Piave, il territorio viene suddiviso, dal punto di vista **litologico**, in tre fasce longitudinali grossomodo parallele:

- la fascia settentrionale, interessata dal corso del Torrente Crevada e dal fiume Monticano, corrisponde alla zona di deposizione di materiali fini sedimentatisi nella depressione di interconoide. In questa fascia il primo sottosuolo risulta interessato essenzialmente dalla presenza di limi e argille (**L-ALL-05**);
- la fascia centrale occupa circa i tre quarti dell'estensione complessiva del territorio. Essa è definita dalla presenza, nel sottosuolo, di materiali granulari fluviali antichi a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa, legati alla presenza del *megafan* di Nervesa. Ai margini meridionali di questa fascia aumenta la presenza di materiale più fine (sabbie e sabbie - limose) che, seppure legato al medesimo *megafan*, segna il passaggio verso la bassa pianura (**L-ALL-01**);
- la fascia più meridionale è associata all'alveo attuale e recente del Fiume Piave, influenzato dalla mobilità del letto del fiume e dalle esondazioni recenti. Essa è costituita da materiali sciolti a varia granulometria (**L-ALL-04**).

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 multifalde 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. Le oscillazioni della falda risultano importanti e dell'ordine di diversi metri mentre le principali direzioni di deflusso della falda freatica, le quota indicative del livello di falda ed il suo gradiente, sono illustrati nella figura seguente che riporta uno stralcio della carta del Dr. Dal Prà riferita a misure eseguite nel novembre 1975. Una più recente definizione dell'assetto idrogeologico del territorio deriva dalla "Carta freatimetrica provinciale" relativa a rilievi eseguiti nel 2002.





Stralcio della Carta freatimetrica provinciale - deflussi di magra del 2002

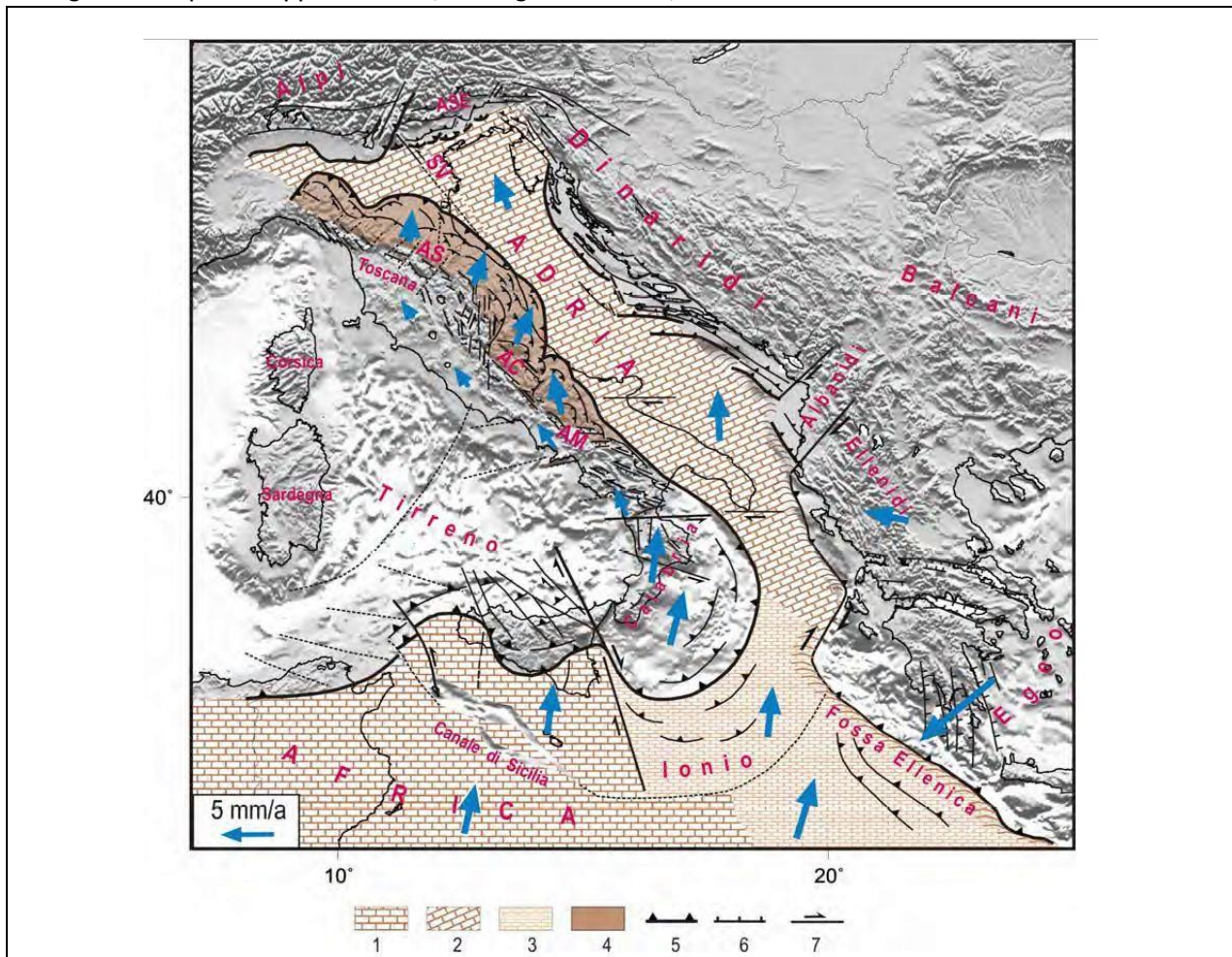
L'andamento delle isofreatiche permette di riconoscere, oltre alla direzione preferenziale di scorrimento, i principali assi di alimentazione e drenaggio del flusso sotterraneo. La direzione di deflusso rileva una marcata variazione sia di direzione che di gradiente a causa dell'influsso esercitato dal complesso e irregolare assetto strutturale (presenza di conoidi e paleoalvei) e dai processi di dispersione in falda del Fiume Piave. Infatti, se a livello provinciale la direzione di deflusso si sviluppa da Nord - Ovest verso Sud - Est, nell'area in oggetto le linee di deflusso freatico vengono deformate fino al limite superiore della fascia delle risorgive e in vicinanza del Fiume Piave.

In relazione alle finalità dello studio di Microzonazione Sismica, nell'area studiata non sono presenti zone potenzialmente suscettibili alla liquefazione poiché il sottosuolo, dalle indagini esaminate, risulta caratterizzato da un materiale prevalentemente ghiaioso e la profondità della falda è generalmente superiore a 15 m dal p.c. locale.

4 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

4.1 Inquadramento sismotettonico generale

Dal punto di vista strutturale, il territorio di Santa Lucia di Piave 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.

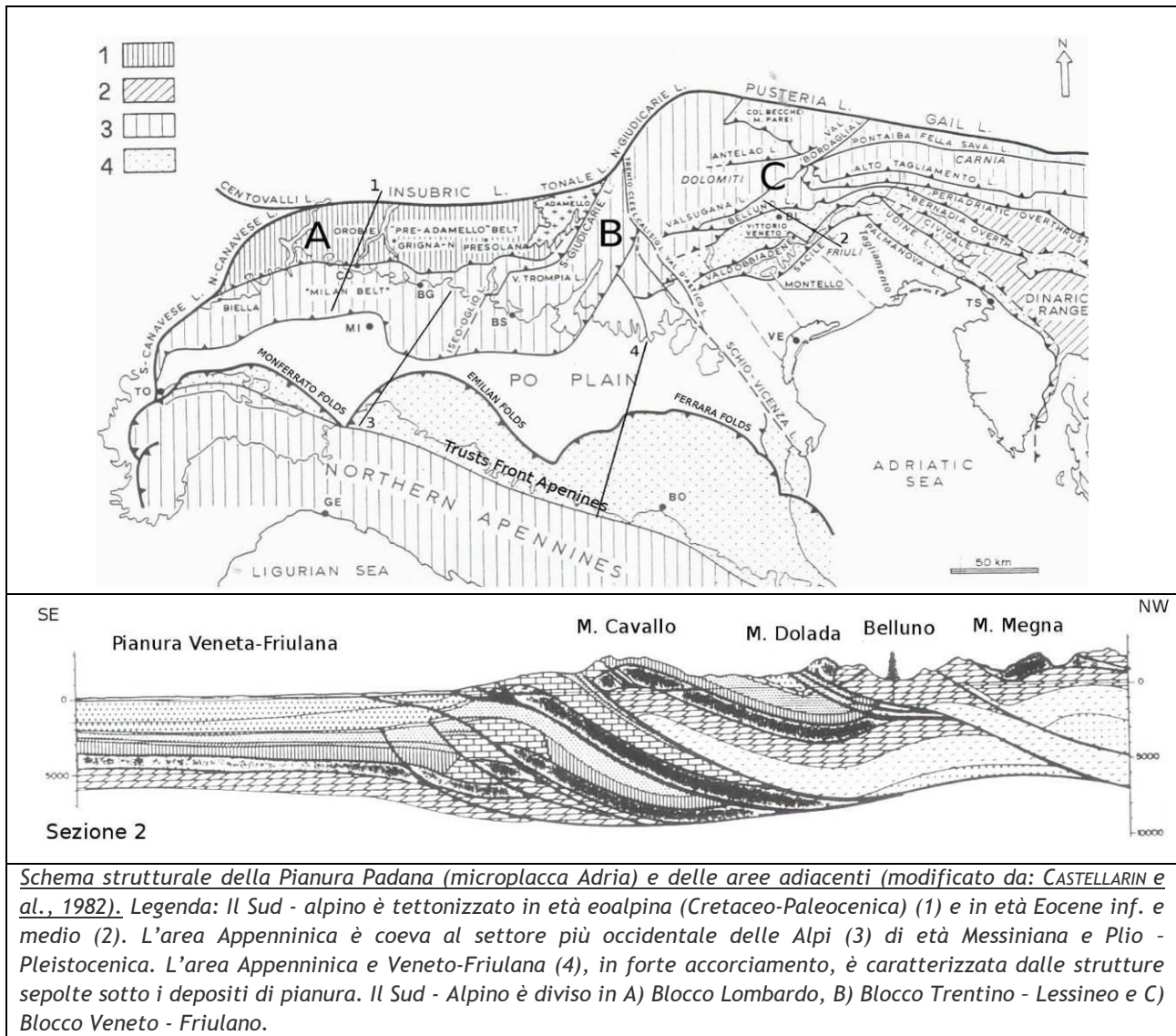


Schema tettonico della penisola italiana. Legenda: 1- Placca Africana con crosta continentale; 2- Microplacca Adria con crosta continentale; 3- Area di transizione tra Placca Africana e Microplacca Adria; 4- Catena Appenninica (AS: Appennino Settentrionale; AC: Appennino Centrale; AM: Appennino Meridionale); 5- Fronte della catena Appenninica; 6- Faglie normali; 7- Faglie trascorrenti (SV: Linea Schio-Vicenza); ASE: Alpi Meridionali Orientali. La lunghezza della freccia blue è proporzionale alla velocità di movimento della placca.

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 Dinarica a Est (Merlini e al., 2002).

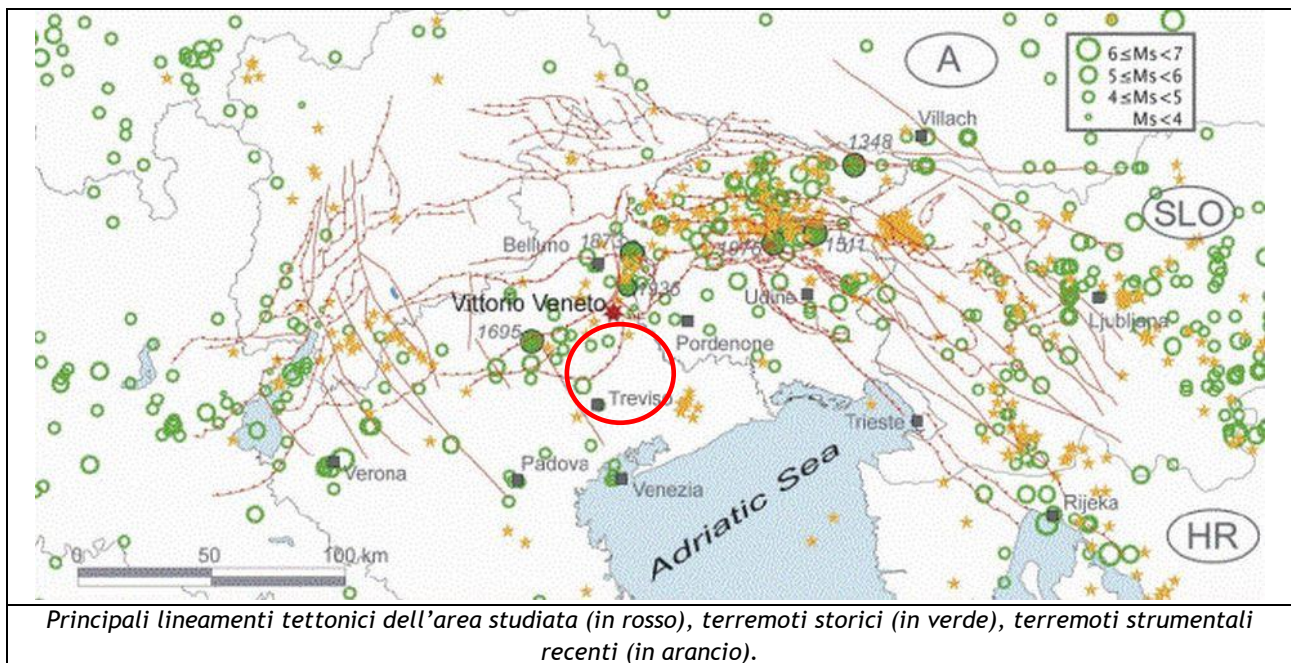


Dallo studio della distribuzione dei meccanismi focali si è ricavato l'assetto dell'ellissoide dello stress tettonico in termini di direzione di massima compressione e distensione, questo al fine di definire l'interazione tettonica attuale tra la placca Europea e quella Adria, responsabile degli ultimi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

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

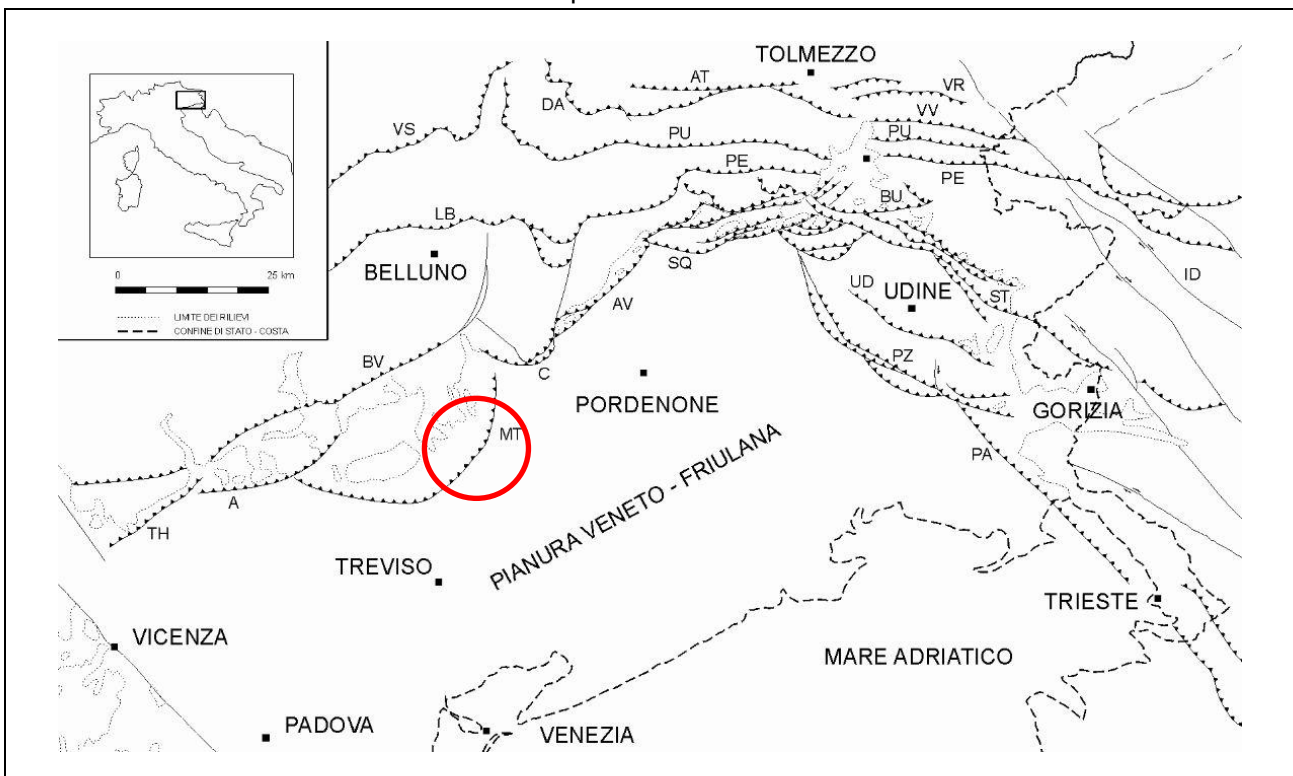
L'area studiata è situata a cavallo del fronte pliocenico - quaternario della catena Sud - Alpina Orientale, in corrispondenza del passaggio fra i rilievi prealpini e l'Alta Pianura Veneto - Friulana. Secondo i cataloghi più recenti la sismicità massima dell'area raggiunge magnitudo comprese fra 6 e 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.



Schema strutturale semplificato del Sud - Alpino Orientale. Legenda: A: sovrascorrimento Asolo - Cornuda; AT: linea dell'Alto Tagliamento; AV: s. di Aviano; BV: s. Bassano - Valdobbiadene; BU: s. di Buia; C: s. di Caneva; DA: s. Dof - Auda; ID: l. di Idria; LB: l. di Belluno; MT: s. Montello - Conegliano; PA: s. di Palmanova; PE: s. periadriatico; PU: s. Pinedo - Uccia; PZ: s. di Pozzuolo; SQ: s. di Sequals; ST: s. Susans - Tricesimo; TH: s. Thiene - Bassano; UD: s. di Udine; VR: s. della Val Resia; VV: s. della Val Venzonassa.

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 medio - bassa, 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:

- ✓ Treviso, 778 d.C.
- ✓ Verona, 1117 d.C.
- ✓ Asolo, 25 febbraio 1695
- ✓ Alpago, 29/06/1873 e 18/10/1936

Nel dettaglio, i principali terremoti verificatisi in prossimità dell’area in studio, sono i seguenti.

Terremoto di Asolo del 1695

anno	Data (gg.mm.)	Località epicentrale	Intensità epicentrale (MCS)	Magnitudo stimata
1695	25.02	Asolo	9,5	6,5
<ul style="list-style-type: none">✓ I morti furono circa 69✓ Le massime distruzioni si ebbero lungo l’allineamento Castelcies - Costalunga - Castalcucco (Valcavasia centrale)				

Terremoto del Bellunese del 1873

anno	Data (gg.mm.)	Località epicentrale	Intensità epicentrale (MCS)	Magnitudo stimata
1873	29.06	Bellunese	10	6,3
<ul style="list-style-type: none">✓ Le vittime furono 30 nell’Alpago e complessivamente una quarantina in provincia di Belluno✓ Le zone maggiormente colpite furono l’Alpago (basso Bellunese), la Val Lapisina e la fascia collinare che procede da Vittorio Veneto a Montereale				

Terremoto del Bosco del Cansiglio del 1936

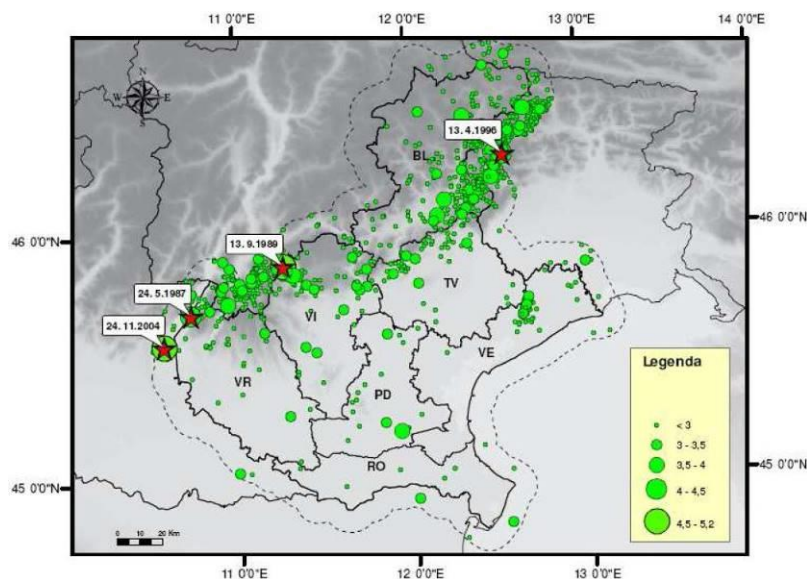
anno	Data (gg.mm.)	Località epicentrale	Intensità epicentrale (MCS)	Magnitudo stimata
1936	18.10	Bosco Cansiglio	9	6,1
<ul style="list-style-type: none">✓ Non vennero registrate vittime✓ Le zone maggiormente colpite furono i borghi al piede del Cansiglio da Ceneda (Vittorio Veneto) a Stevenà				

Nel periodo 1977 - 2006, la rete gestita dall’OGS - Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste ha 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 ed 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 M_D ¹. Gli eventi con $M_D > 4$, 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:

- ✓ 24/05/1987 - Garda - $M_D = 4,2$
- ✓ 13/09/1989 - Pasubio - $M_D = 4,8$
- ✓ 13/04/1996 - Claut - $M_D = 4,2$
- ✓ 24/11/2004 - Salò - $M_D = 5,2$

La ricostruzione storica degli eventi sismici che hanno caratterizzato il territorio comunale di Santa Lucia di Piave è stata fatta utilizzando il database macrosismico italiano DBMI11 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, 2011. *DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>): rispetto al precedente DBMI04, raccomandato nelle linee guida della Regione Veneto per la realizzazione dello studio della compatibilità sismica, il DBMI11 ne rappresenta l'integrazione e l'aggiornamento, per cui è stato consultato per estrarre le seguenti informazioni.

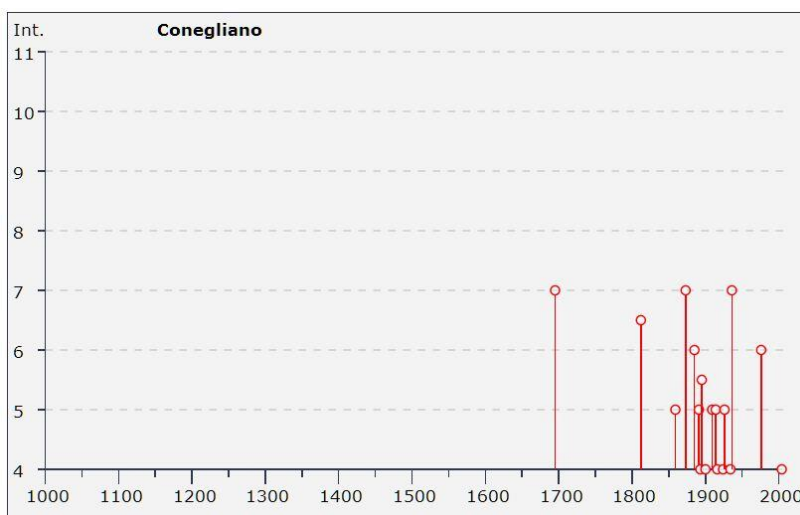
Si ritiene importante precisare che, il territorio di Santa Lucia di Piave non compare tra i comuni disponibili nel database sopra menzionato mentre al comune di Conegliano risultano associati molti eventi sismici. Visto che il comune di Santa Lucia di Piave confina interamente, nella parte settentrionale, con il comune di Conegliano si è deciso di utilizzare i dati disponibili per il comune limitrofo.

In particolare, sono presenti **31 eventi sismici**, con particolari intensità registrate nei terremoti del 1695 (Asolano), del 1812 (SEQUALS), del 1873 (Bellunese), del 1885 (Vittorio Veneto), del 1936 (Bosco Cansiglio) e del 1976 (Friuli). Nella tabella seguente, sono elencati i vari eventi registrati con indicati, oltre alla intensità in scala MCS al sito in esame (I_s), la data (Anno, Mese, Giorno, Ora, Minuto) in cui si è verificato l'evento A_x , l'intensità massima epicentrale in scala MCS (I_o) e la magnitudo momento (M_w).

¹ La magnitudo di durata M_D è il tipo di magnitudo che si utilizza per registrare piccoli terremoti, come quelli registrati in zona vulcanica che, vicini agli strumenti, li saturano. Si basa sul logaritmo della durata dell'evento sismico

Numero di eventi: 31				
Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
7	1695 02 25 05:30	Asolano	82	10 6.48 ±0.18
6-7	1812 10 25 07:00	SEQUALS	34	7-8 5.71 ±0.35
5	1859 01 20 07:55	COLLALTO	36	6 4.98 ±0.32
7	1873 06 29 03:58	Bellunese	199	9-10 6.32 ±0.11
3	1879 06 22 04:15	TARCENTO	16	5-6 4.79 ±0.24
6	1885 12 29	VITTORIO VENETO	47	6 5.18 ±0.19
F	1890 03 26 20:10	CADORE	48	6 4.96 ±0.38
5	1891 06 07 01:06	Valle d'Illasi	403	8-9 5.86 ±0.06
3	1892 08 09 07:58	Valle d'Alpone	160	6-7 4.91 ±0.11
4	1893 10 27 16:31	LONGARONE	54	5 4.60 ±0.26
F	1894 02 09 12:48	Valle d'Illasi	116	6 4.77 ±0.15
5-6	1895 04 14 22:17	Slovenia	296	8 6.23 ±0.08
4	1900 03 04 16:55	VALDOBBIADENE	98	6-7 5.13 ±0.14
5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09
5	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09
2	1916 05 17 12:49	Alto Adriatico	132	5.95 ±0.14
4	1916 08 16 07:06	Alto Adriatico	257	6.14 ±0.14
4	1924 12 12 03:29	Carnia	78	7 5.38 ±0.19
5	1926 01 01 18:04	Slovenia	63	7-8 5.85 ±0.18
3-4	1930 05 14 00:01	AURONZO	15	5-6 4.97 ±0.27
3	1930 10 30 07:13	SENIGALLIA	263	8 5.81 ±0.09
2-3	1931 12 25 11:41	TARCENTO	45	7 5.21 ±0.20
4	1934 05 04 13:56	Carnia	80	6 4.85 ±0.19
7	1936 10 18 03:10	BOSCO CANSIGLIO	267	9 6.12 ±0.09
2	1938 07 07 07:48	CELLINA	7	5 4.91 ±0.31
3	1952 01 18 01:36	POLCENIGO	108	5 4.57 ±0.18
6	1976 05 06 20:00	Friuli	770	9-10 6.46 ±0.09
NF	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
3	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
3	1998 04 12 10:55	Slovenia	227	5.66 ±0.09
4	2004 07 12 13:04	Alpi Giulie	366	5.19 ±0.09

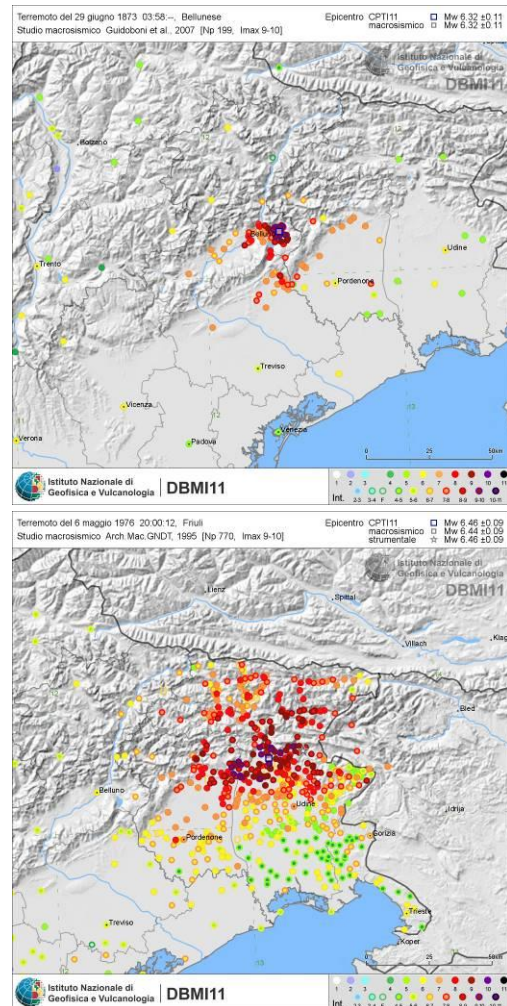
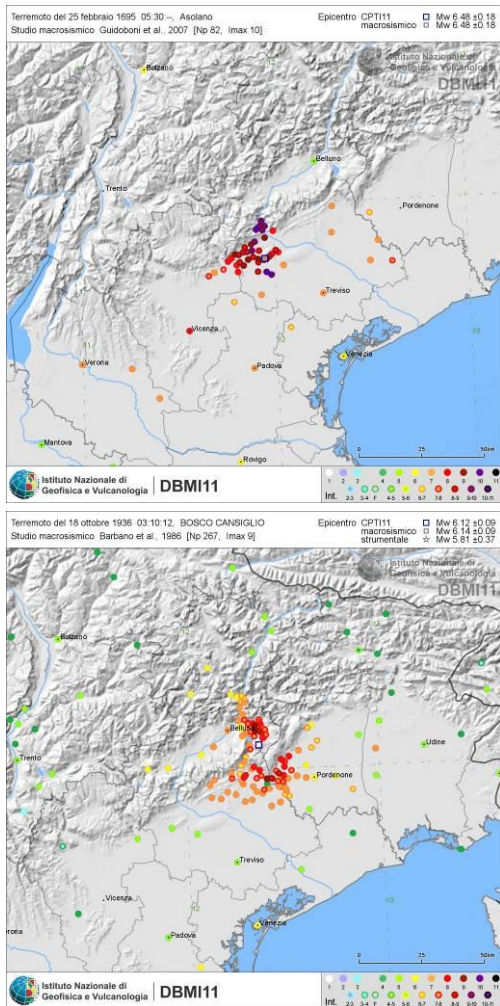
Il grafico seguente riporta la storia sismica di Conegliano (per terremoti con intensità al sito superiore a 4) tra gli anni 1000 e fino al 2006.



L'evento registrato il giorno 6 maggio dell'anno 1976 risulta essere tra i più forti eventi riportati nei cataloghi della sismicità storica italiana, anche se nel Comune di Santa Lucia di Piave è stato avvertito in modo minore rispetto al terremoto del 1936, avvenuto nelle vicinanze dell'area.

Secondo i cataloghi oggi disponibili (CPTI11, Guidoboni et al., 2007) la magnitudo M_w del 1976 sarebbe stata pari a 6,46 e, a Conegliano, si sarebbe avvertito con un'intensità MCS pari a 6, mentre l'evento del 1936, con magnitudo M_w pari a 6,12 è stato segnalato con I (MCS) pari a 7, analogamente al terremoto del 1873 del Bellunese (M_w pari a 6,32 e I (MCS) pari a 7) e del 1695 delle terre asolane (M_w pari a 6,48 e I (MCS) pari a 7).



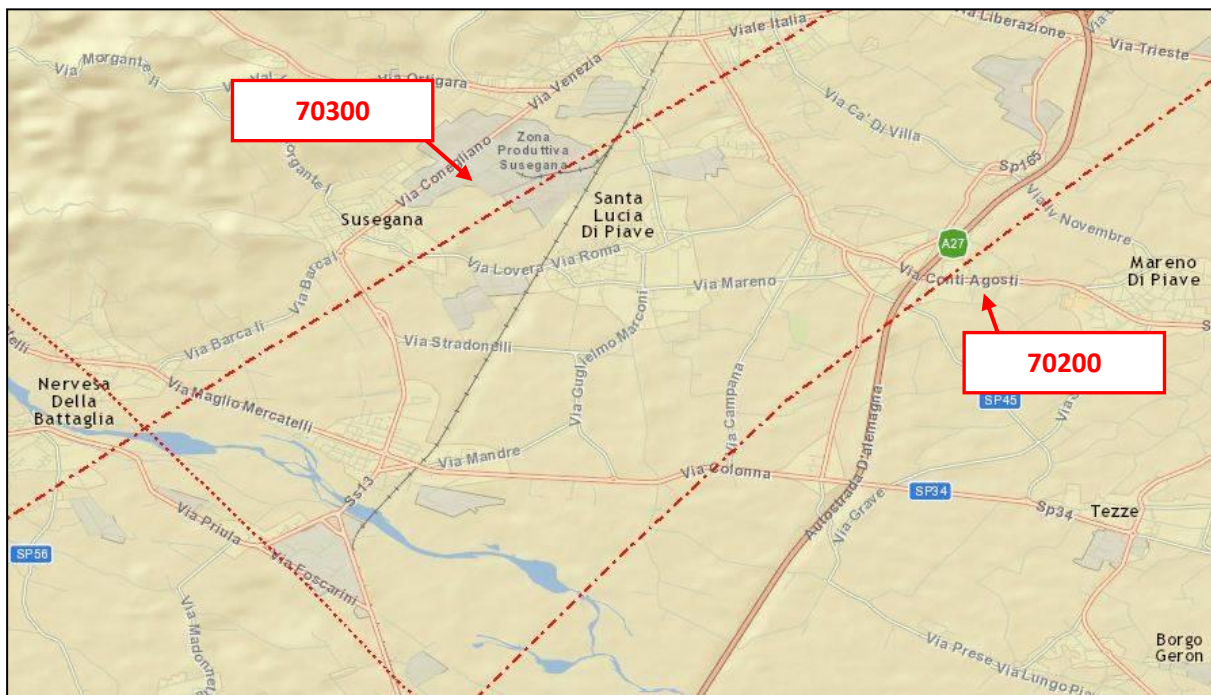


4.4 Faglie capaci e sorgenti sismogenetiche

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 Santa Lucia di Piave, si è fatto riferimento agli studi condotti dagli esperti scientifici e riportati 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 individuare, nel territorio in esame, una serie di faglie inverse, ubicabili indicativamente come nelle figure sotto riportate.





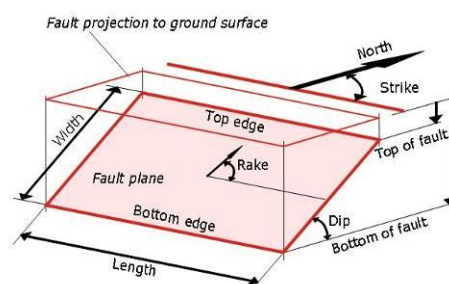
Il comune di Santa Lucia di Piave è interessato da n°2 faglie inverse (Cod. 70200 e Cod. 70300): nella tabella sottostante sono state riportate le informazioni desunte dalle schede specifiche ITHACA di tali lineamenti.

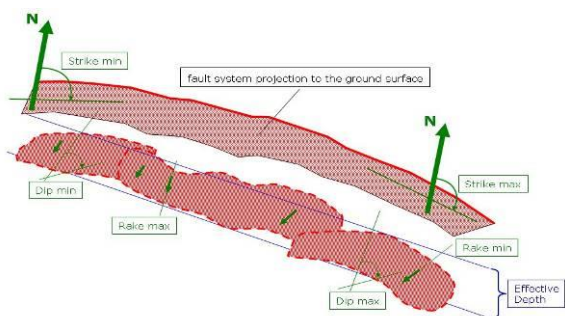
Nome faglia	Sacile Line	Montello Line
Tipo Faglia	Inversa	Inversa
Codice faglia	70200	70300
Macrozona	2	2
Regione	Veneto	Veneto
Sistema	Sacile Line	Montello Line
Ordine	Primaria	Primaria
Direzione media	225	240
Immersione	0	0
Lunghezza (km)	30	80
Profondità (km)	0	0
Ultima attività (anni)	Olocene generico (< 10.000)	Olocene generico (< 10.000)
Affidabilità dato sull'attività	Media	Media
Intervallo ricorrente (anni)	0	750
Velocità di slittamento (mm/anno)	0.06 mm/anno	1.9 mm/anno
Massima lunghezza attesa di rottura	0	1000
Massimo scivolamento atteso (m)	0	2000000
Massima magnitudo prevista (Mw)	-	6
Qualità dello studio	Discreto	Discreto

17

La mappa dell'I.N.G.V. riportata sotto, denominata **DISS 3.2.0 (Database of Individual Seismogenic Sources - DISS Version 3)**, mostra tre tipologie di sorgenti sismogenetiche.

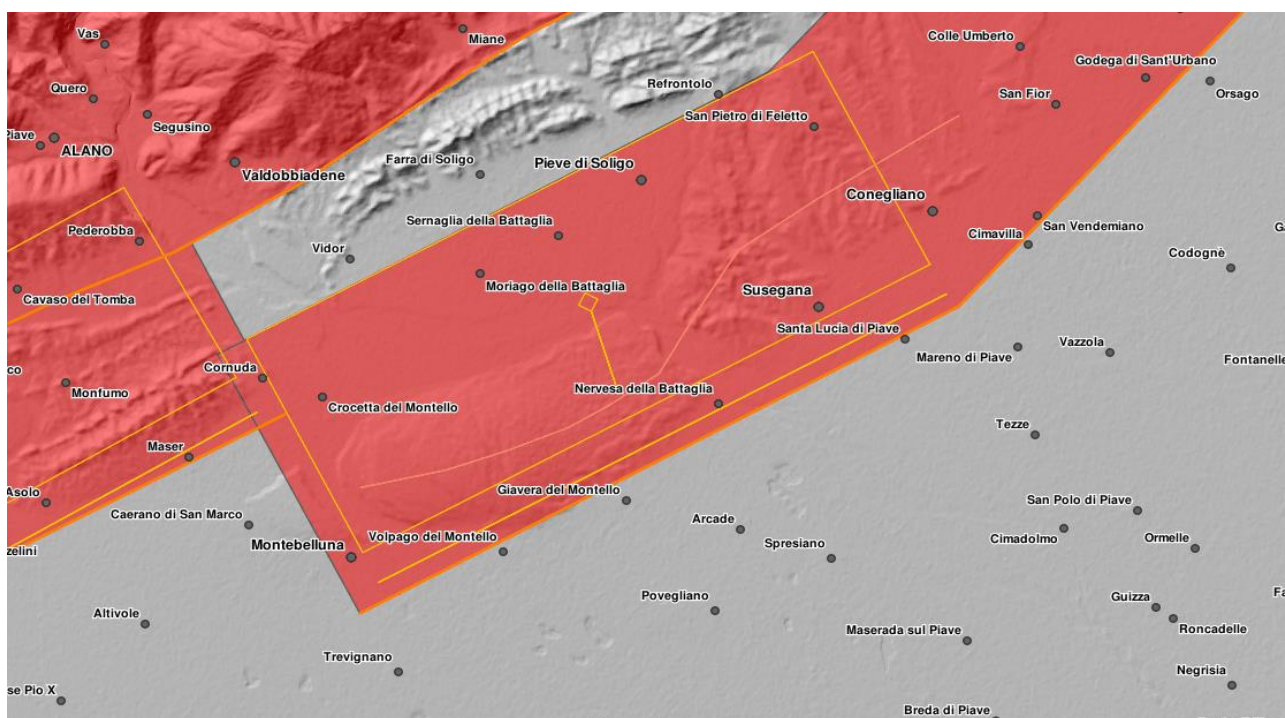
Sorgenti individuali (IS): per le quali viene proposta una rappresentazione tridimensionale semplificata del piano di faglia. Questo tipo di sorgente esibisce caratteristiche definite di estensione, movimento e massima magnitudo attesa.





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 ad 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 inserisce il Comune di Santa Lucia di Piave tra le zone ITCS 060 “Montebelluna - Montereale” ed ITIS 101 “Montello”.

La Zona ITCS 060 “Montebelluna - Montereale” schematizza un’area estesa contenente un numero non specificato di sorgenti minori allineate, che non sono ancora conosciute singolarmente e non sono associate ad 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

Invece, la zona ITIS 101 “Montello” propone una rappresentazione tridimensionale semplificata del piano di faglia ed esibisce caratteristiche definite di estensione, movimento e massima magnitudo attesa. La zona è caratterizzato dalla presenza del *thrust* di Montello - Conegliano, la più importante struttura della catena Sud - Alpina Orientale; i dati strutturali e le evidenze geologiche di superficie mostrano che il *thrust* del Montello - Conegliano continua ad Est con il *thrust* del Cansiglio. La direzione della faglia è circa parallela all’asse delle anticlinali del Montello e del Cansiglio e la magnitudo massima associata (M_w 6,5) è quella relativa al massimo evento rilevato.

Lunghezza (km)	22
Larghezza (km)	11,2
Minima profondità (km)	1
Massima profondità (km)	8,2
Direzione (°)	242
Inclinazione (°)	40
Rake (°)	80
Velocità di movimento (mm/anno)	0,47 - 1,56
Tempo di ritorno (anni)	513 - 1702
Magnitudo massima	6,5

Altri dati, inerenti la sismicità dell’area, si possono ottenere dall’analisi di lavori riguardanti l’evoluzione neotettonica dell’Italia Nord - Orientale e, in particolare:

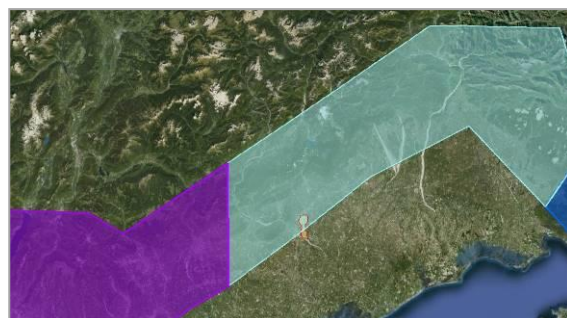
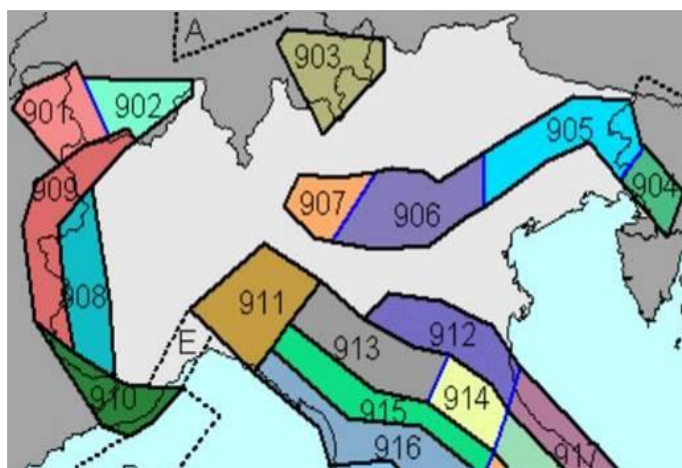
- Saccardo (1885) è il primo autore a descrivere e mappare le superfici piane che si trovano sulla terminazione occidentale dell’anticlinale del Montello in prossimità della città di Biadene. Queste superfici sono stata interpretate da Stella (1902) e Toniolo (1907) come terrazzi tagliati dal Fiume Piave durante i vari cicli di erosione.
- Abrami and Massari (1968) and Venzo et al. (1977) hanno sostenuto che i terrazzi più profondi del Montello si sono formati durante la massima glaciazione Mindel. Inoltre, hanno appoggiato l’idea della non planarità delle superfici (andamento leggermente convesso verso il basso) e l’inclinazione delle sezioni settentrionali verso Nord. Queste interpretazioni hanno portato alla conclusione del sollevamento tettonico dell’anticlinale del Montello.
- Zanferrari et al. (1982) hanno riassunto le osservazioni fatte dai ricercatori del progetto “Neotectonics” (C.N.R. Progetto Finalizzato Geodinamica) e sviluppato uno scenario di neotettonica, descrivendo l’evoluzione di tutto il Nord Est Italia durante il periodo Pliocene - Quaternario.
- Castiglioni et al (1988) hanno presentato un’elaborazione quantitativa dei parametri geometrici delle cavità carsiche presenti sui terrazzi del paleoalveo di Biadene. Secondo tali osservazioni, la formazione del terrazzo è l’effetto dell’innalzamento dell’anticlinale del Montello.
- De Martini et al. (1997) hanno studiato la geomorfologia del Montello concentrandosi sulla deviazione del Fiume Piave, sui paleoalvei abbandonati e sul sollevamento dei terrazzi. Hanno inoltre studiato i cambiamenti di quota di misure successive di livellamento verificando l’attività dinamica dell’anticlinale. Suggestarono, inoltre, la corrispondenza tra deviazioni fluviali del Fiume Piave e intense attività telluriche (M_w 6,2-6,5).
- Galadini et al. (2005) hanno condotto osservazioni strutturali e geomorfologiche sulla base di interpretazioni di un fitto reticolo di profili sismici. Hanno definito la geometria 3-D di 10 sorgenti sismogenetiche in grado di generare terremoti di magnitudo superiore a 6 nella Pianura Veneto - Friulana. Essi hanno associato alcuni *thrust* con terremoti storici, basandosi principalmente sulla distribuzione dei punti di massima intensità rispetto alla posizione della sorgente. Non hanno associato terremoti storici al movimento del Montello ma, da osservazioni geologiche / geomorfologiche, ne hanno stimato uno spostamento verticale compreso tra 0,3 e 1,0 mm / anno. Gli autori sottolineano che il *thrust* del Montello è un segmento della linea più lunga di Aviano che

presenta un'evidente attività sismica. Propongono, inoltre, di rappresentare la spinta del Montello come una singola sorgente sismogenetica, denominata Montello - Conegliano.

- Poli et al. (2006) hanno presentato una versione aggiornata del lavoro di Galadini et al. (2006) aggiornando la compilazione delle sorgenti sismogenetiche che interessano il Nord - Est Italia.
- Burrato et al. (2008) hanno presentato una panoramica delle sorgenti sismogenetiche del Nord - Est Italia e Slovenia Occidentale, inclusa nella versione 3.0.2 del DISS, descrivendo il metodo e i dati utilizzati per la loro identificazione e caratterizzazione. Secondo i dati riportati nel DISS, nell'area Veneto - Friulana si possono presentare terremoti distruttivi con magnitudo massima pari a 6,6 Mw.

Nella definizione della pericolosità sismica nazionale, i terremoti storici dell'area in esame sono stati considerati con l'introduzione della **zona sismogenetica n. 905**. Infatti, secondo la Zonazione Sismogenetica ZS 9 (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 ed il confine con il Friuli Venezia Giulia e la fascia pedemontana che, da Bassano del Grappa, 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.

Il Comune di Santa Lucia di Piave si inserisce nella zona sismogenetica n. 905 della figura seguente, per cui si sviluppa all'interno di un'area sismicamente interessante, come del resto denota l'elevata pericolosità sismica definita per il territorio in esame.

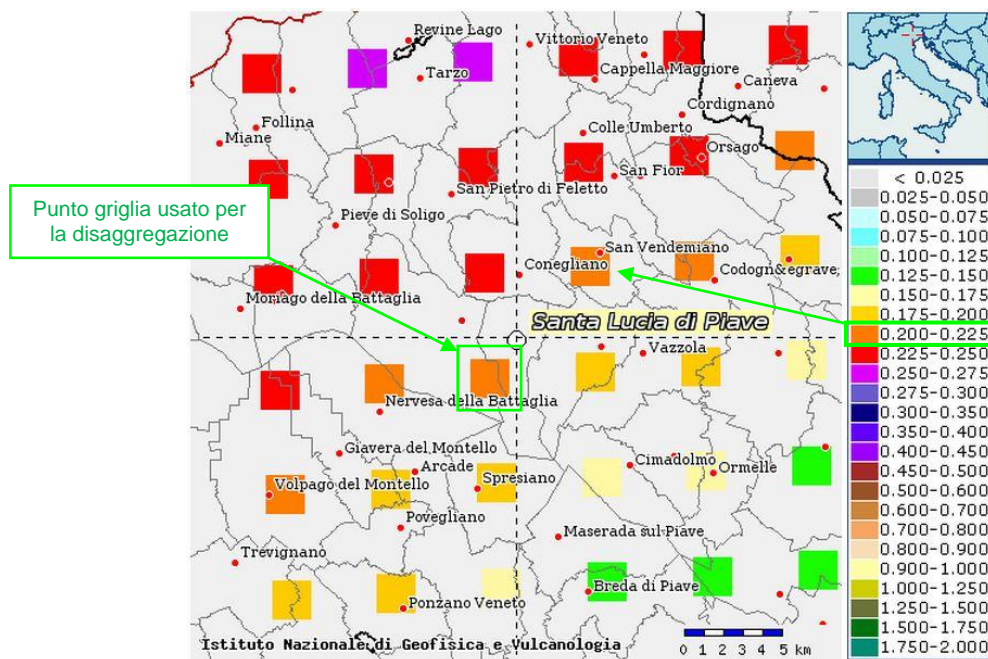


Carta delle zone sismogenetiche ZS 9 (Meletti e Valensise, marzo 2004) con indicata in giallo la posizione di Santa Lucia di Piave nella zona 905

4.5 Pericolosità sismica di riferimento

La distribuzione e 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 aprile 2006.

Nella carta, della quale la figura seguente ne rappresenta l'estratto per il Comune di Santa Lucia di Piave, sono riportati i valori di accelerazione orizzontale massima al suolo a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi sub - pianeggianti di Categoria A.



Carta di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli di Categoria A ($V_{s,30} > 800$ m/s) sub - pianeggianti (Categoria Topografica T1 da N.T.C. 2008)

Pertanto, secondo l’O.P.C.M. n. 3519 del 28 Aprile 2006, la cui applicazione è stata definita dalla Regione Veneto con D.G.R.V. n. 71 del 22 Gennaio 2008 e considerata nell’emanazione del D.M. 14 Gennaio 2008, il territorio oggetto dello studio di MS è inseribile generalmente nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g , riferito a suoli rigidi e sub - pianeggianti, compreso tra **0,200g** e **0,225g** (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. Si discosta leggermente la porzione meridionale del territorio comunale, posta a cavallo della fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g , riferito a suoli rigidi e sub - pianeggianti, compreso tra **0,175g** e **0,200g** (Zona 2).

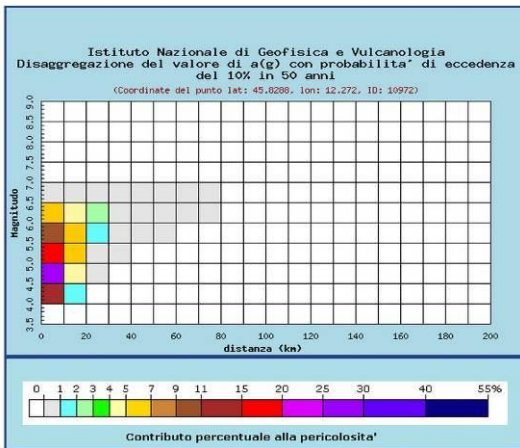
a) Ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s, secondo lo schema seguente:

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

Per gli aspetti amministrativi, Santa Lucia di Piave rientra nella Zona 2, come classificato nell’elenco (allegato I) della Delibera di Consiglio Regionale n. 67/03 (cfr. D.G.R.V. n. 71 del 22 Gennaio 2008).

In ultima, 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’I.N.G.V. e sono relativi al punto della griglia definito nella figura precedente (Carta di pericolosità sismica dell’I.N.G.V.).



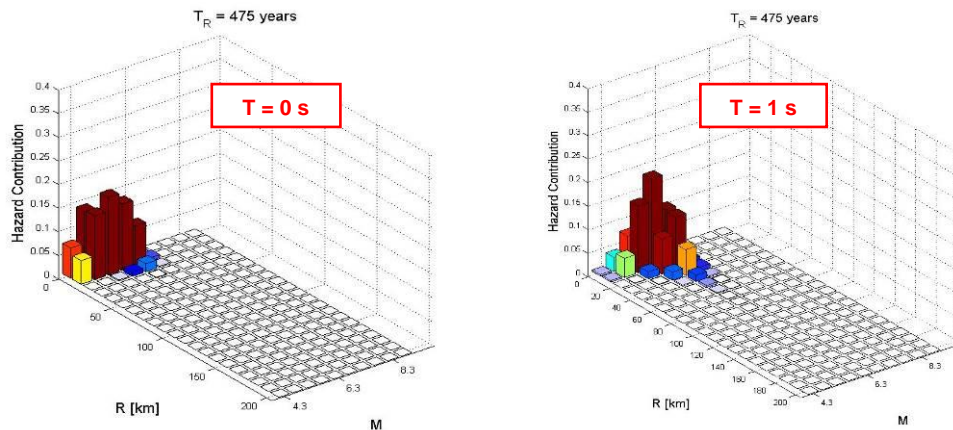


Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.8288, lon: 12.272, ID: 10972)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	11.700	25.100	17.500	10.500	5.450	0.680	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	1.010	4.190	5.730	5.870	4.800	0.773	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.145	0.930	1.730	2.110	0.422	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.041	0.328	0.595	0.138	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.123	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	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

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.240	8.210	0.723

La stessa verifica è stata eseguita per le stesse coordinate di riferimento utilizzando Rexel v 3.5 (Beta) che ha permesso di disaggregare la pericolosità per due ordinate spettrali in termini di PGA ($T = 0$ s) e di S_a ($T = 1$ s), come nelle immagini seguenti.

Analogamente alla ricostruzione dell'INGV riportata sopra, considerando lo stesso tempo di ritorno ($T_r = 475$ anni) ed 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 M_w compresa tra 4,5 e 6,5 e relativamente vicini ($R =$ entro 15 km).



Si fa comunque presente che, come tutte le zone sismogenetiche del territorio italiano, anche quella contrassegnata al 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 e, in rapporto agli epicentri noti, non esiste quindi l'effetto distanza. Secondo il Par. 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 905, in cui ricade il territorio di Santa Lucia di Piave, 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 FINALITA'

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 ed 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", sono ormai ben conosciuti e possono amplificare notevolmente le sollecitazioni nelle strutture (di entità tale da portarle fino al collasso) od 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 '70, 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 Microzonazione Sismica (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 aversi solo “effetti di sito” (stratigrafici, di valle, topografici);

EFFETTI DI SITO

➤ Qualunque sia l'effetto locale analizzato è necessario valutare preliminarmente gli 'Effetti di sito' ('Risposta Sismica Locale'), ovvero le **modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza** del moto sismico rispetto al *moto di riferimento su affioramento rigido pianeggiante*

➤ Si distinguono 3 tipi principali di effetti:

1. **effetti stratigrafici** (monodimensionali, 1D)
2. **effetti di valle** (bi-tridimensionali, 2D-3D)
3. **effetti topografici** (bi-tridimensionali, 2D-3D)



- **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.

A tal proposito, per la mitigazione del rischio sismico a scala locale, la finalità di uno studio di MS è, pertanto, quello di pervenire alla stesura di una mappa, dove:

- siano identificati i confini delle zone con analogo risposta al terremoto di riferimento;
- vengano indicati i livelli di pericolosità delle diverse zone attraverso opportuni indicatori.

La mappa di MS diventa, quindi, una cartografia di sintesi che identifica il tipo di problemi e le gerarchie di pericolosità tra le diverse aree; nel caso di Santa Lucia di Piave, tali informazioni serviranno a fornire all'Amministrazione Comunale uno strumento utile per la futura programmazione territoriale, la pianificazione urbanistica e la gestione delle emergenze, nonché per un eventuale ricostruzione post-sismica.

Si fa presente che la MS è legata alla gestione del territorio ed alla pianificazione urbanistica e non al progetto delle strutture.

5.3 Finalità e livelli di approfondimento

La MS ha lo scopo di riconoscere a una scala sufficientemente grande (comunale o sub-comunale) le condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso in termini di ampiezza, durata e frequenza o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture. Essa si 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.

25

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 1 e Livello 3 di approfondimento come previsto dagli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica della Protezione Civile" e dalle Linee Guida Regionali.

Come detto in premessa è stato eseguito un approfondimento quantitativo della risposta sismica locale, misurando le frequenze di vibrazione del sottosuolo secondo una maglia rappresentativa dell'intero territorio comunale e valutando le velocità di propagazione delle onde di taglio Vs.



6 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI DA INDAGINI PREGRESSE E DI NUOVA REALIZZAZIONE

6.1 Indagini pregresse

Durante la realizzazione dello studio di MS di Livello 1 sono state messe a disposizione alcune indagini geotecniche e /o geofisiche a supporto della progettazione di opere civili, quelle archiviate nel PATI comunale e sono state analizzati i pozzi presenti nel Geo-portale dell'ISPRA. Le indagini ritenute più significative, dal punto di vista geo - sismico, sono state opportunamente schedate ed allegate.

Sempre durante lo studio di MS di Livello 1, sono state condotte alcune misure geofisiche in prossimità dei punti ritenuti più significativi escludendo, come previsto dalla Protezione Civile, le Zone SIC e ZPS che, nel territorio in esame, occupano la parte meridionale del Comune (alveo mobile del Fiume Piave).

In particolare, sono state effettuate:

- **n°27 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor)** sviluppate in *array lineari* con n°16 geofoni ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo tramite la misura della velocità di propagazione delle onde S;
- **n°28 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.

6.2 Metodologia di elaborazione delle indagini

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

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità, ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste 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 classificato 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, attraverso lo spettro, di localizzare la densità di energia maggiore, alla quale sono di solito associate le onde di Rayleigh. Con procedura manuale vengono selezionati dei punti sullo spettro, che andranno a formare la curva di dispersione sperimentale.

La scelta di questi valori, denominata *picking*, è condizionata da alcune indicazioni ma è imprescindibile dall'abilità e dall'esperienza dell'interprete anche in base ad altre conoscenze in merito al sito in esame.

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.6.2 - 2012*.

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 ed una estrema leggerezza. La spaziatura utilizzata tra i geofoni è stata di 2 m o 3 m, quindi la lunghezza complessiva del profilo è risultata essere rispettivamente di 30 m o di 45 m. Tutti gli stendimenti eseguiti non presentavano sostanziali variazioni di quota e, quindi, i siti indagati sono stati considerati a sviluppo orizzontale.



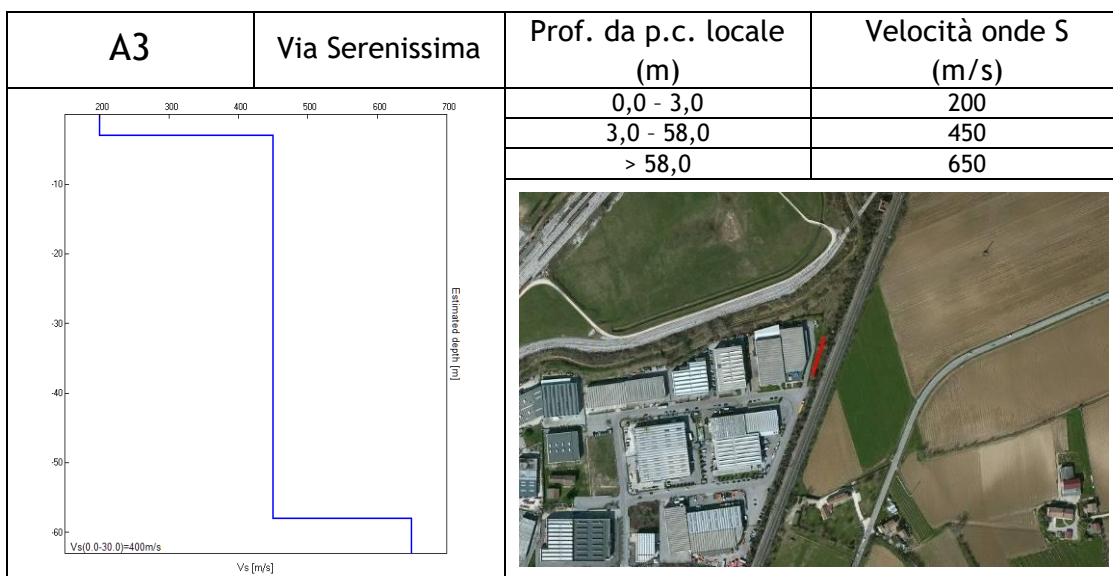
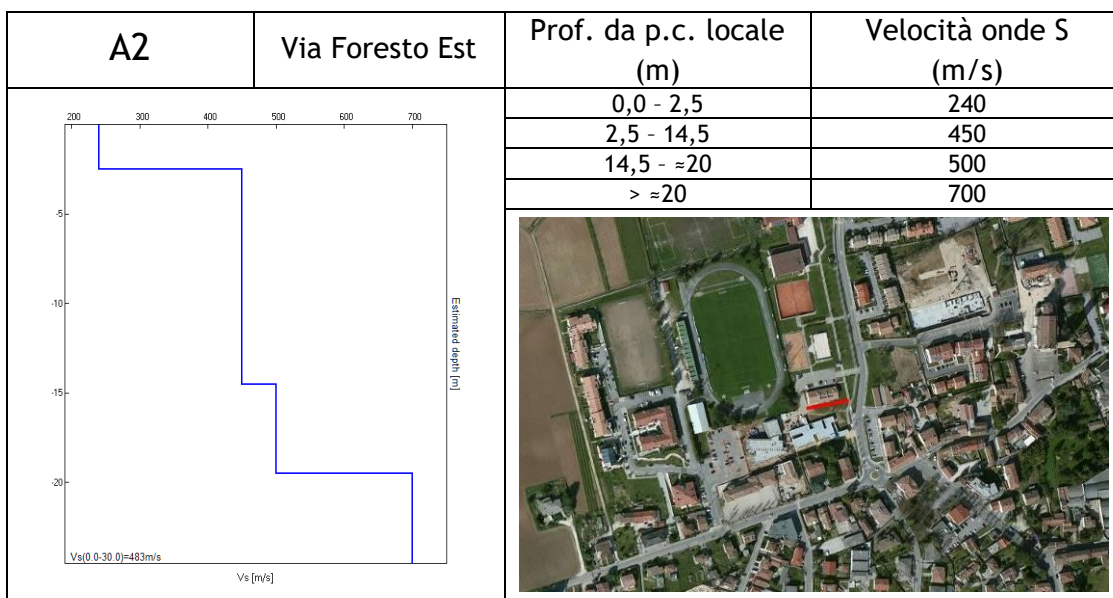
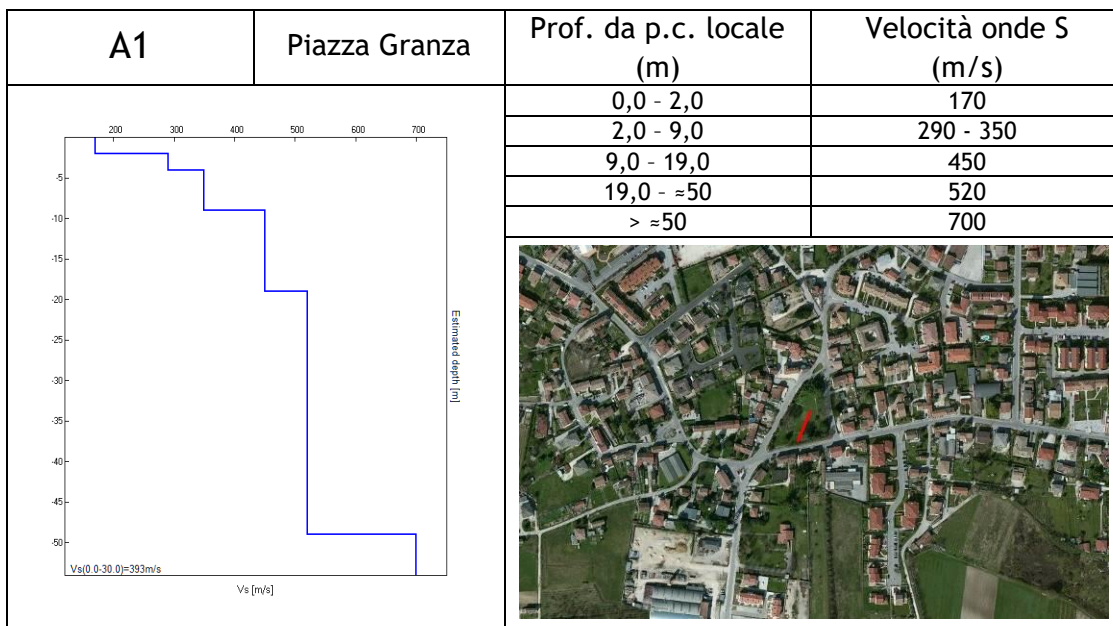
6.2.1.1 Determinazione delle velocità delle onde di taglio S (V_s)

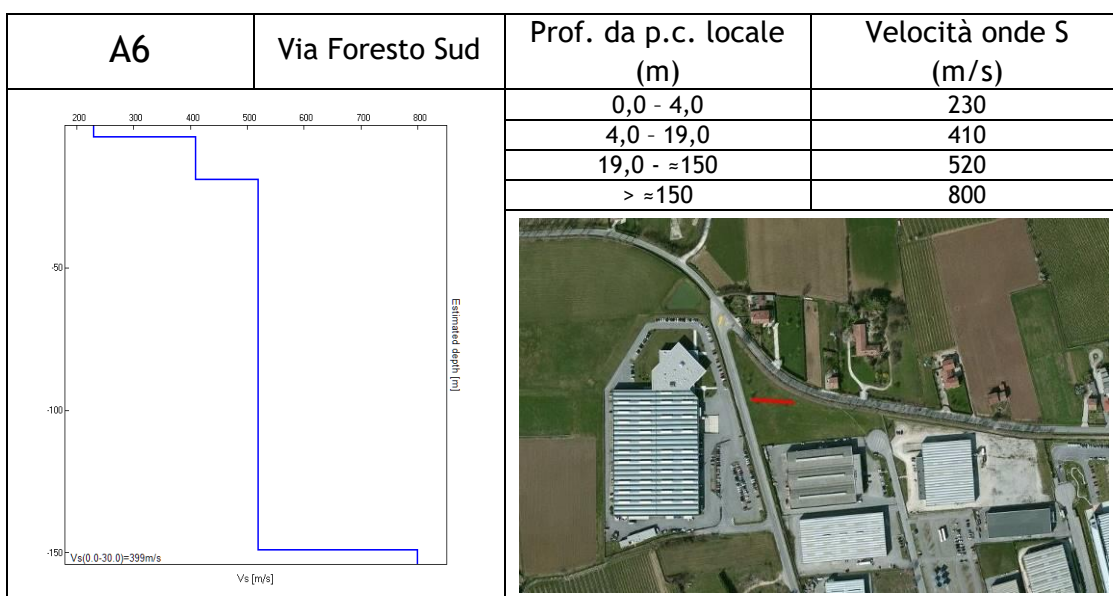
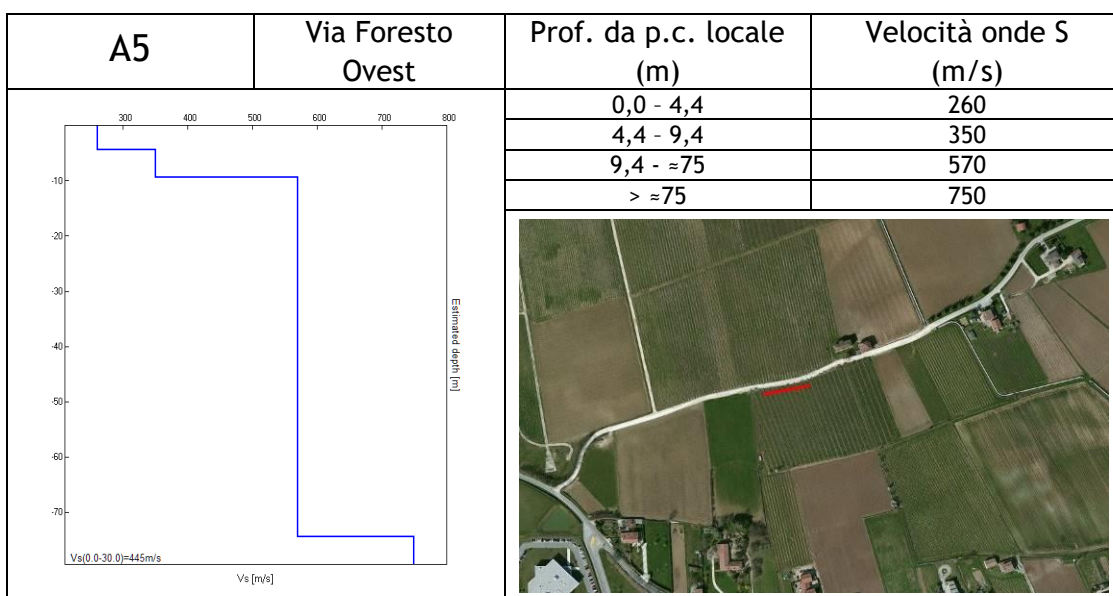
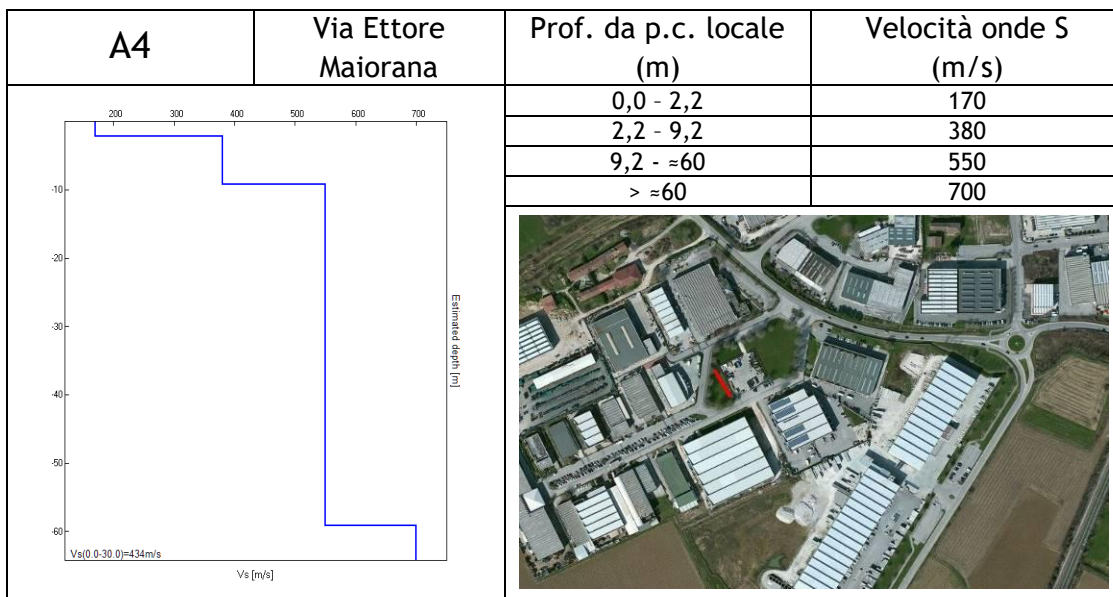
Come detto in precedenza, nel territorio comunale sono state fatte una serie di misure sismiche di superficie (*array* sismici) per approfondire le conoscenze sulle caratteristiche "sismiche" dei litotipi costituenti il territorio in esame: in particolare, esse sono state utilizzate per determinare la velocità di propagazione delle onde di taglio S (V_s) dei terreni testati.

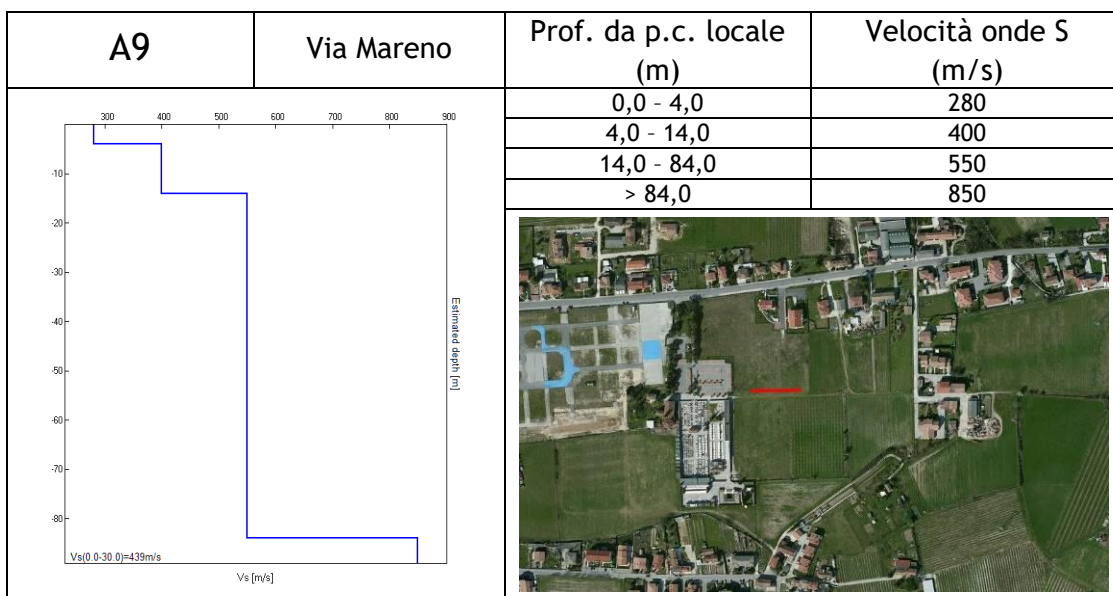
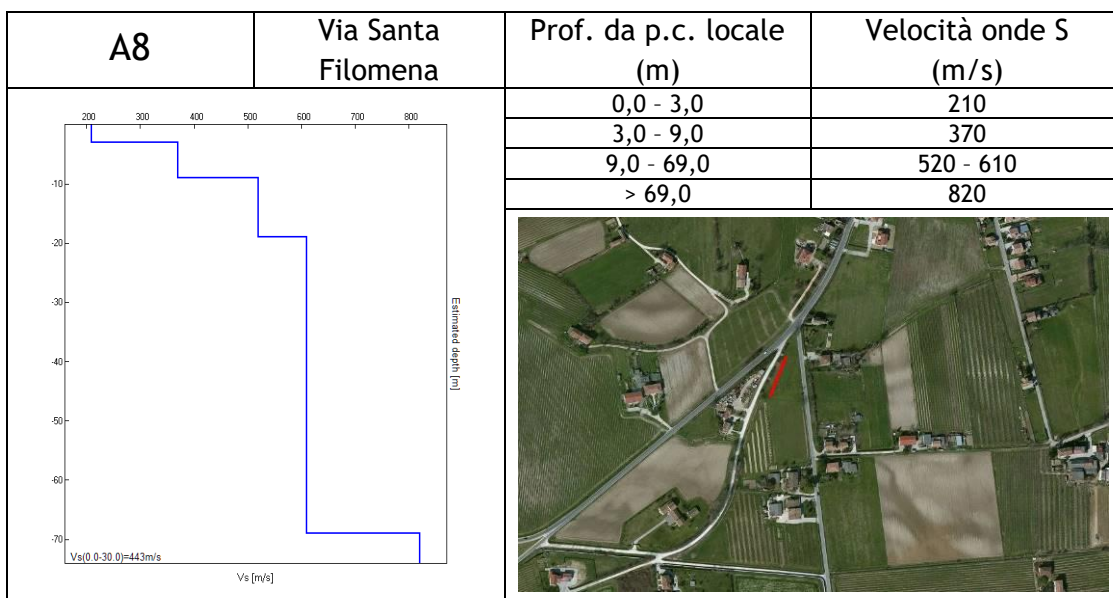
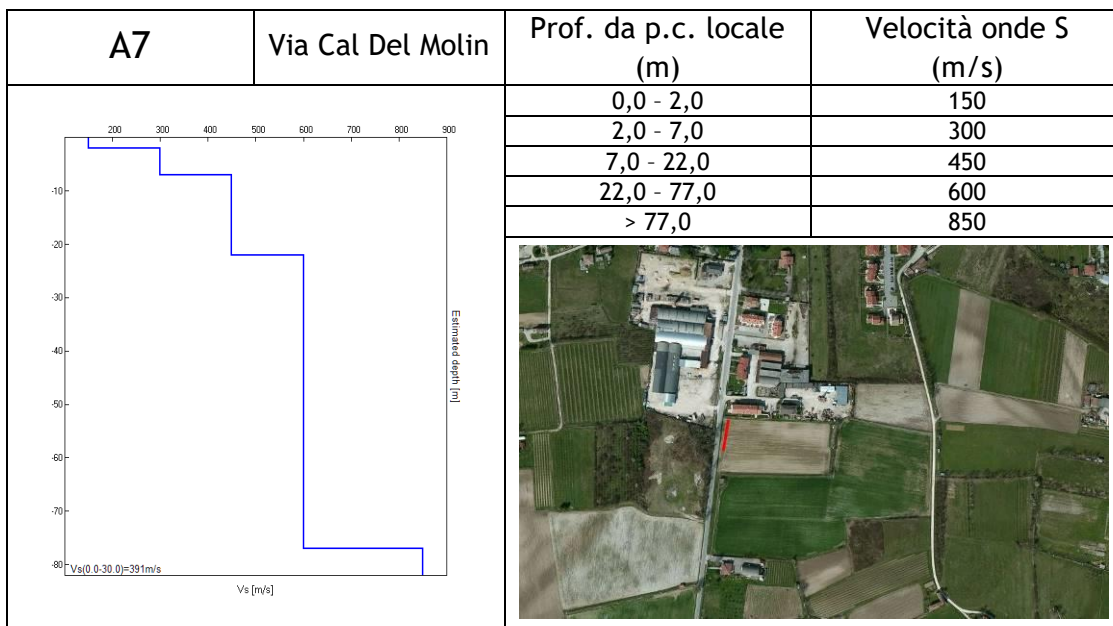
6.2.1.2 Risultati delle misure

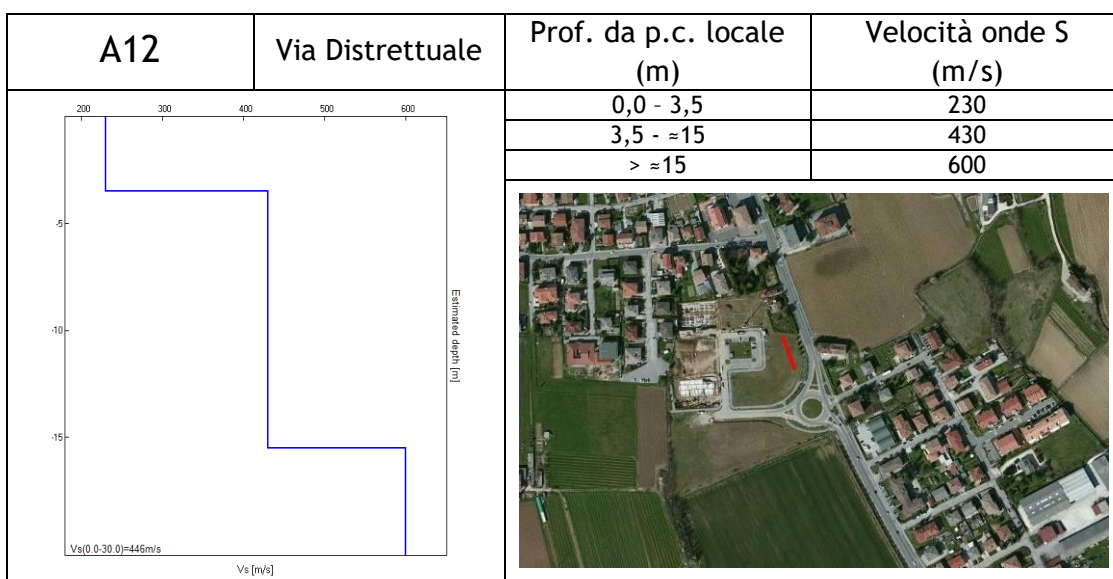
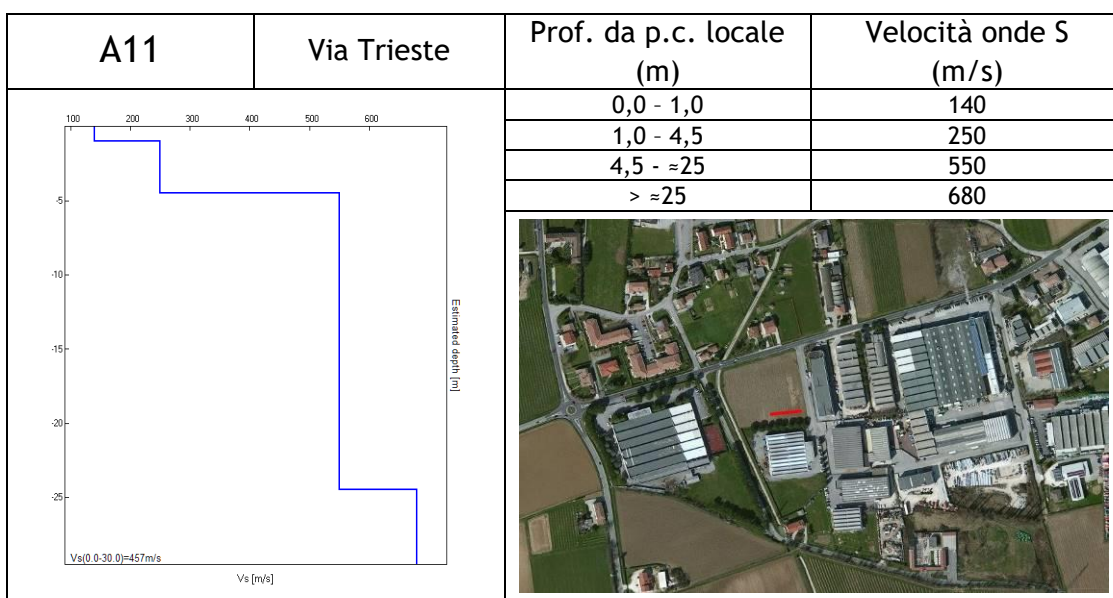
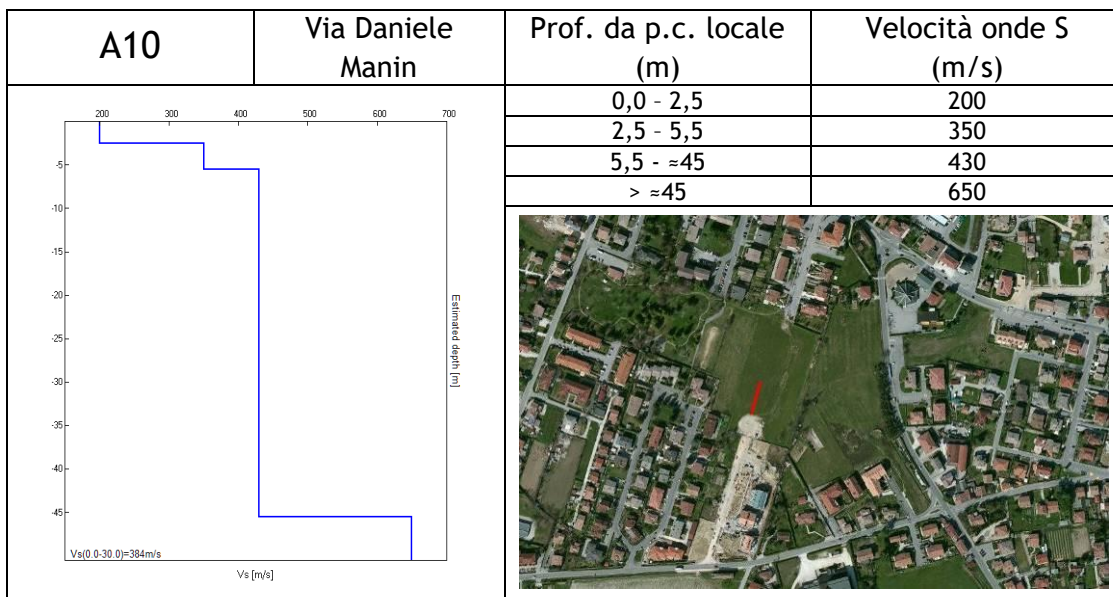
In questo paragrafo è stata riportata esclusivamente la sintesi dei risultati degli *array* sismici accoppiati alle misure H.V.S.R., dei quali è stata esposta l'ubicazione ed il profilo verticale delle onde di taglio S (V_s).

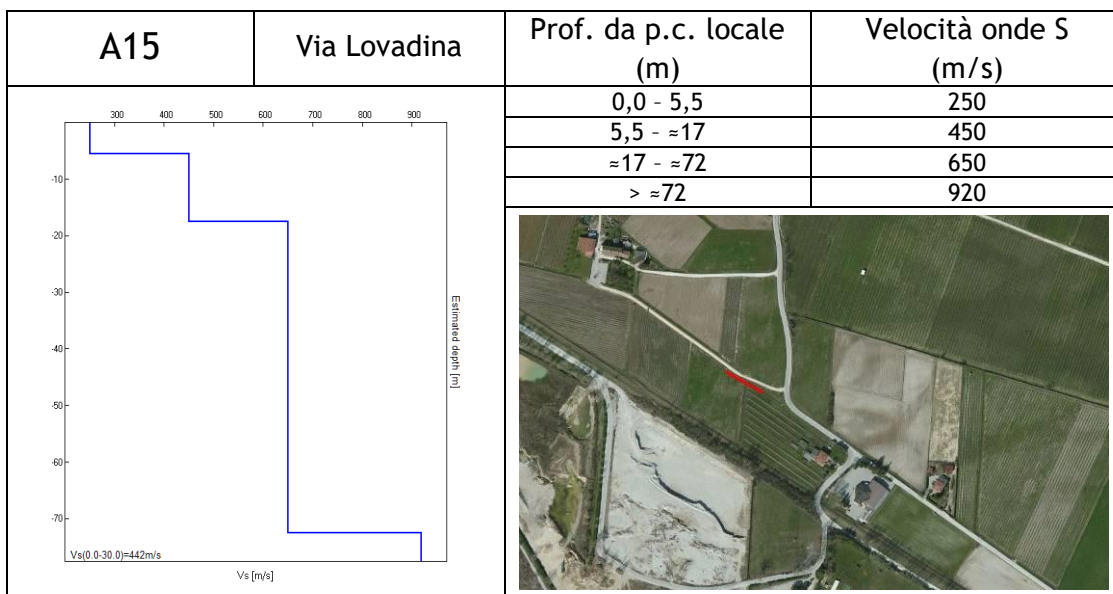
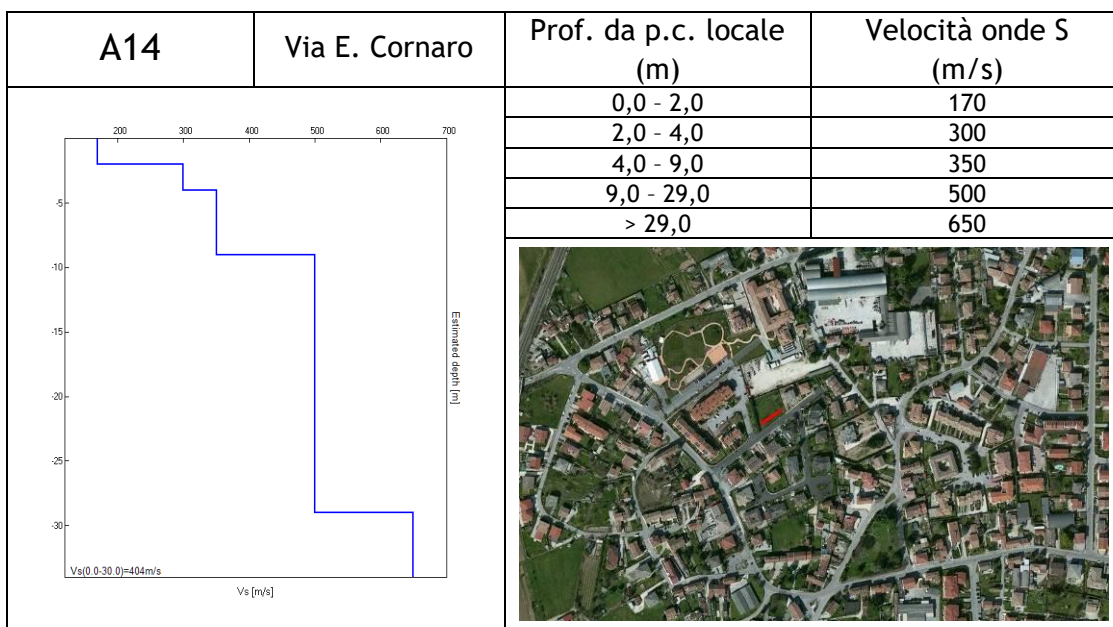
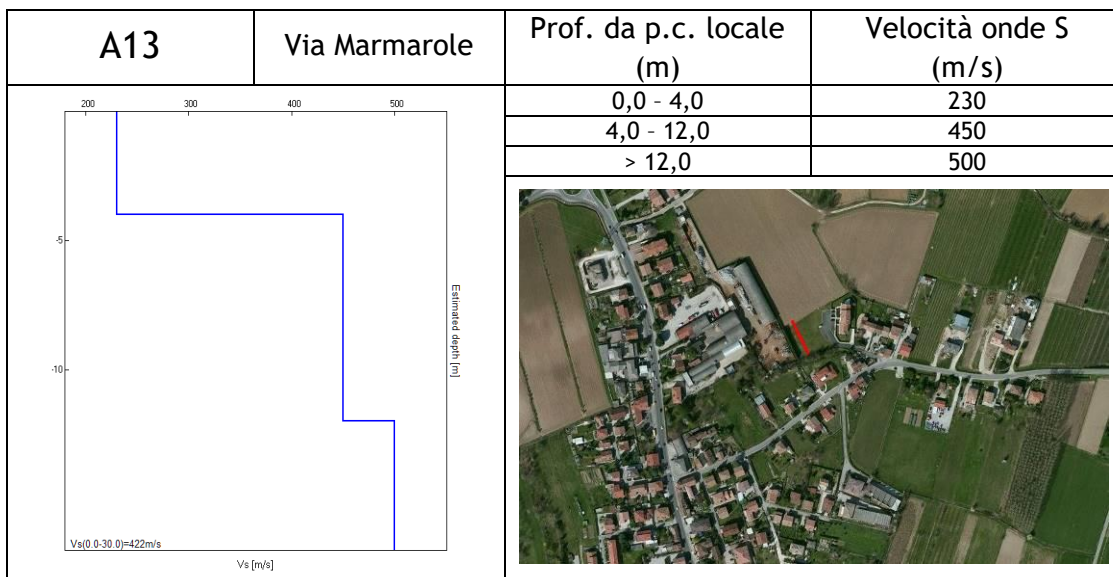
Si rimanda all'allegato fuori testo per la lettura delle schede di sintesi con i risultati di tali prove.

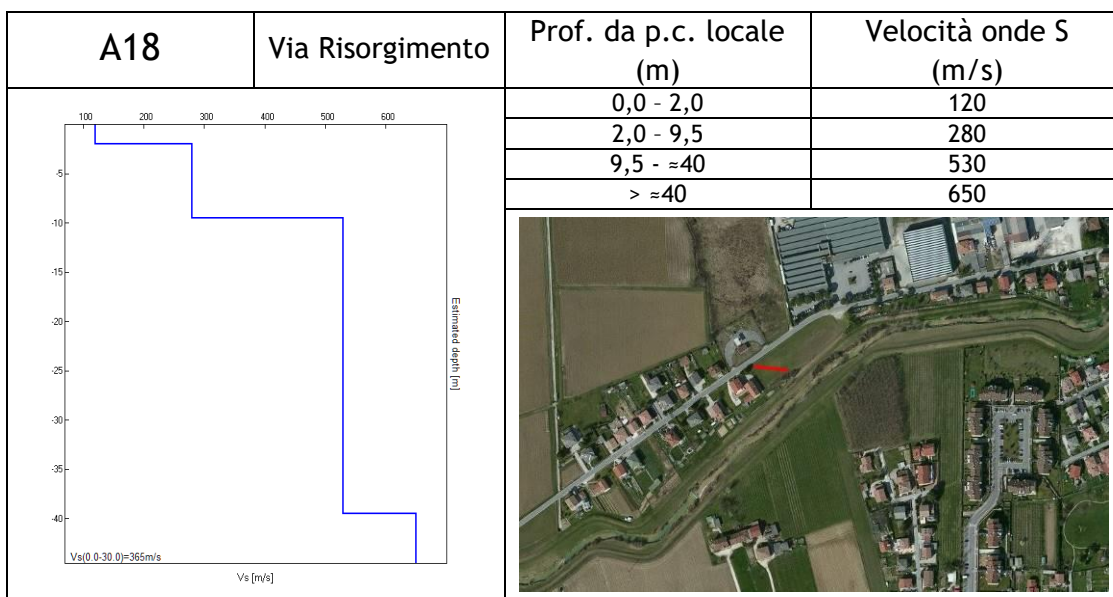
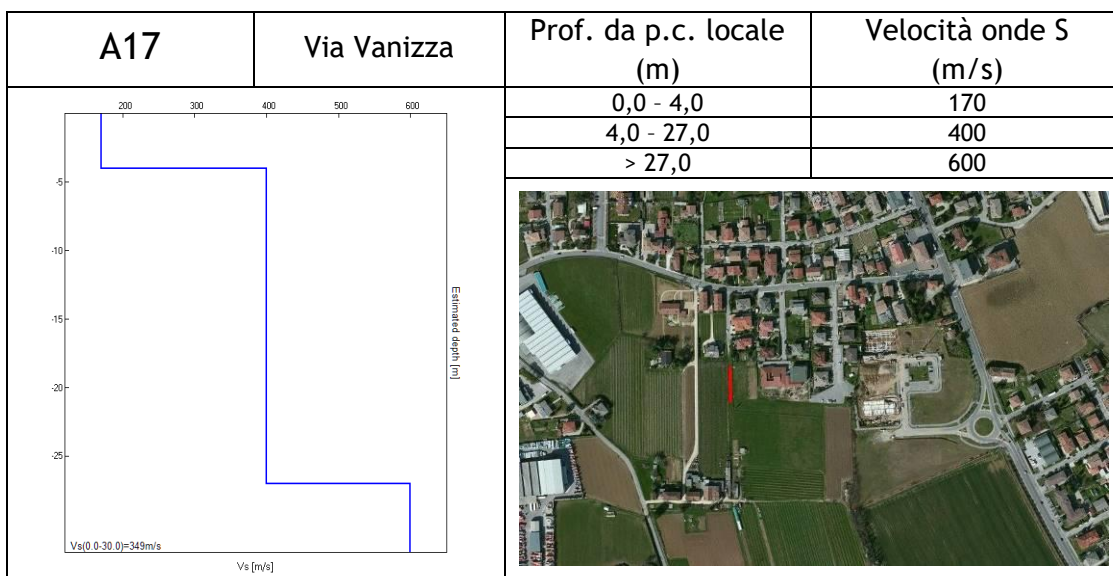
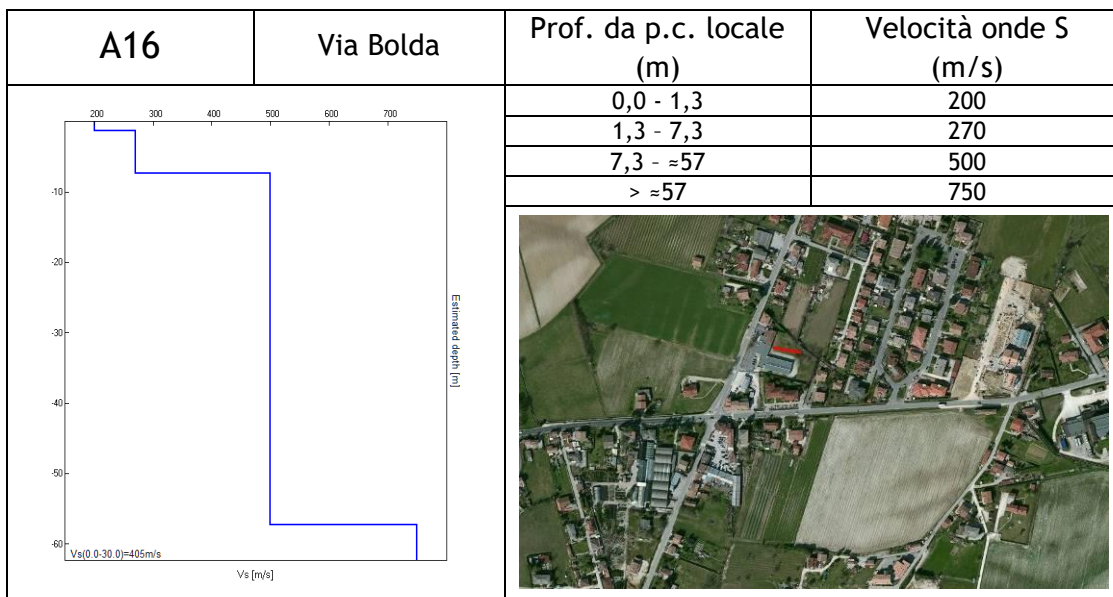


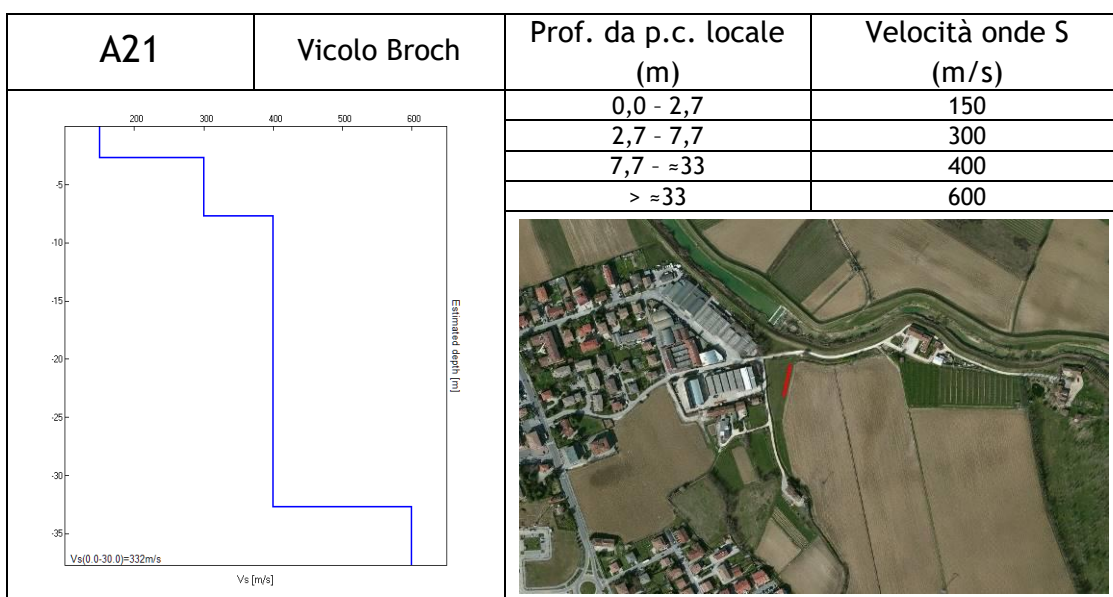
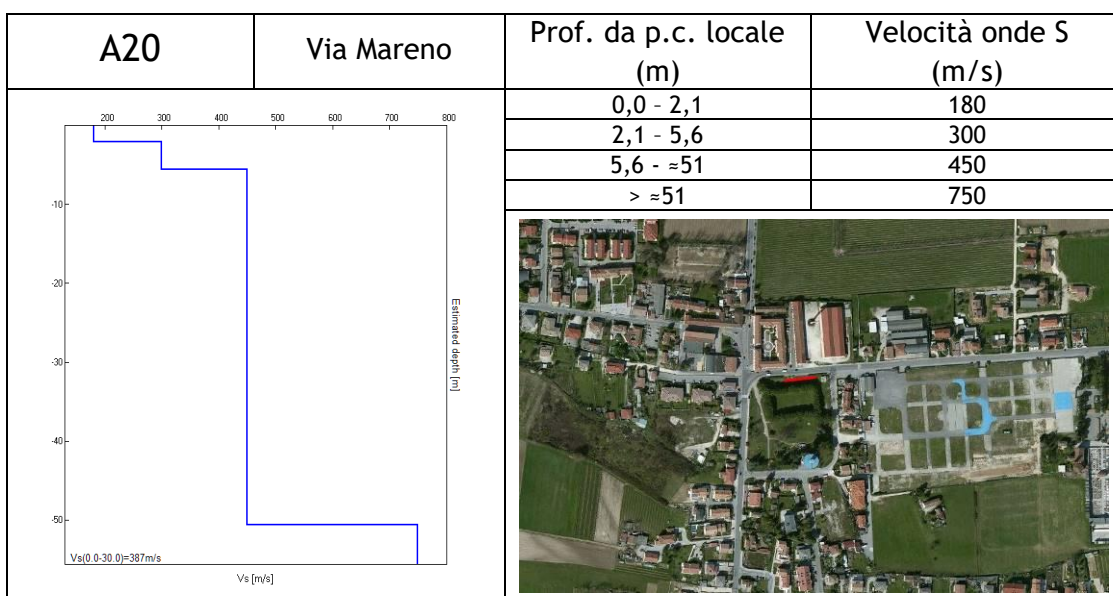
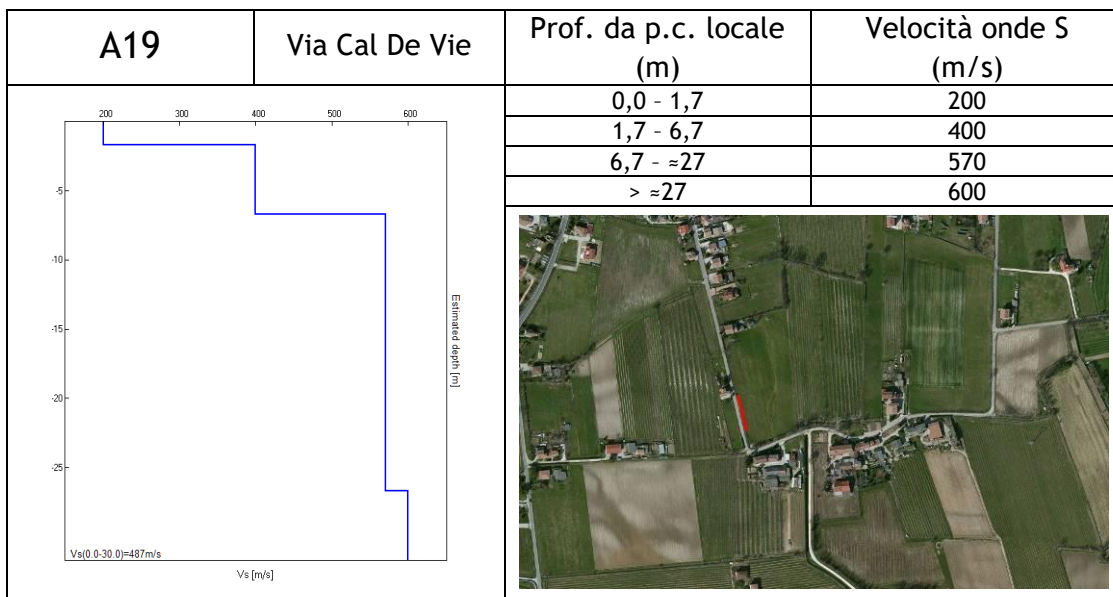


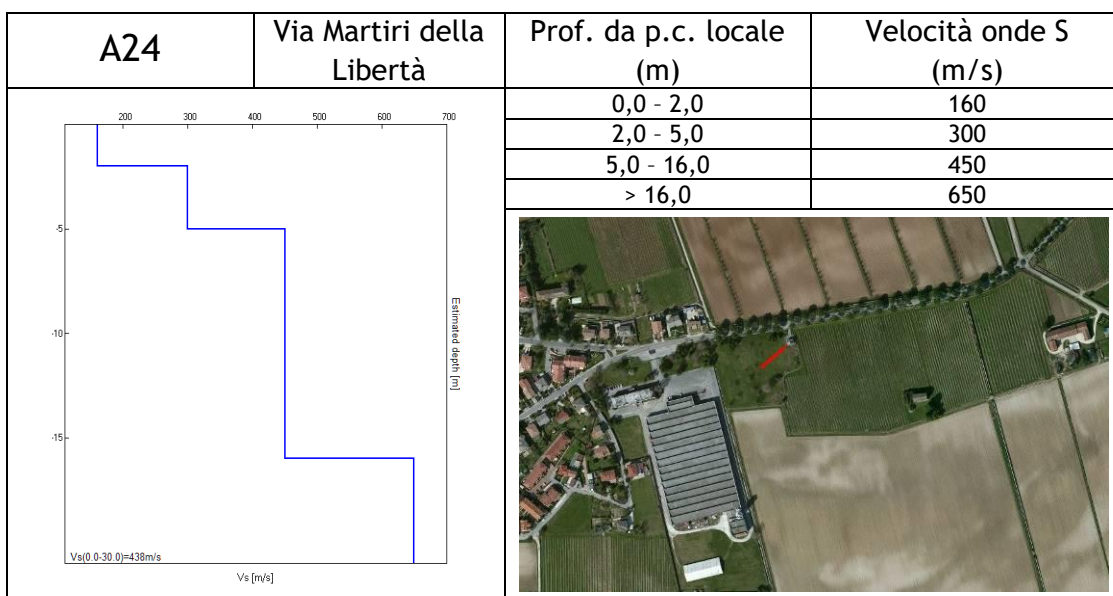
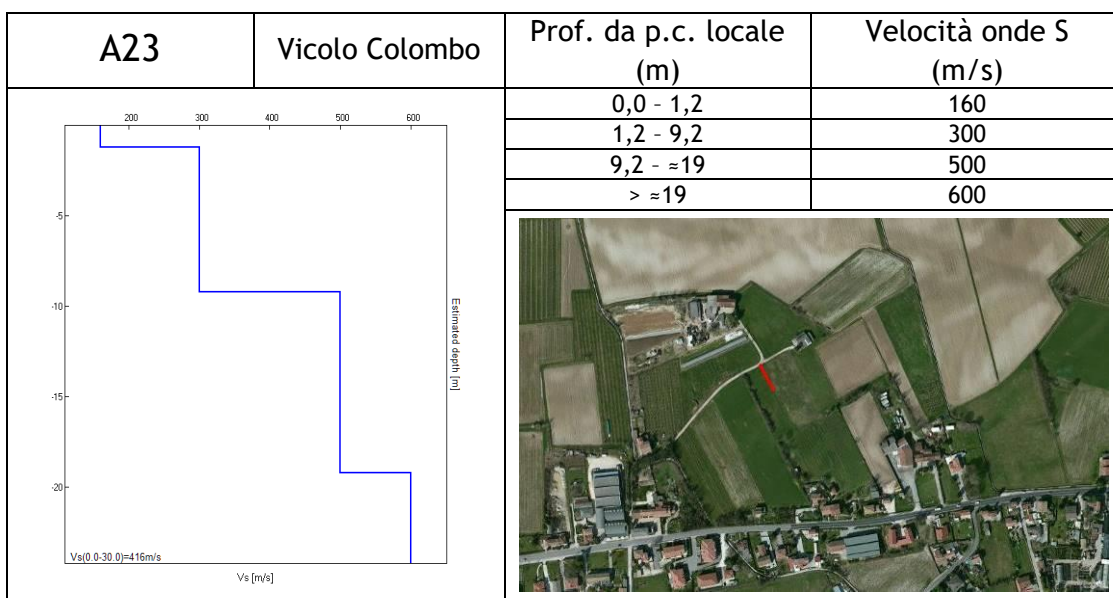
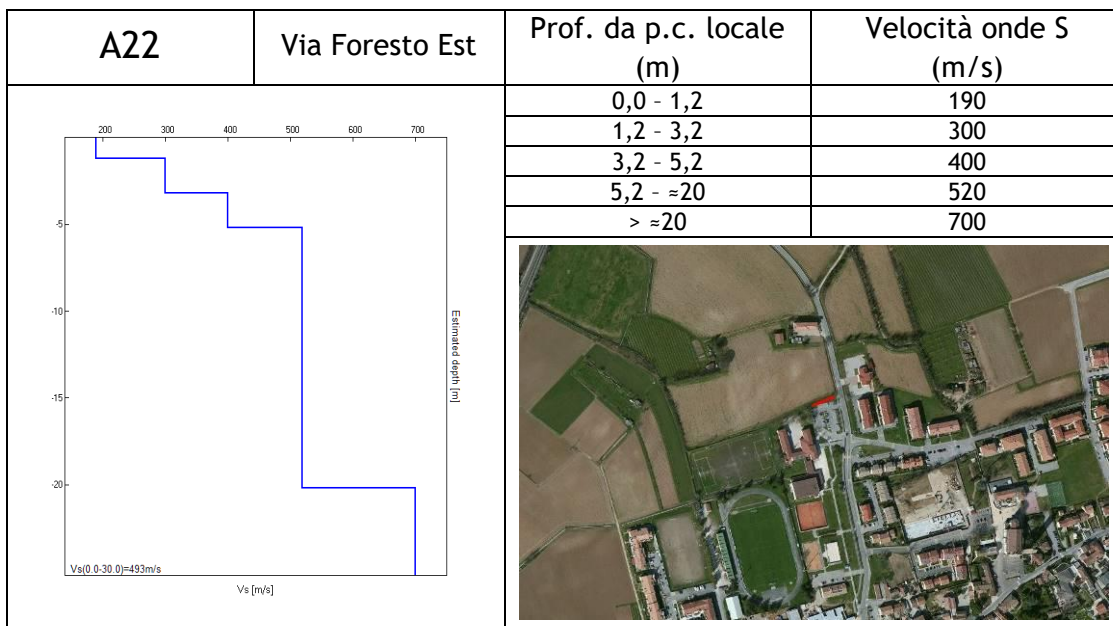


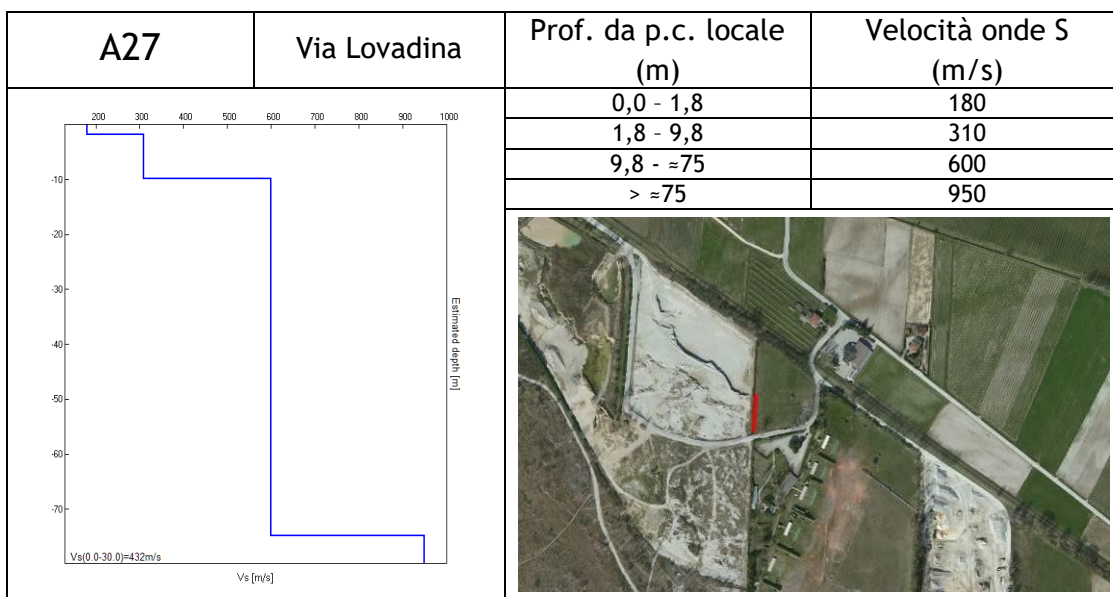
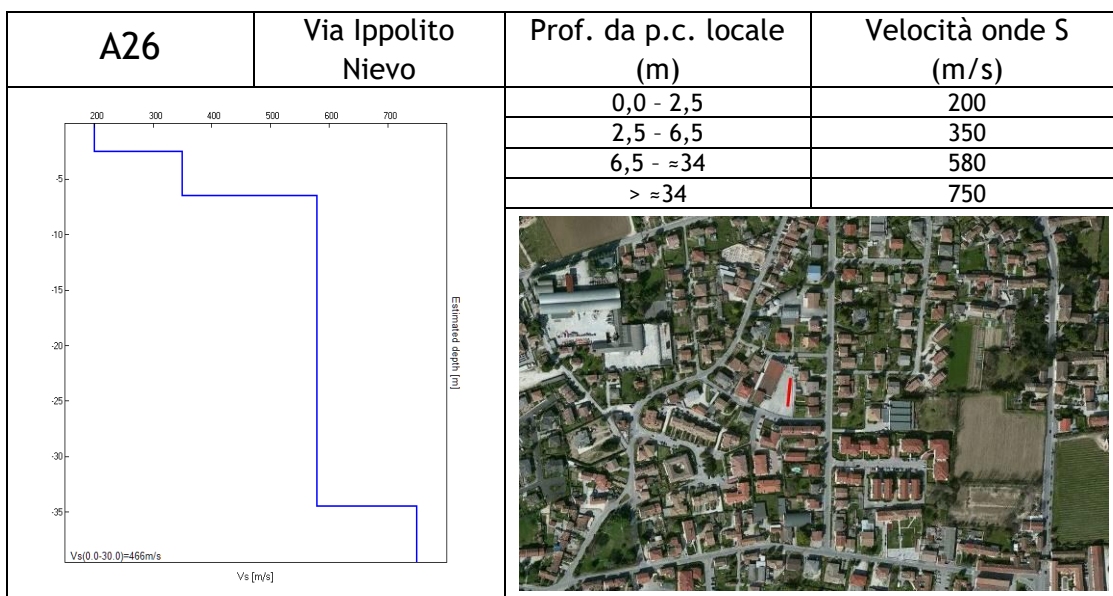
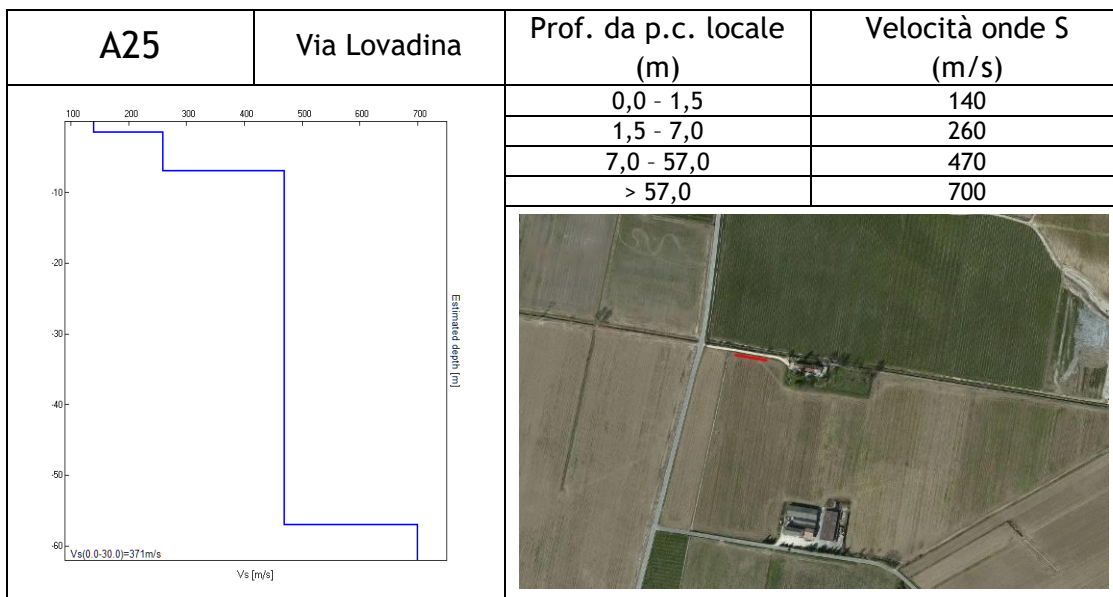












6.2.2 Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)

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

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

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

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

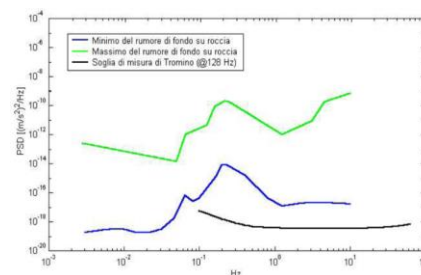
Possiamo scrivere questo come:

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

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

tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, H.V.S.R. che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali del sottosuolo, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta Micromed S.p.a. 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 e 256 Hz. Nella figura a fianco si riporta la curva di rumore di "Tromino" a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.



6.2.2.1 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.

Analizzando la "Carta delle frequenze" successivamente descritta, si vede come sia stato indagato integralmente il territorio previsto dall'incarico e come le prove abbiano interessato i vari terreni che costituiscono Santa Lucia di Piave: questo è stato fatto per vedere il "modo" di rispondere dei vari ambienti geomorfologici alle sollecitazioni sismiche.

Nella tabella seguente è stata riportata esclusivamente la sintesi dei risultati delle H.V.S.R. eseguite in questa fase mediante Tromino Engy Plus (T1, ..., T28), mentre in allegato fuori testo sono state riportate le schede di sintesi dei risultati di tali prove.

LOCALITÀ	CODICE PROVA	LITOTIPO SUPERFICIALE	FREQUENZA DI RISONANZA (Hz) (INTERVALLO 0,1 - 20 Hz)	CONDIZIONE DI AMPLIFICAZIONE (INTERVALLO 0,1 - 20 Hz)
Piazza Granza	T1	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	1,19	SI
Via Foresto Est	T2	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	19,97	SI
Via Serenissima	T3	Materiale alluvionale limoso-argilloso	17,28	SI
Via Foresto Est	T4	Materiale alluvionale limoso-argilloso	11,72	SI
Via Lovera	T5	Materiale alluvionale limoso-argilloso	10,16	SI
Via Foresto Sud	T6	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	19,00	SI
Via Cal Del Molin	T7	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	7,50	SI
Via Santa Filomena	T8	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	7,50	SI
Via Mareno	T9	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	17,19	SI
Via Daniele Manin	T10	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	9,97	SI
Via Trieste	T11	Materiale alluvionale limoso-argilloso	15,31	SI
Via Distrettuale	T12	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	15,19	SI

Via Marmarole	T13	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	12,50	Si
Via E. Cornaro	T14	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	14,16	Si
Via Lovadina	T15	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	9,94	Si
Via Bolda	T16	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	12,19	Si
Via Vanizza	T17	Materiale alluvionale limoso-argilloso	14,22	Si
Via Risorgimento	T18	Materiale alluvionale limoso-argilloso	9,59	Si
Via Cal De Vie	T19	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	7,50	Si
Via Mareno	T20	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	16,25	Si
Vicolo Broch	T21	Materiale alluvionale limoso-argilloso	11,88	Si
Via Foresto Est	T22	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	15,50	Si
Vicolo Colombo	T23	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	11,88	Si
Via Martiri della Libertà	T24	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	19,97	Si
Via Lovadina	T25	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	8,31	Si
Via Ippolito Nievo	T26	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	12,00	Si
Piazza 28 Ottobre 1918	T27	Materiale fluviale ghiaioso-sabbioso	19,97	Si
Via Lovadina	T28	Materiale sciolto di deposito recente	8,38	Si

6.3 Modello geosismico del sottosuolo - interpretazione e incertezze

La valutazione della risposta sismica locale (RSL), sia con approccio semplificato sia con modellazioni avanzate, non può prescindere da un'accurata ricostruzione del modello geo - sismico del sottosuolo tramite l'utilizzo di indagini geofisiche specifiche.

I contrasti di rigidità tra copertura e roccia, nonché quelli presenti all'interno della copertura stessa, come ben noto, contribuiscono in maniera determinante alla valutazione della RSL, amplificando il moto sismico in modo considerevole. Tali amplificazioni saranno tanto più marcate quanto più elevati sono i contrasti di rigidità tra i vari sismo - strati.

Le misurazioni effettuate hanno permesso di ricostruire modelli sismo - stratigrafici accurati e precisi, in quanto i segnali si presentano quasi sempre privi di artefatti e con una elevata coerenza: **i risultati hanno evidenziato una discreta omogeneità sismo - stratigrafica all'interno di ogni ambito litologico.**

I terreni, nel comune di Santa Lucia di Piave, si presentano caratterizzati da contrasti sismici di media intensità, ad eccezione della porzione settentrionale del territorio dove la differenza di rigidità, tra la copertura poco addensata di natura limoso - argillosa e i sottostanti terreni granulari ghiaioso - sabbiosi, si presenta più elevata. Si segnala, inoltre, una diminuzione delle velocità di propagazione delle onde S tra i terreni presenti nella fascia centrale rispetto a quelli della zona più meridionale, probabilmente dovuta alla presenza di un materiale più sabbioso o meno addensato.

Tutti i modelli ricavati dalle prospezioni eseguite hanno rilevato un graduale aumento della rigidità con la profondità al punto di rendere difficile l'individuazione del contatto tra la copertura e l'ammasso roccioso o *bedrock* geofisico. In generale, i maggiori contrasti che, in occasione di eventi sismici di magnitudo rilevante, possono amplificare il moto sismico in superficie sono posizionati nei primi 80 m, all'interno della copertura sedimentaria.

7 ELABORATI CARTOGRAFICI (ripresi dalla Microzonazione di Livello 1)

7.1 Carta delle indagini

Si tratta della cartografia elaborata sulla base della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, con ubicate le indagini eseguite in questa fase e quelle desunte da altri studi.

Non essendo disponibili particolari studi specifici ad eccezione della “Compatibilità Sismica” prodotta dal Comune (DGR 3308 del 2008), sono state riportate le indagini sismiche realizzate durante lo studio di microzonazione di Livello 1, alcune stratigrafie reperite presso l’UTC, le prove riportate nel PATI comunale e i pozzi presenti nel portale dell’ISPRA: sia le indagini che le stratigrafie sono state schedate ed allegate fuori testo.

7.2 Carta delle frequenze

La misura delle vibrazioni ambientali (note anche come rumore sismico ambientale o microtremori) o della sismicità di fondo (*weak motion*) consentono di analizzare la variazione della risposta sismica di un sito al variare delle condizioni litostratigrafiche.

Durante le indagini di MS dell’area aquilana dopo il terremoto del 6 aprile 2009, i risultati di tali analisi si sono rilevati estremamente utili sin dalle prime fasi di elaborazione delle carte di Livello I.

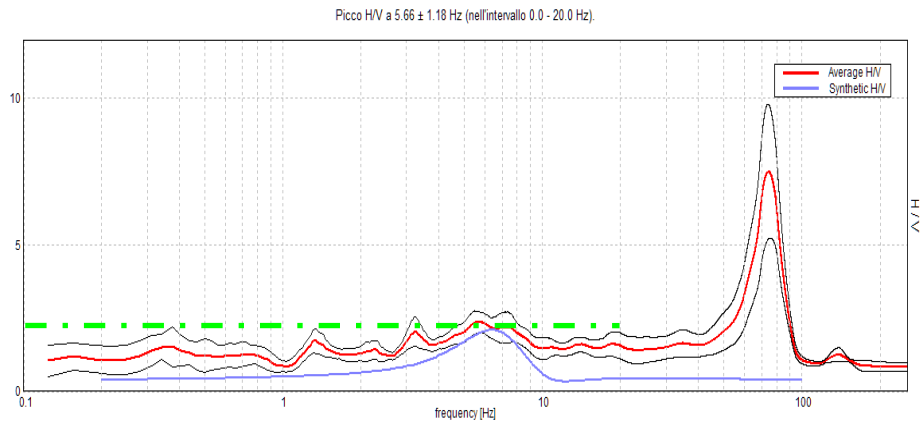
L’analisi dei microtremori attraverso la tecnica *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (H.V.S.R.) consente di mettere in luce fenomeni di risonanza sismica e di stimare le frequenze alle quali il moto del terreno può essere amplificato (frequenza fondamentale di risonanza del terreno, f_0). Il metodo consente inoltre di valutare qualitativamente l’entità dell’amplificazione (ampiezza del picco H.V.S.R. alla frequenza f_0), anche se l’ampiezza del picco H.V.S.R. è una grandezza da interpretare con cautela, e di fornire una stima indicativa sulla profondità del contrasto di impedenza che causa la risonanza sismica. I risultati delle indagini H.V.S.R. da microtremori hanno consentito di realizzare la carta delle frequenze ed hanno fornito informazioni utili a definire e delineare la “*Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*” (MOPS), hanno dato informazioni su locali criticità e sono risultati utili nella pianificazione delle indagini lineari.

I siti selezionati per le indagini sismologiche sono stati distribuiti in corrispondenza delle differenti unità litologiche affioranti nell’area, al fine di verificare e valutare l’influenza dei litotipi e delle loro geometrie, sulla risposta sismica locale. In allegato fuori testo sono state riportate le schede di sintesi dei risultati di tali prove.

Dal punto di vista ingegneristico - strutturale il valore di risonanza del sottosuolo rappresenta un parametro fondamentale per una corretta progettazione sismica delle strutture. E’ ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l’ipotesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c’è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un’onda sismica e quella naturale dell’edificio. Si dovrà quindi porre estrema attenzione nell’edificare strutture aventi gli stessi periodi di vibrazione del terreno.

Tutte le valutazioni sulle condizioni di amplificazione di sito sono state effettuate considerando la finestra frequenziale di 0,1 - 20 Hz, in quanto risultano essere quelle di normale interesse ingegneristico - strutturale. Inoltre, le amplificazioni sismiche considerate nella curva H / V sono state quelle con un rapporto superiore a 2: infatti, in base al progetto SESAME, che di fatto fornisce le linee guida per misure sismiche H.V.S.R., il rapporto sotto il quale non si devono considerare le amplificazioni sismiche dovute ad effetti locali è fissato a 2 (linea tratteggiata nella figura sotto).





Sono attribuite condizioni di amplificazione stratigrafica per quei siti in cui la curva mediana di interpolazione del grafico presenta picchi con ampiezza H/V superiore a 2 (criterio SESAME, 2004; Albarello e Castellaro, 2011) all'interno del campo di frequenze compreso tra 0,1 e 20 Hz

Nell'ambito del presente studio le frequenze di risonanza sono state ottenute utilizzando il software applicativo "Grilla" in dotazione a Tromino®, secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005) e Albarello e Castellaro (2011), che prevede quanto segue:

- larghezza delle finestre di analisi pari a 20 s;
- lisciamento secondo una finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale;
- rimozione delle finestre con rapporto STA / LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2;
- rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti;
- verifica dell'affidabilità delle curve H / V secondo i criteri di qualità SESAME (2004).

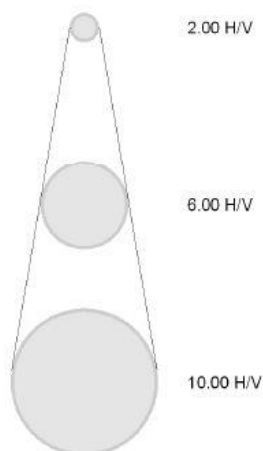
In sostanza, questa carta, elaborata sulla base della C.T.R. alla scala 1:10.000, evidenzia come la frequenza caratteristica di risonanza di un sito sia molto variabile e condizionata dai rapporti litostratigrafici che si sviluppano con la profondità: inoltre, essa illustra che le variazioni di rigidità lungo la verticale di sviluppo non sono esclusivamente collegate ai classici ambiti geolitologici che mettono in contatto terreni a risposta sismica differente (alluvioni su roccia, detrito su roccia, ecc.), ma indica che tali interfacce, più o meno importanti, possono trovarsi anche all'interno dello stesso litotipo. I risultati delle analisi sono stati cartografati tramite dei cerchi di diverso colore in base ai valori di frequenza f_0 (7 classi) e con un diametro proporzionale all'ampiezza del picco.

Legenda

Frequenza fondamentale (f_0)



Ampiezza del picco (A_0)



Alcune importanti informazioni si possono dedurre dall'analisi della "Carta delle frequenze" prodotta:

- la porzione settentrionale del territorio comunale presenta i rapporti H/V più elevati e generati dal contrasto di rigidità presente tra il materiale limoso - argilloso superficiale e il sottostante deposito granulare. Le frequenze oscillano tra 8 Hz e 12 Hz;
- la fascia centrale risulta caratterizzata da rapporti H/V medio - bassi e da frequenze decisamente alte (> 10 Hz);
- la fascia di territorio compresa tra via Mareno, che prosegue in via Giuseppe Mazzini, e l'alveo recente del Fiume Piave presenta valori di frequenza inferiori rispetto a quelli individuati poco più a Nord ma in linea con quelli registrati nella parte settentrionale del territorio comunale. I rapporti H/V oscillano tra un minimo di 2,6 ad un massimo di 4,5.

7.3 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

Questa carta, elaborata sulla base della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, riguarda l'integrazione e la rivisitazione in chiave sismologica dei contenuti geolitologici, geomorfologici ed idrogeologici allegati al P.A.T.I. Infatti, non sono stati eseguiti rilievi di superficie e, come da incarico, sono state utilizzate e mantenute le informazioni del P.A.T.I., integrandone talora i contenuti.

La Carta geologico - tecnica (CGT) serve per individuare gli elementi geologici che, in prospettiva sismica, potrebbero assumere un ruolo rilevante nell'esaltazione degli effetti di uno scuotimento. Per riconoscere in via preliminare le aree soggette o non soggette ad amplificazione sismica, in questa carta sono state indicate le seguenti situazioni:

- contatto di terreni a differente risposta sismica;
- elementi tettonico - strutturali attivi (certi e presunti), ricavati dai cataloghi nazionali e precedentemente descritti.

42

Per l'elaborazione della CGT, in primo luogo sono state analizzate le informazioni di carattere litologico derivanti dal P.A.T.I. e, sulla base delle caratteristiche meccaniche e degli ambienti genetico - deposizionali dei terreni, le varie unità litologiche sono state divise secondo classi distinte e rappresentative dei depositi costituenti il sottosuolo di Santa Lucia di Piave.

Infatti, per evidenziare i possibili effetti di amplificazione stratigrafica (contrasto di impedenza tra mezzi geologici differenti, ovvero effetti litologico - stratigrafici), sulla base delle carte litologiche del P.A.T.I. associate alla consultazione della cartografia generale, sono stati individuati i contatti tra litologie che possono rispondere in modo differente alla sollecitazione sismica e, in particolare, sono state separate le litologie prevalentemente granulari da quelle con abbondante matrice coesiva e dai materiali sciolti di deposito recente ed attuale dell'alveo mobile del Fiume Piave.

Le unità litologiche principali, sono le seguenti:

Terreni di copertura

GWfg	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie (fg = deposito fluvio glaciale)
SWtf	Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose (tf = terrazzo fluviale)
CLfg	Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre (fg = deposito fluvio glaciale)

Facendo riferimento alle descrizioni litologiche del Paragrafo 3.1, le unità sopra riportate sono correlabili ai seguenti terreni.

<i>Carta geologico - tecnica per la Microzonazione Sismica</i>	Carta geo - litologica del P.A.T.I.
GWfg	L - ALL - 01
SWtf	L - ALL - 04
CLfg	L - ALL - 05

In tutto il territorio indagato non risultano presenti forme di superficie e/o sepolte che potrebbero produrre particolari amplificazioni sismiche: sono state quindi esclusi i fenomeni di amplificazione sismica dovuti ad “Effetti topografici”.

Nella CGT, come espressamente richiesto nelle linee guida della protezione civile e negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica, sono stati riportati gli elementi geologici e idrogeologici come i pozzi affiancati dalla profondità raggiunta e dal livello piezometrico. A tal proposito, i livelli di falda riportati sono quelli presenti nella Relazione Geologica e Idrogeologica del P.A.T.I. e nelle schede dei pozzi dell’ISPRA.

Elementi geologici e idrogeologici



Profondità (m) sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato rigido



Profondità (m) della falda in aree con sabbie e/o ghiaie

Infine, i lineamenti sismicamente attivi (rottture in superficie per riattivazione di faglia capace) possono essere evidenziati solo da studi sismogenetici di livello superiore, per cui nella carta sono state ubicate le faglie “capaci” riportate nel Data Base ITHACA, confrontato con il Data Base DISS 3.2.0.

7.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello I)

La Carta delle zone omogenee in prospettiva sismica ha come finalità la suddivisione del territorio comunale nelle seguenti aree:

- ❖ ZONE STABILI
- ❖ ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI
- ❖ ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA’

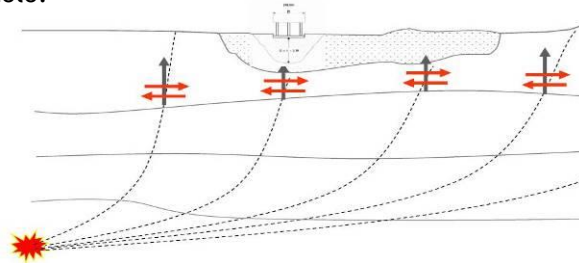
Inoltre sono state inserite le faglie capaci e attive.

La MOPS è stata ricostruita alla Scala 1:10.000 a partire dalla “Carta geologico - tecnica” per la Microzonazione Sismica precedentemente esposta, integrandone e rivedendone i contenuti.

In sostanza, si noti che l’intero territorio è considerabile come stabile suscettibile di amplificazione sismica. Infatti, è stato verificato che il moto sismico è modificabile rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e sub - pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche locali.

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI


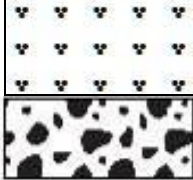

Il Comune di Santa Lucia di Piave si sviluppa interamente in un'area "stabile suscettibile di amplificazione sismica" in quanto il moto sismico di partenza, proveniente dal basamento roccioso profondo, subirà delle modifiche in termini di durata, ampiezza e frequenza a causa dei contrasti di rigidità tra i diversi mezzi geologici presenti nel sottosuolo.



Pertanto, sulla base di quanto finora esposto, le "zone stabili suscettibili di amplificazione" sono state così suddivise:

Zona 1	GWfg	 Zona 1
Zona 2	SWtf	 Zona 2
Zona 3	CLfg	 Zona 3

Le zone sono state create ed ordinate dalla Zona 1 alla Zona 3 considerando le caratteristiche litologiche e genetiche dei terreni della "Carta geologico - tecnica" (CGT) e le potenziali risposte sismiche locali dal punto di vista stratigrafico.

<p>Zona 1. GW, costituita da materiale granulare composto prevalentemente da ghiaie in matrice più o meno sabbiosa. La Zona 1, collocata nella fascia centrale, occupa gran parte del territorio comunale. Lo spessore, ipotizzabile, è di qualche centinaio di metri. La velocità di propagazione delle onde S risulta di circa 200 m/s nell'immediato sottosuolo (circa primo metro) e aumenta gradualmente a profondità maggiori. A circa 70 / 80 m dal p.c. locale il grado di rigidità si stabilizza oltre gli 800 m/s (bedrock geofisico).</p>	
<p>Zona 2. SW, caratterizzata da materiale granulare composto prevalentemente da sabbie e ghiaie di recente deposizione (alveo mobile del Fiume Piave). La Zona 2 occupa la parte meridionale del territorio comunale. Lo spessore, ipotizzabile, è di circa 10 metri e possono essere appoggiati sui depositi superficiali della Zona 1. La velocità di propagazione delle onde S è compresa tra 200 m/s e 300 m/s.</p>	
<p>Zona 3. CL, caratterizzata da materiale fine prevalentemente limoso - argilloso. La Zona 3 occupa la parte settentrionale del territorio comunale. Lo spessore è di qualche metro e poggia prevalentemente sul materiale della Zona 1. La velocità di propagazione delle onde S è compresa 150 m/s e 250 m/s.</p>	

I lineamenti sismicamente attivi (rottture in superficie per riattivazione di faglia capace) possono essere evidenziati solo da studi sismogenetici di livello superiore, per cui nella carta sono state ubicate le faglie "capaci" riportate nel Data Base ITHACA, confrontato con il Data Base DISS 3.2.0.

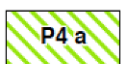


7.5 Carta della pericolosità sismica locale (di nuova realizzazione)

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. Per l'intero territorio comunale è stato assegnato uno scenario di pericolosità sismica locale di tipo P4a.

SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

P4 : Zone suscettibili ad amplificazioni litologiche e geometriche



Zona di fondovalle ampie e di pianura con depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali 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 2 sembrerebbe appropriata per l'intero territorio comunale di Santa Lucia di Piave per la stima dei fattori amplificativi, ma non esclude la possibilità di effettuare analisi di 3° livello laddove si debbano considerare effetti litologici e geometrici.

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	ABITATP 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	ABITATP PREV.URBAN.* 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	ABITATP 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 a>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	h/l>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 eluvio-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 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 - FA e FV

8.1 Introduzione

L'obiettivo dei livelli di approfondimento della Microzonazione Sismica è di compensare le incertezze del Livello 1 con approfondimenti conoscitivi e di fornire quantificazioni numeriche della modificazione locale del moto sismico in superficie e dei fenomeni di deformazione permanente.

In particolare, la quantificazione numerica degli effetti è rappresentata dai fattori amplificativi FA (fattore di amplificazione in termini di accelerazione) e FV (fattore di amplificazione in termini di velocità). Il primo corrisponde al fattore di amplificazione determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione mentre il secondo corrisponde al fattore di amplificazione a periodo proprio per il quale si ha la massima risposta in velocità.

Come riportato nelle linee guida regionali, la stima dei parametri di amplificazione può essere eseguita con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche) che, sulla base di alcuni dati di ingresso quantitativi di semplice ed economica acquisizione, forniscono parametri che caratterizzano la risposta sismica locale in superficie.

I dati di ingresso per la scelta della tabella sono rappresentati dai seguenti elementi:

- la litologia prevalente nei terreni di copertura;
- la profondità del basamento sismico, ovvero la profondità dove si raggiungono velocità delle onde S superiori o uguali a 800 m/s (H);
- l'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità e la velocità media V_{SH} delle onde S nei terreni di copertura fino al basamento sismico. Questa sarà definita dalla seguente relazione:

$$V_{SH} \cong \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

dove:

H è lo spessore totale (in metri) dei terreni di copertura fino al basamento sismico;

h_i è lo spessore (in metri) dell'*i*-mo degli *n* strati che costituiscono la copertura;

V_{Si} è la velocità (in m/s) dell'*i*-mo strato.

Le tabelle sono riferite a tre livelli di sismicità: 0,06g, 0,18g e 0,26g; sono ordinate per litotipo (argille, sabbie e ghiaie) e all'interno di ciascun litotipo, per tipologia di profilo di velocità assunto (costante, variabile con la massima pendenza e variabile con pendenza intermedia fra costante e massima).

Tale procedura è valida per modificazioni del moto sismico indotto dalle specifiche caratteristiche litostratigrafiche locali e non tiene conto degli effetti topografici, degli effetti 2D e di eventuali aggravii del moto dovuti a deformazioni permanenti.

In particolare, nel caso del comune di Santa Lucia di Piave, le indagini effettuate hanno mostrato una buona coerenza anche se i valori di velocità e profondità del *bedrock* sismico ($V_s \geq 800$ m/s) sono fortemente variabili, poiché lo stesso è collocato all'interno della copertura sedimentaria e associabile alle ghiaie rigide cementate.

Tale variabilità non ha consentito l'utilizzo della procedura semplificata (abachi) per il calcolo dei fattori di amplificazione, poiché tale procedura risulta fortemente sensibile alle variazioni, seppur modeste, di profondità del basamento sismico stesso ($V_s \geq 800$ m/s).

Pertanto, sono state condotte alcune modellazioni di risposta sismica locale, proprie del Livello 3 di approfondimento, utilizzando dei modelli sismo-stratigrafici medi rappresentativi di ogni microzona individuata.

A supporto di tali modellazioni sono state effettuate ulteriori misure geognostiche in prossimità delle zone ritenute più significative di cui si riportano i risultati a seguire.

8.2 Risultati indagini di nuova realizzazione

Come detto in precedenza, nel territorio comunale sono state fatte una serie di misure geofisiche di superficie per approfondire le conoscenze sulle caratteristiche “sismiche” dei litotipi costituenti il territorio in esame; in particolare, sono state effettuate:

- n°8 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;
- n°8 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (*Refraction Microtremor*) sviluppate in *array* lineari con geofoni ad asse verticale per la ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo tramite la misura della velocità di propagazione delle onde S.

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

L'attendibilità dei modelli sismo-stratigrafici desunti è da considerarsi elevata poiché la coerenza dei segnali è buona e gli spettri di velocità sono ben definiti nel modo fondamentale per quasi tutte le frequenze campionate. Il programma di elaborazione utilizzato permette di considerare non solo il modo fondamentale ma, una volta individuati, anche i modi superiori per vincolare con maggior attendibilità la ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo.

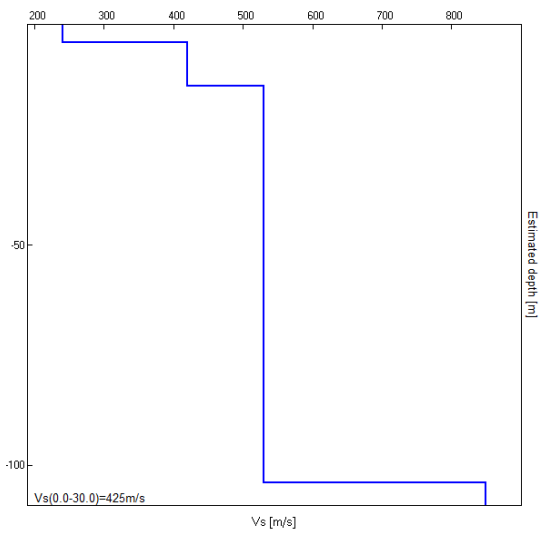
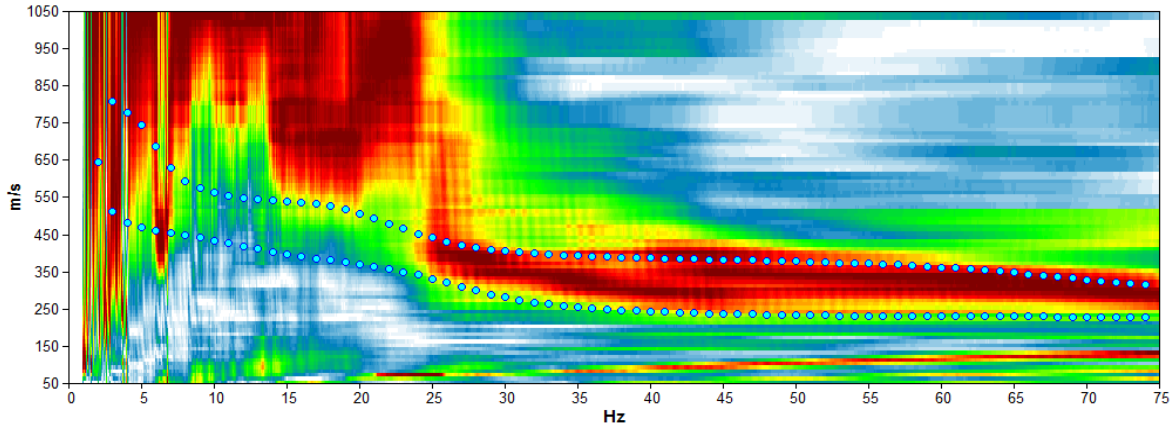
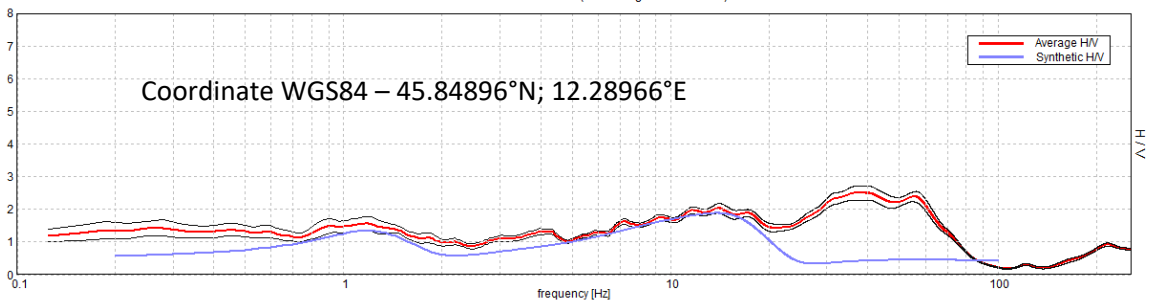
In questo paragrafo è riportata la sintesi dei risultati ottenuti dall'analisi congiunta degli *array* sismici e delle H.V.S.R. accoppiate ad essi per ogni indagine effettuata. Nelle tabelle seguenti sono riportate l'ubicazione delle misure, gli spettri di velocità con le curve sintetiche create dalla modellazione, lo spettro di risposta HVSR e il profilo verticale delle onde di taglio S (V_s).

Nella tavola seguente sono riportate le ubicazioni delle misure condotte.



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

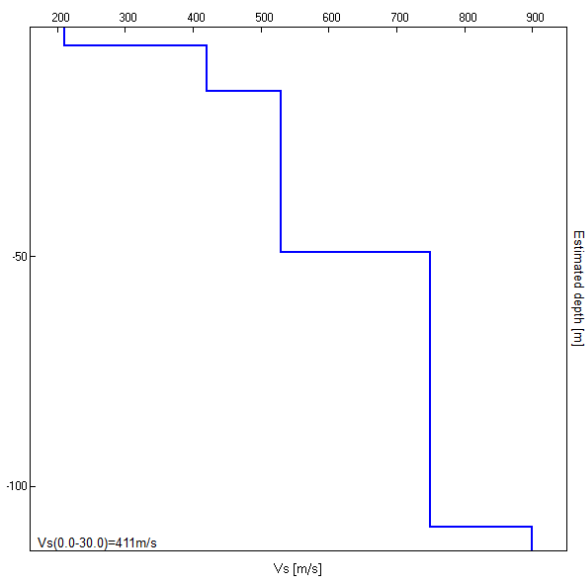
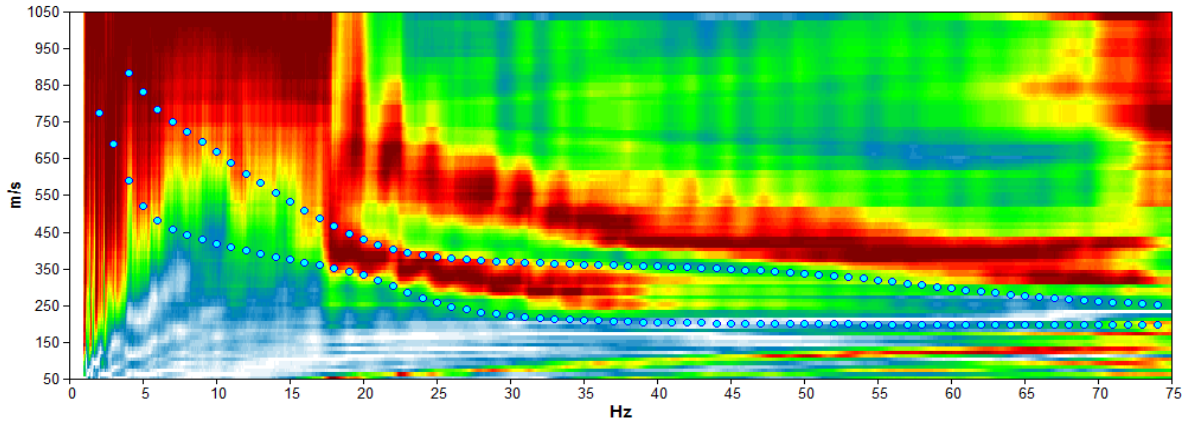
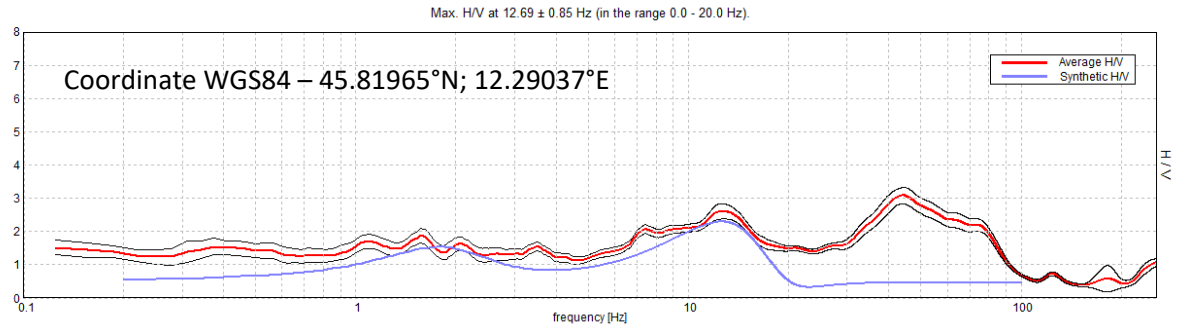
Max. HVV at 14.03 ± 4.57 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz)



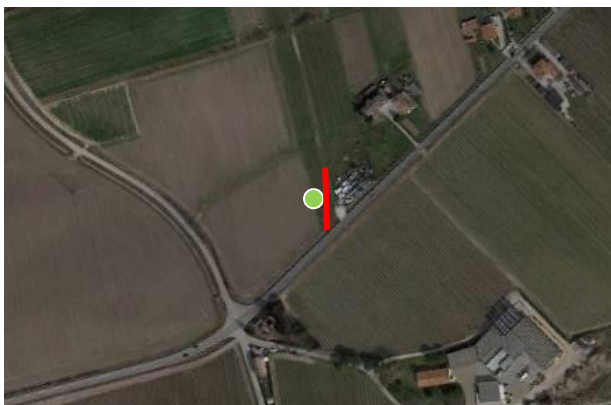
Profondità in [m] dal p.c. locale	Vs in [m/s]
0,0 – 4,0	240
4,0 – ≈ 14	420
≈ 14 – ≈ 104	530
> ≈ 104	850



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



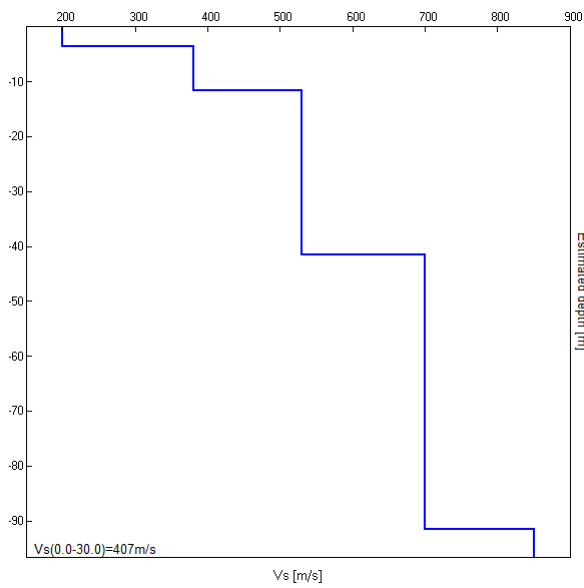
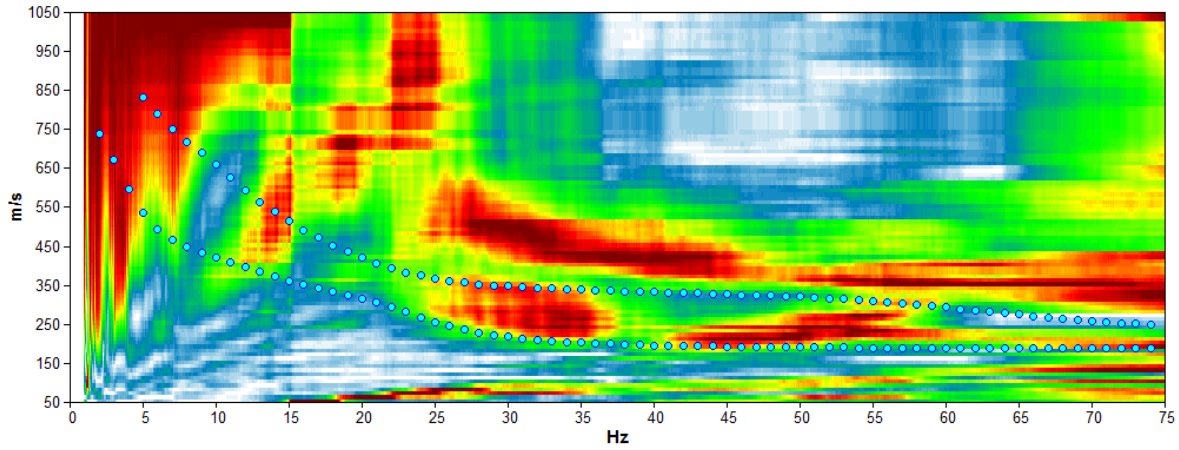
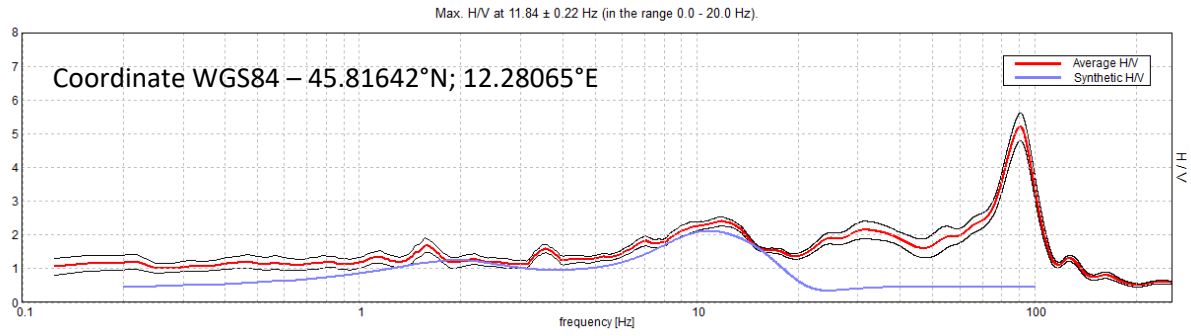
49



Profondità in [m] dal p.c. locale	Vs in [m/s]
0,0 – 4,0	210
4,0 – ≈ 14	420
≈ 14 – ≈ 49	530
≈ 49 – ≈ 109	750
> ≈ 109	900



Misura sismica Re.Mi.3 (A3) con inversione congiunta all'H.V.S.R. 3 (T3)



50

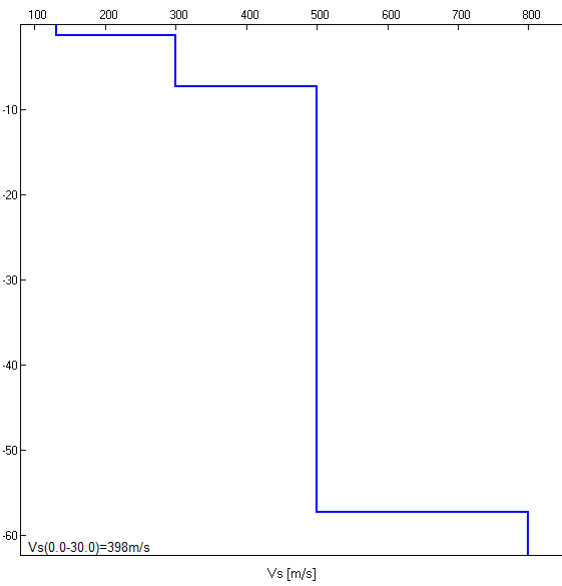
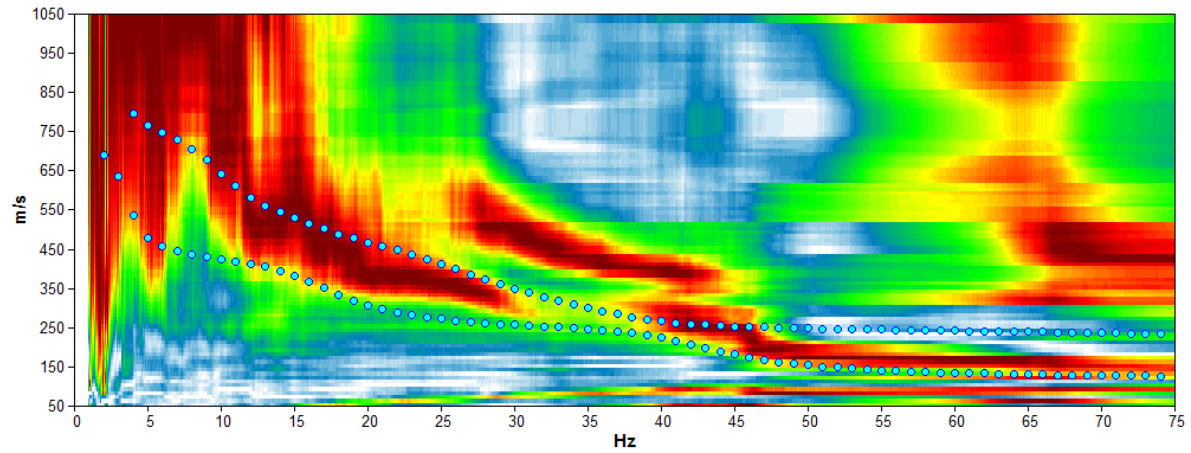
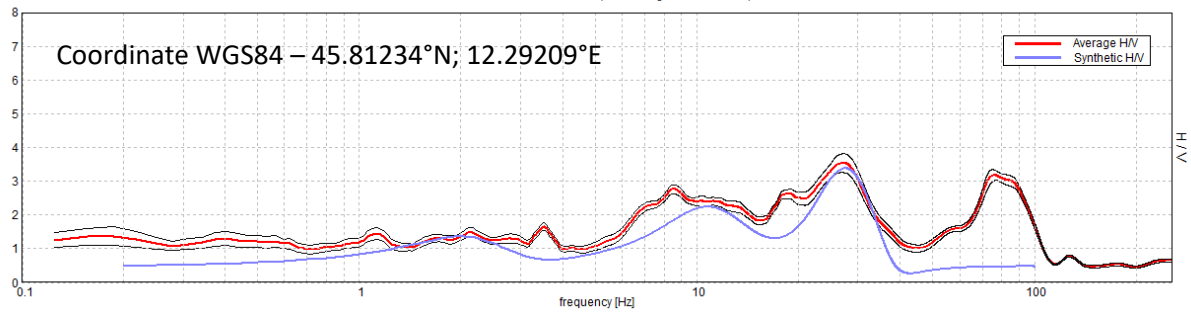


Profondità in [m] dal p.c. locale	V_s in [m/s]
0,0 – 3,6	200
3,6 – \approx 12	380
\approx 12 – \approx 42	530
\approx 42 – \approx 92	700
$>$ \approx 92	850

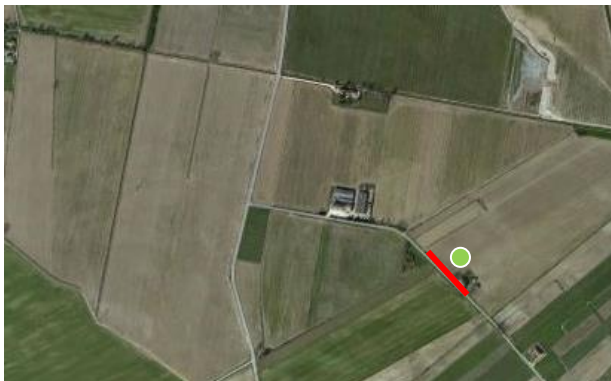


Misura sismica Re.Mi.4 (A4) con inversione congiunta all'H.V.S.R. 4 (T4)

Max. HV at 8.53 ± 3.79 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz)



51

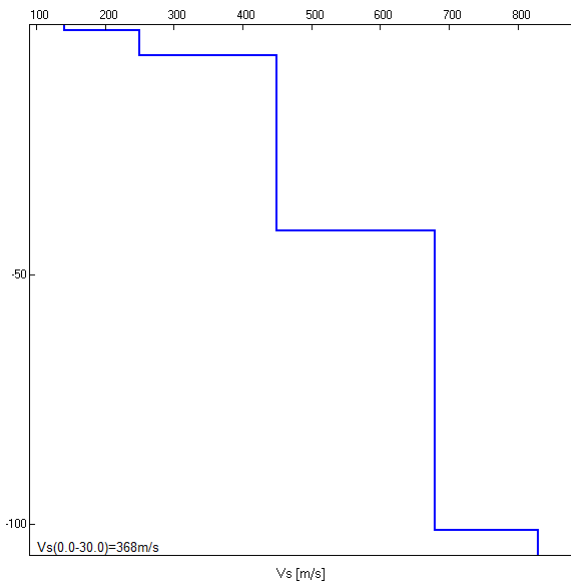
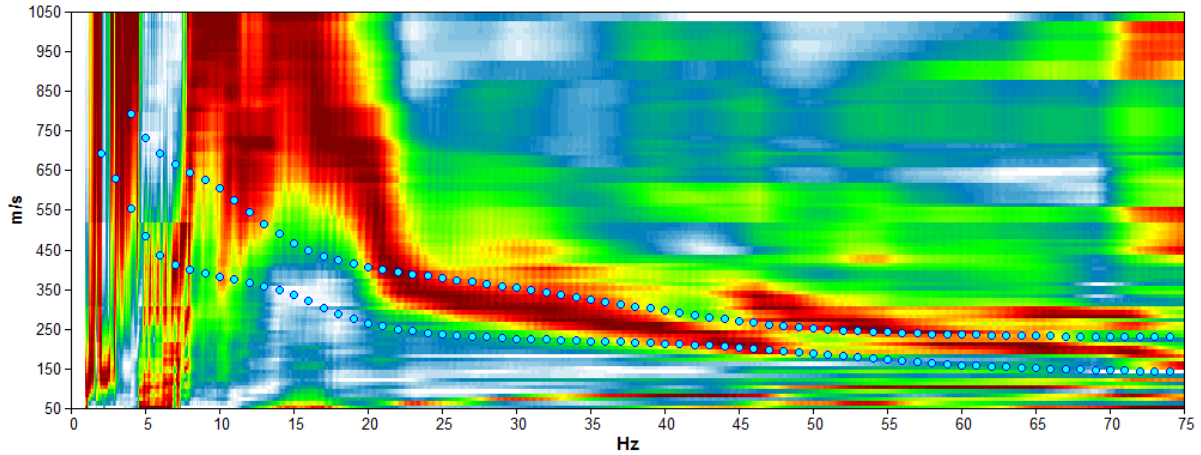
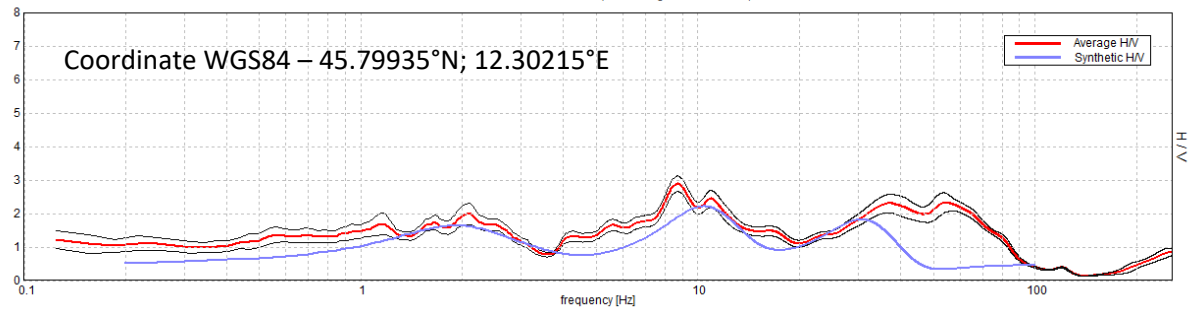


Profondità in [m] dal p.c. locale	Vs in [m/s]
0,0 - 1,3	130
1,3 - 7,3	300
7,3 - ≈ 57	500
> ≈ 57	800



Misura sismica Re.Mi.5 (A5) con inversione congiunta all'H.V.S.R. 5 (T5)

Max. HV at 8.72 ± 1.21 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz)

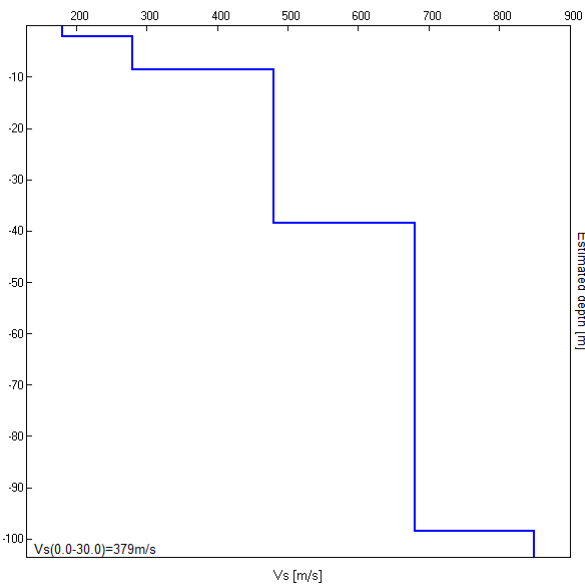
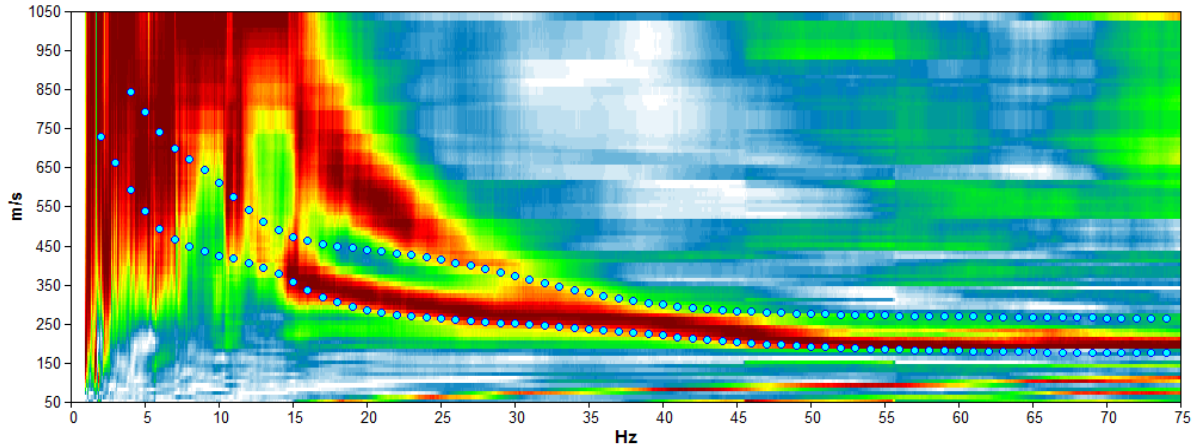
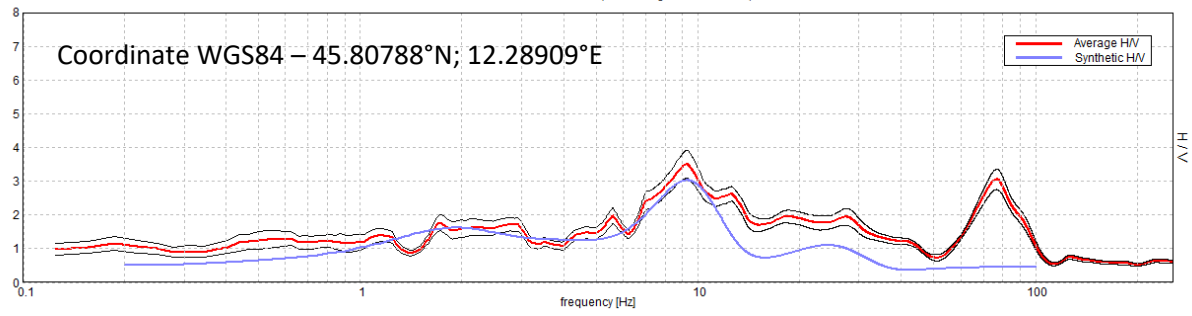


Profondità in [m] dal p.c. locale	Vs in [m/s]
0,0 – 1,2	140
1,2 – 6,2	250
6,2 – ≈ 41	450
≈ 41 – ≈ 101	680
> ≈ 101	830

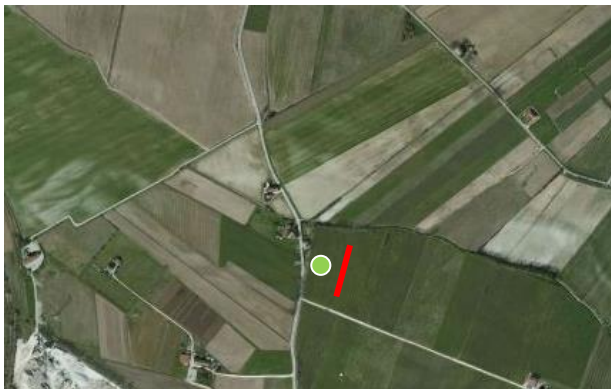


Misura sismica Re.Mi.6 (A6) con inversione congiunta all'H.V.S.R. 6 (T6)

Max. HV at 9.28 ± 0.05 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz)



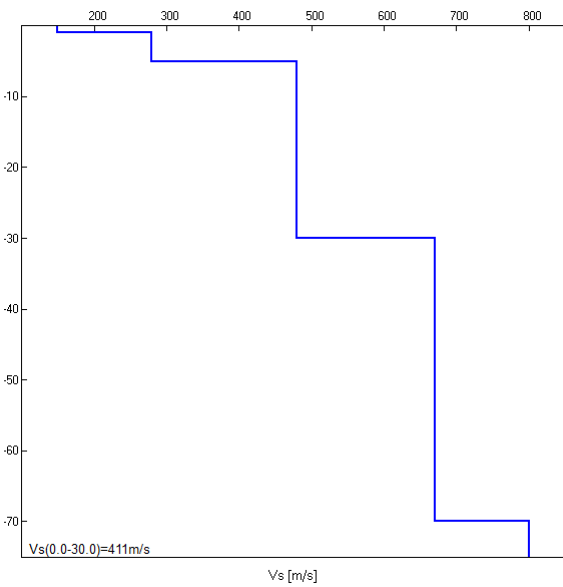
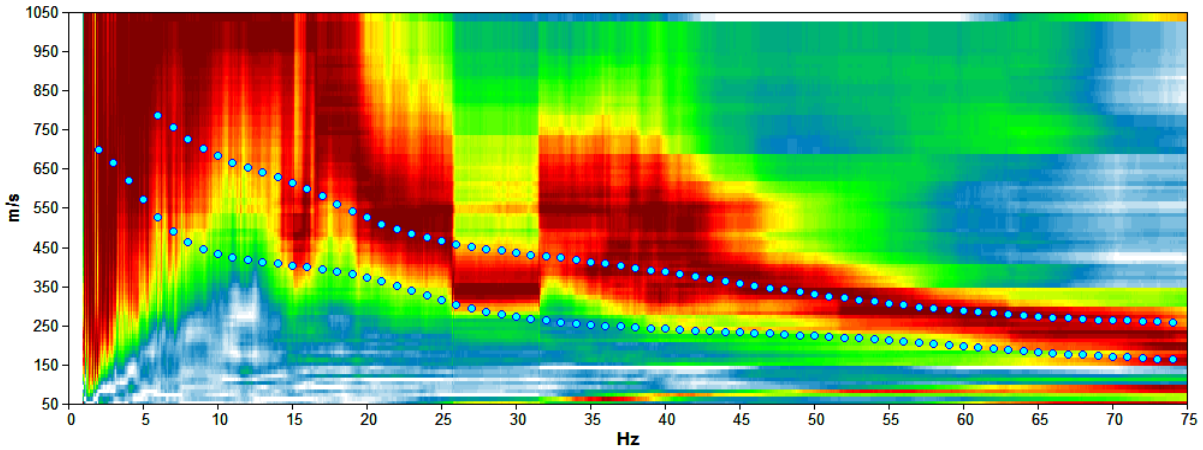
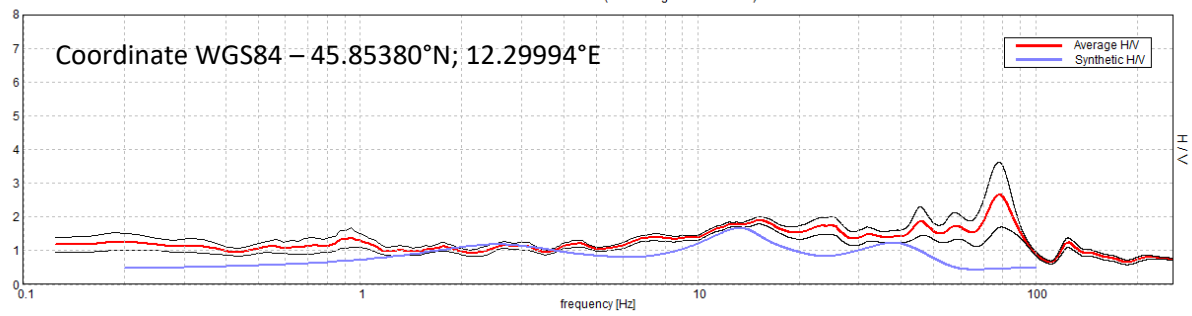
53



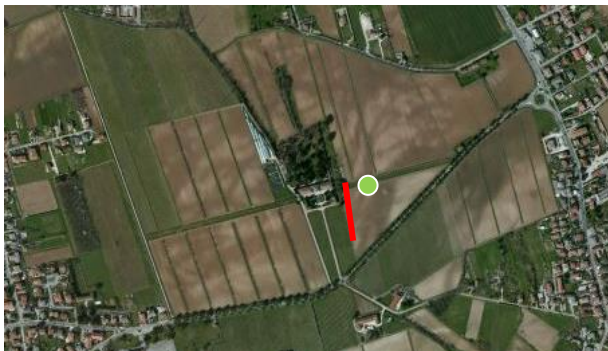
Profondità in [m] dal p.c. locale	Vs in [m/s]
0,0 – 2,0	180
2,0 – 8,5	280
8,5 – ≈ 39	480
≈ 39 – ≈ 99	680
$> \approx 99$	850

Misura sismica Re.Mi.7 (A7) con inversione congiunta all'H.V.S.R. 7 (T7)

Max. HV at 15.31 ± 4.24 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



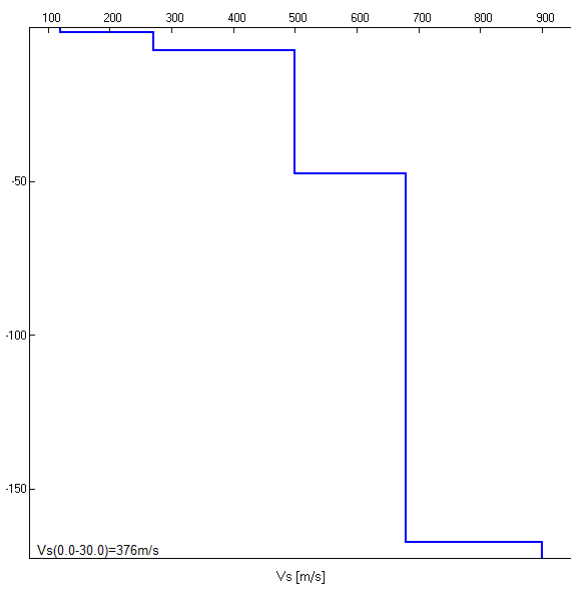
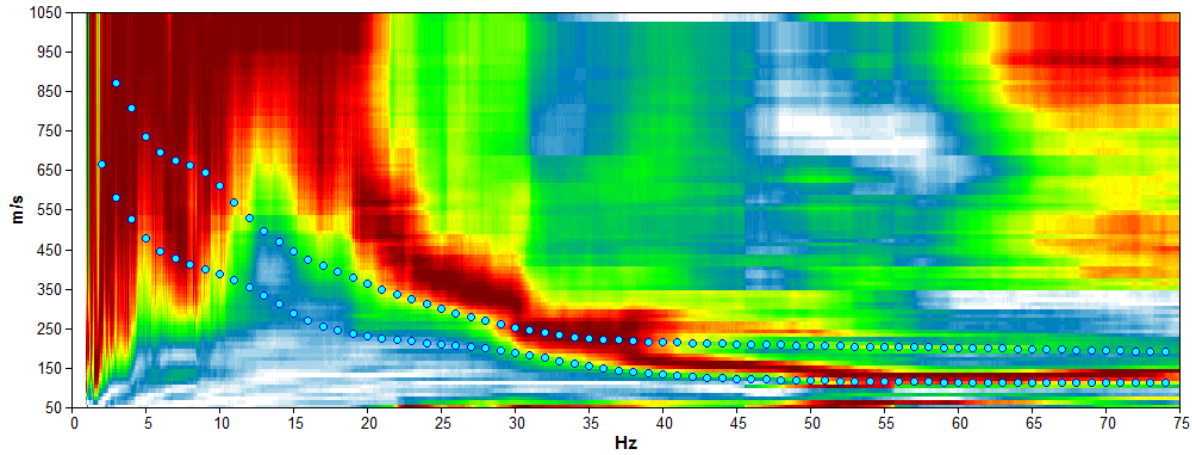
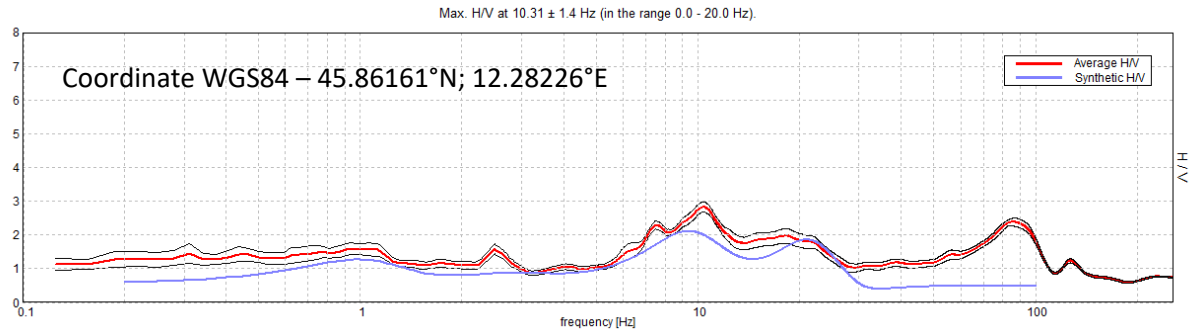
54



Profondità in [m] dal p.c. locale	Vs in [m/s]
0,0 – 1,0	150
1,0 – 5,0	280
5,0 – ≈ 30	480
≈ 30 – ≈ 70	670
> ≈ 70	800



Misura sismica Re.Mi.8 (A8) con inversione congiunta all'H.V.S.R. 8 (T8)



55



Profondità in [m] dal p.c. locale	Vs in [m/s]
0,0 – 1,5	120
1,5 – 7,5	270
7,5 – ≈ 48	500
≈ 48 – ≈ 168	680
> ≈ 168	900



8.3 Modellazioni numeriche avanzate - Stima dei fattori di amplificazione

Come illustrato nelle pagine precedenti, il comune di Santa Lucia di Piave non si presta ad un'analisi di Livello 2, (in riferimento alla stima del fattore di amplificazione) a causa delle sue condizioni geologico-stratigrafiche, che non permettono una stima univoca della profondità del *bedrock* geofisico e rendono irrealistiche le stime degli abachi.

Per questo, le quantificazioni della risposta sismica di sito sono state condotte utilizzando delle modellazioni numeriche lungo profili stratigrafici monodimensionali rappresentativi del comune di Santa Lucia di Piave. Tutte le simulazioni hanno considerato gli effetti amplificativi del moto sismico dovuti alla stratigrafia ottenuta mediando i risultati ottenuti dalle misure sismiche effettuate sul territorio.

In particolare, sono state effettuate n°3 modellazioni in corrispondenza della zona 1 caratterizzata da depositi ghiaiosi con granulometria ben assortita di ambiente fluvio-glaciale mentre la quarta modellazione è stata condotta nell'ambito CLfg - zona 3, contraddistinta da contrasti di rigidità più elevati a causa della presenza di modesti spessori superficiali di materiali argillosi di ambiente fluvio-glaciale.

La tecnica di risoluzione numerica adoperata è stata quella alle differenze finite (FDM) implementata nel codice di calcolo **FLAC 8.0** (ITASCA, 2015), operante nel dominio del tempo. Il codice effettua un'analisi lagrangiana del continuo risolto mediante uno schema di avanzamento temporale di tipo esplicito.

In particolare, la quantificazione numerica degli effetti sarà rappresentata dai fattori amplificativi FA (fattore di amplificazione a basso periodo in termini di accelerazione nell'intervallo 0.1-0,5s) e FV (fattore di amplificazione in termini di pseudovelocità nell'intervallo 0,5-1,5s). Il primo corrisponde al fattore di amplificazione determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione mentre il secondo corrisponde al fattore di amplificazione a periodo proprio per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità.

8.3.1 Descrizione del metodo

Il codice di calcolo **FLAC 2D v.8.0** (*Fast Lagrangian Analysis of Continua*) della Itasca (2015) 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:



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

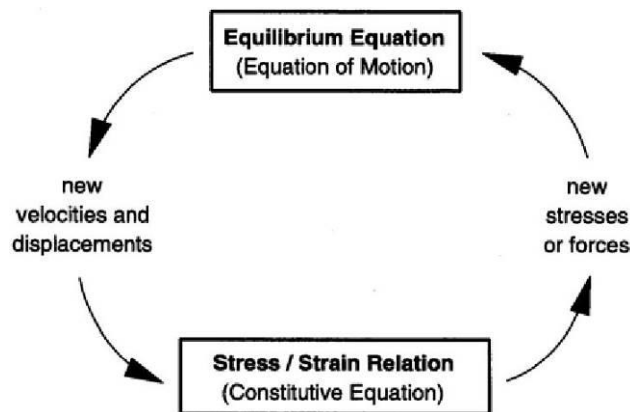
dove k è un parametro che tiene conto della storia di carico, M un funzionale ed $\dot{\epsilon}_{ij}$ il tensore velocità di deformazione espresso dalla:

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

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 ed 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*.

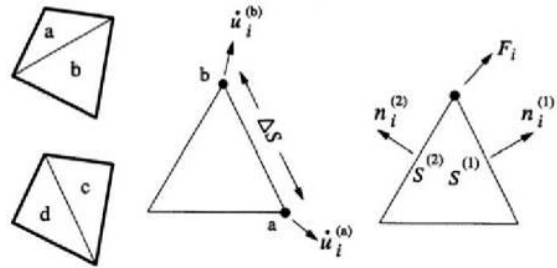
In sintesi, l'algoritmo risolutivo dell'approccio esplicito si articola secondo il ciclo indicato nella seguente figura.



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 ed 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
- d_s la lunghezza incrementale lungo il contorno S .

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

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

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 ed 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:

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

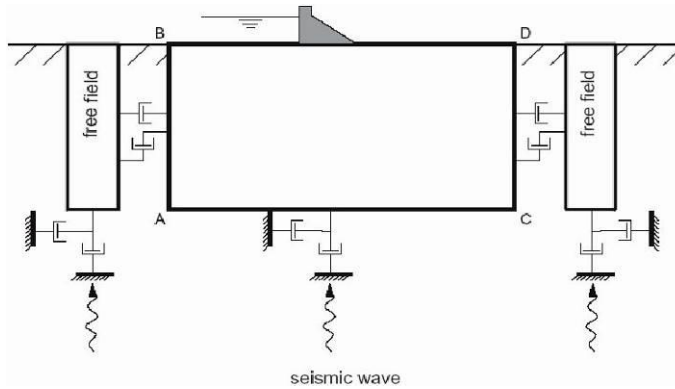
dove A è la superficie del subelemento triangolare, Δx_{max} la dimensione massima della zona (in genere la diagonale) e V_p la velocità delle onde di compressione. La funzione minimo è presa su tutte le zone. Il *timestep* critico è tanto più piccolo (e i tempi di calcolo quindi tanto più elevati) quanto più la rigidità 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 ad un valore compreso tra un decimo ed 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 ad 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 ed 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 ed 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 - γ e D - γ , 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 ciascun *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 ad 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 . E' 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:

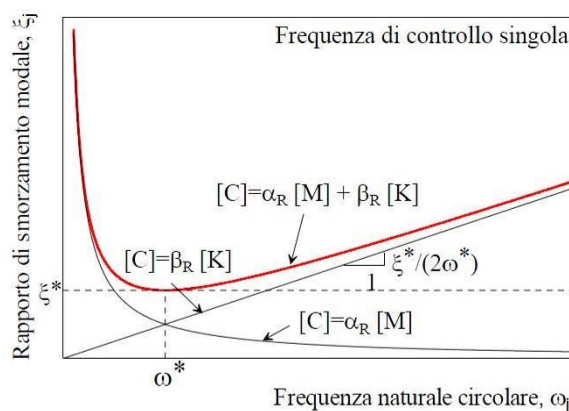
$$\alpha_R = \xi^* \omega^* \quad , \quad \beta_R = \frac{\xi^*}{\omega^*} \quad (8.13)$$

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:

$$\xi_j = \frac{\xi^*}{2} \left(\frac{\omega^*}{\omega_j} + \frac{\omega_j}{\omega^*} \right) \quad (8.14)$$

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 generale, f^* deve essere scelta nel campo di frequenza significativo per il problema in esame sia in termini di frequenze naturali del sistema che di frequenze predominanti dell'input. In prima approssimazione, si può collocare f^* tra la frequenza fondamentale del sistema e la frequenza predominante dell'input (frequenza corrispondente al massimo dello spettro di Fourier o di risposta). Se questi valori sono distanti è comunque opportuno esaminare con analisi parametriche l'influenza sui risultati delle diverse scelte di f^* .

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*.

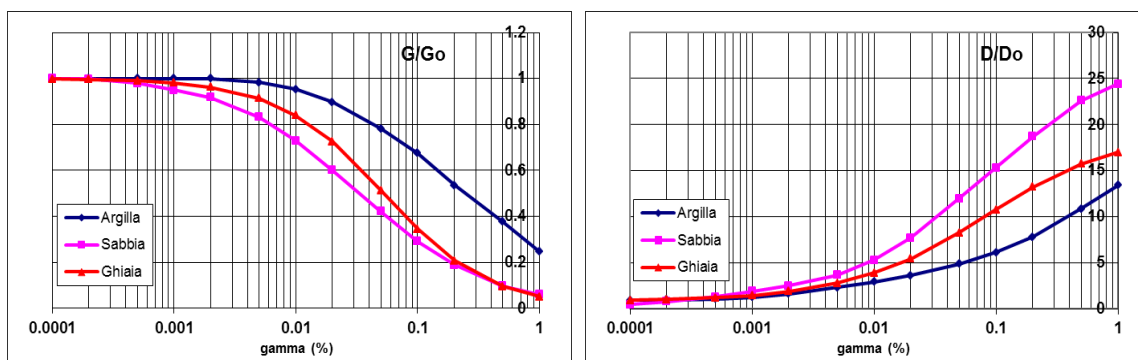
Il codice offre notevoli potenzialità di dati in output, potendo restituire la storia temporale di tutte le grandezze di interesse: spostamenti, velocità, accelerazioni, deformazioni e tensioni. L'interfaccia grafica consente, inoltre, di costruire ed esportare i grafici delle sopracitate grandezze,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

8.3.2 Casi applicativi nel Comune di Santa Lucia di Piave

Per quantificare l'azione sismica in superficie sono state realizzate delle sezioni verticali monodimensionali di rigidità del sottosuolo sulle quali è stata successivamente condotta la modellazione numerica, come precedentemente spiegato. Le sismostratigrafie e i valori di rigidità utilizzati sono quelli ottenuti dalle indagini sismiche eseguite appositamente e precedentemente descritte.

Il modello geometrico è stato discretizzato con una maglia ad elementi quadrangolari, le dimensioni dei quali sono state stabilite in funzione delle lunghezze d'onda minime caratterizzanti il fenomeno di propagazione sismica, determinabili con la relazione di Kuhlemeyer & Lysmer ($h_{max} < V_s / 10 * f_{max}$) in funzione delle velocità delle onde di taglio nei diversi terreni del modello e della frequenza massima di interesse dei segnali accelerometrici selezionati ($f_{max}=10$ Hz).

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 & Kuhlemeyer (1969), forzano i nodi delle frontiere laterali a riprodurre il moto di *free - field*, essenziale per le analisi di risposta sismica locale monodimensionale.



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 %) ed utilizzando lo *smorzamento isteretico* per i materiali di copertura tramite le curve G / G_0 e D / D_0 indicate negli “Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica” e sotto riportate.

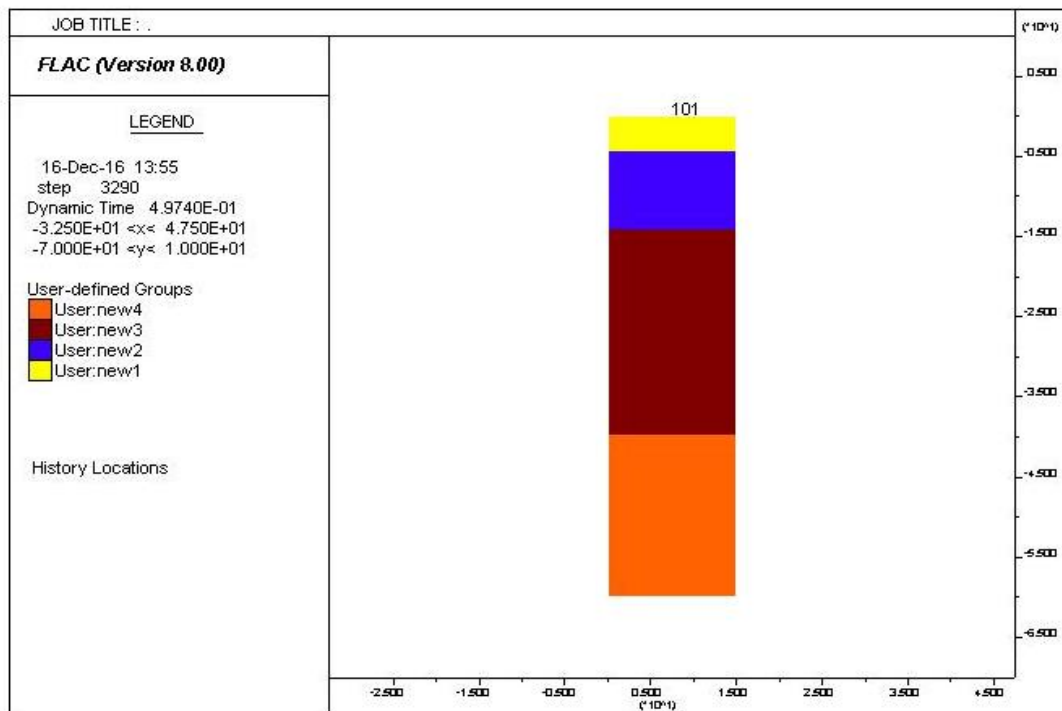
Nel rispetto della normativa vigente - *D.M. 14 gennaio 2008* - è stata assunta una severità dell’azione sismica con la probabilità di superamento, P , e con il periodo di ritorno, T_r , relativi allo stato limite considerato. In particolare, è stata considerata una vita nominale della costruzione (V_n) di 50 anni, un coefficiente d’uso (C_u) pari a II e quindi una vita di riferimento $V_r = 50$ 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).

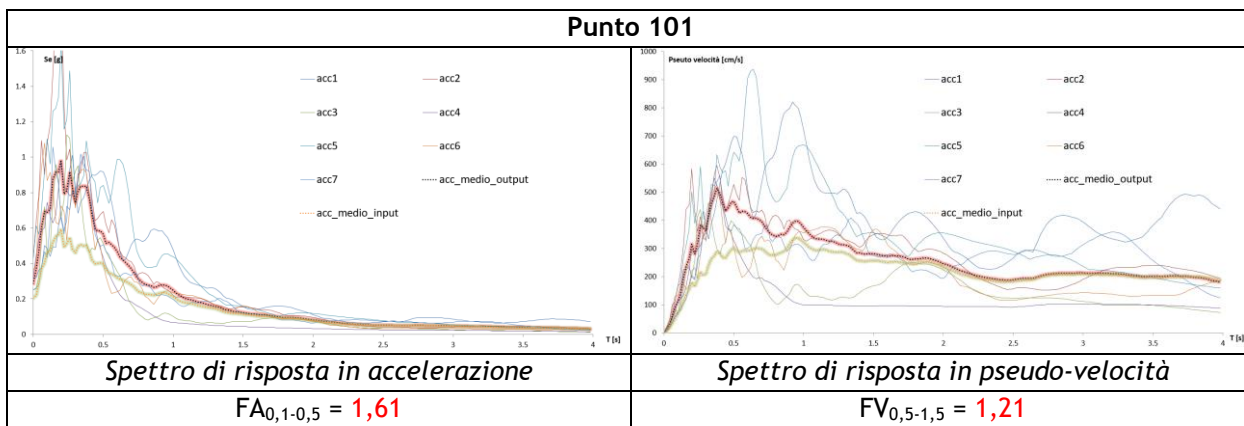
L’input sismico utilizzato è rappresentato da una settupla di storie accelerometriche applicate alla base del modello e riferite agli spettri di Normativa calcolati per il sito in esame, considerando un sottosuolo di roccia affiorante (classe A) con topografia orizzontale (T1) e correttamente deconvoluto (v. Dynamic Analysis della ITASCA, 2011). In particolare, gli accelerogrammi sono stati ricavati tramite l’utilizzo del software REXEL - *computer aided record selection for code - based seismic structural analysis*.

La *history* (storia temporale) ricavata al tetto del modello (per ogni input sismico applicato) rappresenta la storia accelerometrica orizzontale attesa nel sito d’indagine: ogni *history* è stata successivamente plottata in uno spettro di risposta elastico e mediata in una curva rappresentativa (accelerogramma medio) confrontabile con gli spettri di normativa provenienti dall’approccio semplificato.

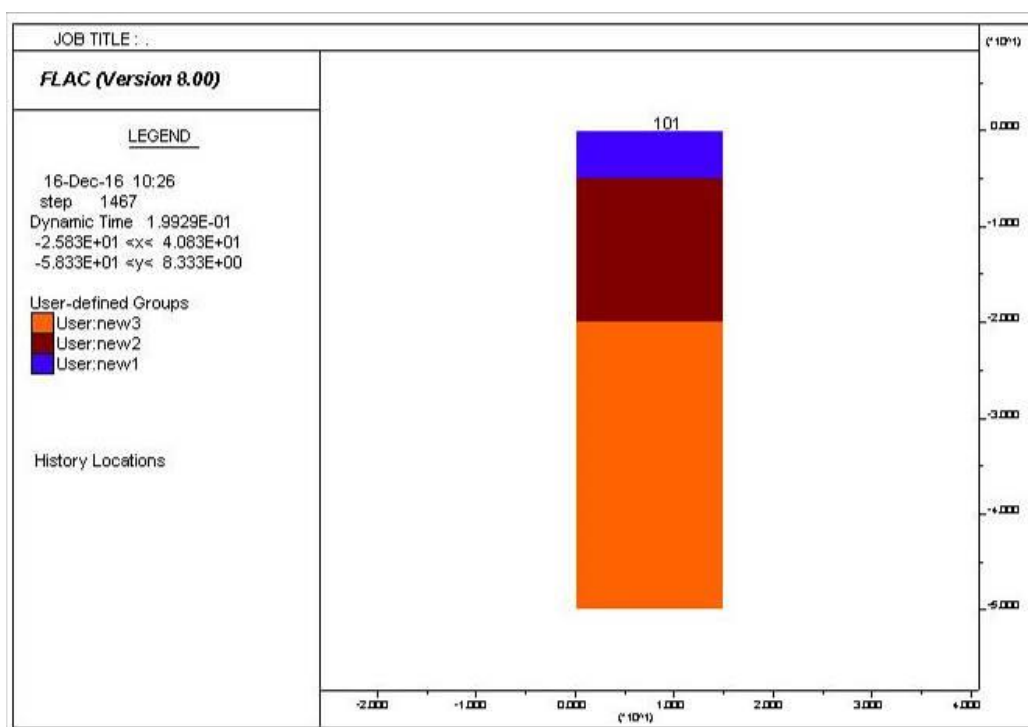
Tutte le *history* ottenute sono state successivamente plottate in uno spettro di risposta elastico e mediate in una curva rappresentativa. Infine, per calcolare il Fattore di Amplificazione (FA) si è confrontato lo spettro medio in ingresso con quello in uscita, calcolando il rapporto dell’intensità di *Housner* per periodi compresi tra 0,1 s e 0,5 s (FA) e tra 0,5 s e 1,5 s (FV) poiché, in tali intervalli, si ha la massima risposta in accelerazione e in pseudovelocità.

MODELLO N. 1

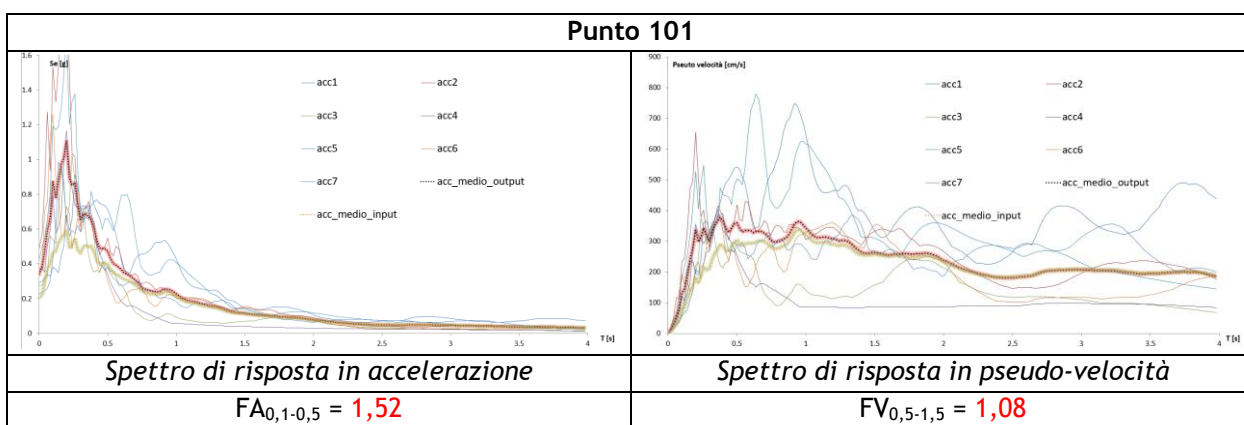




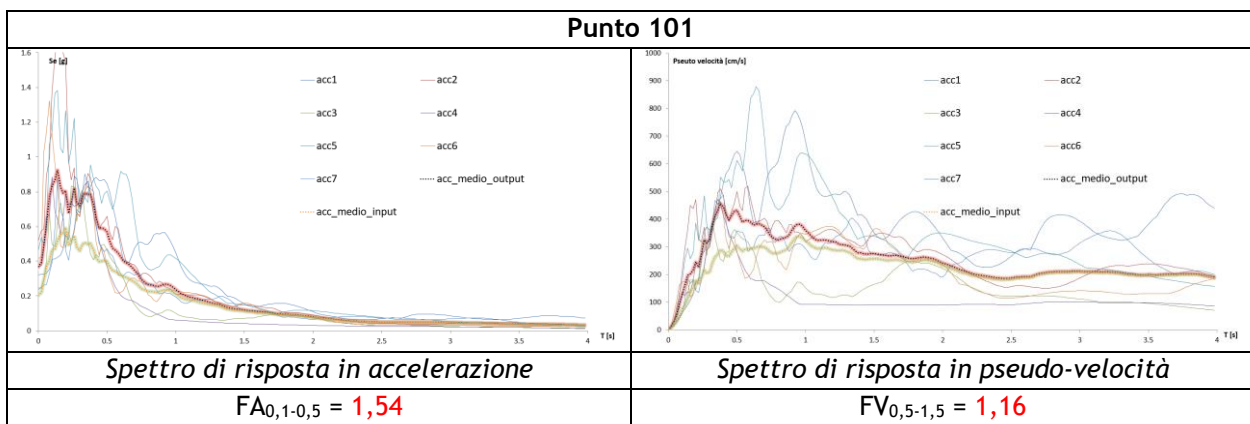
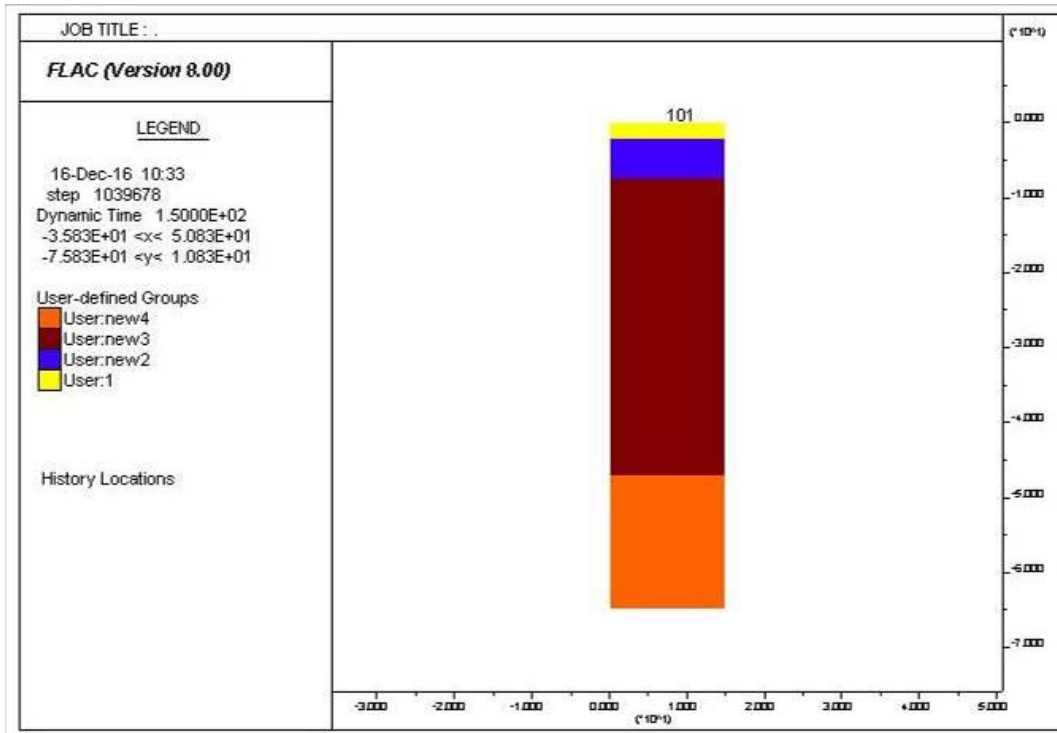
MODELLO N. 2



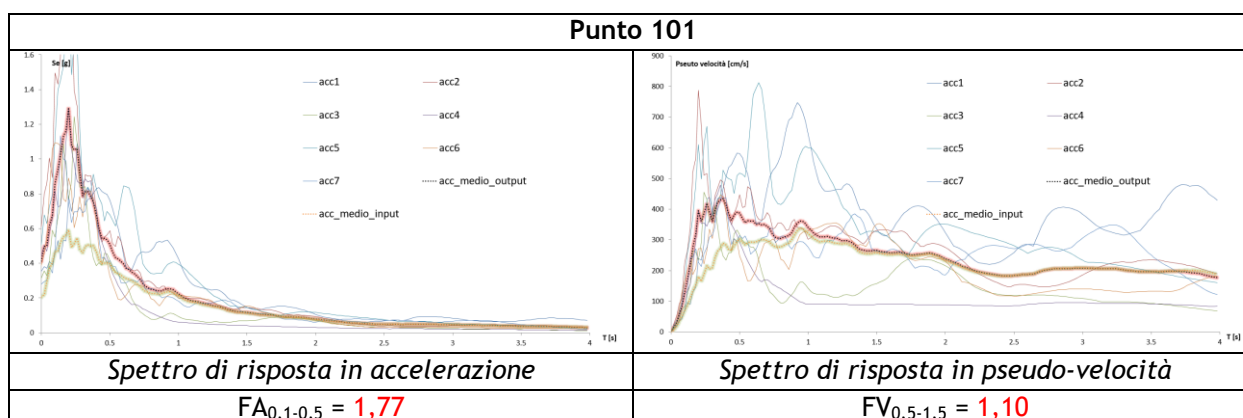
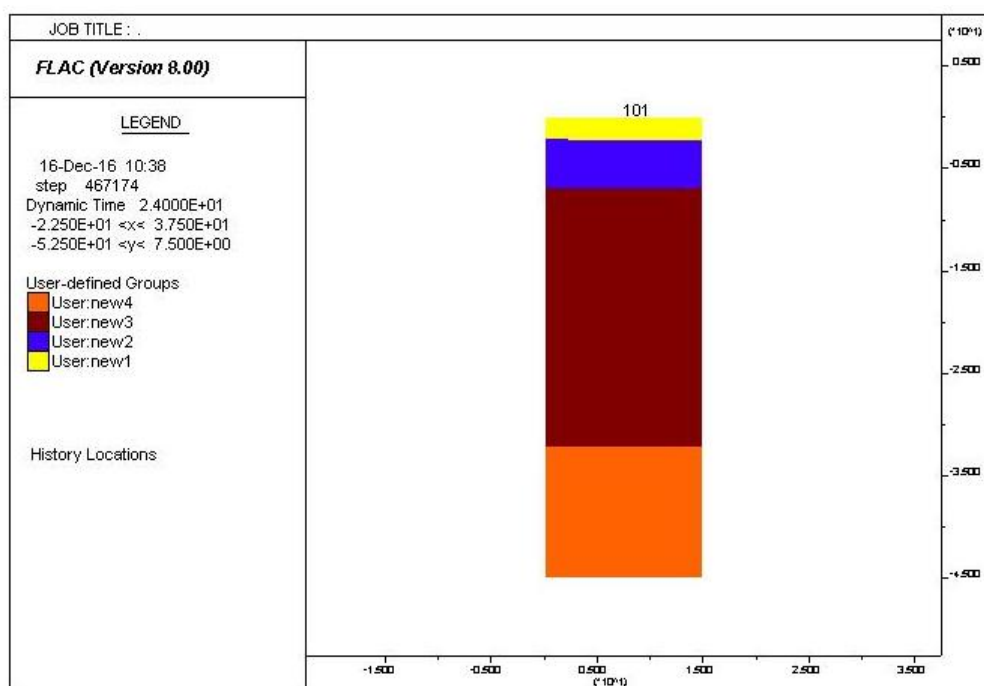
65



MODELLO N. 3



MODELLO N. 4



67

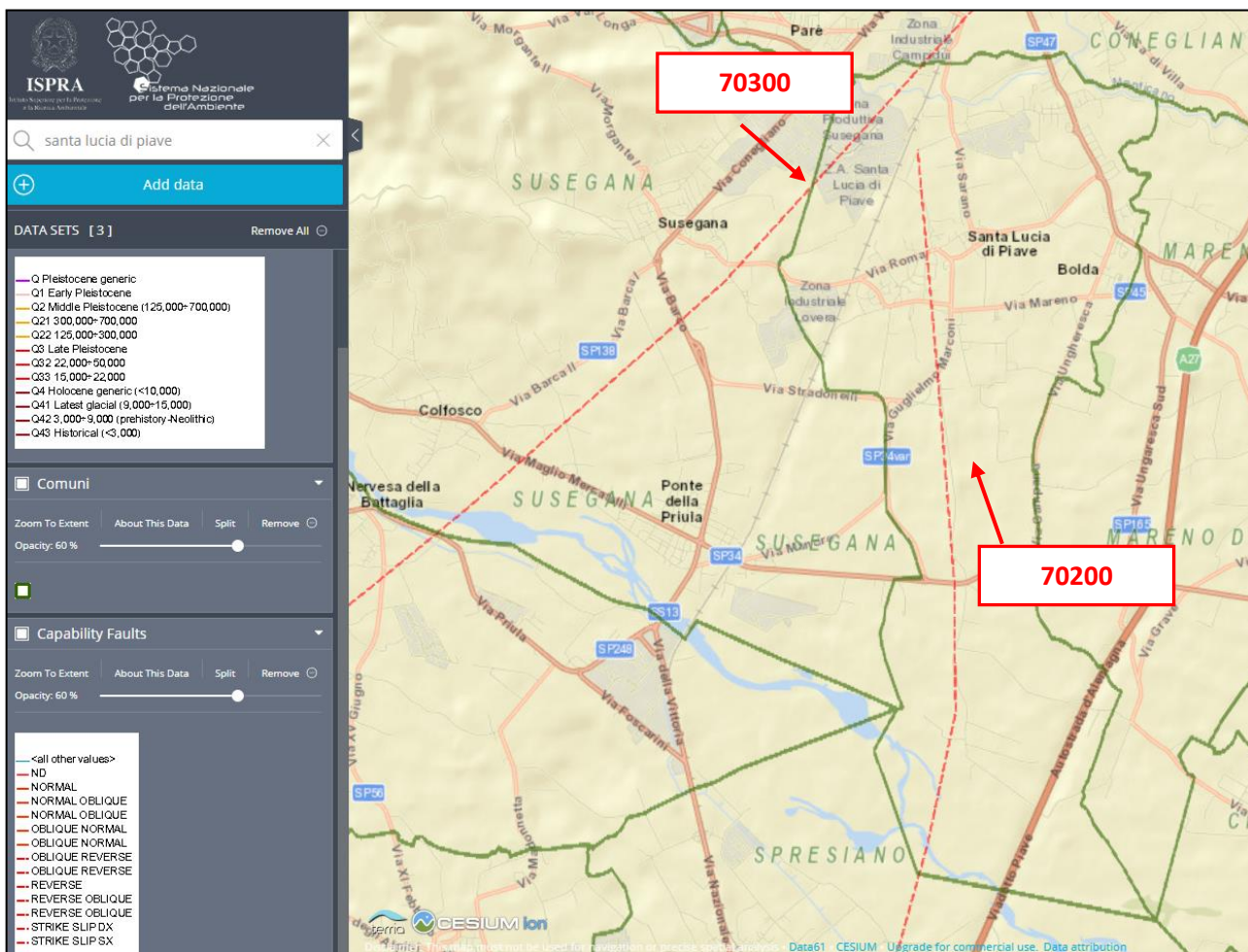
A partire dai risultati ottenuti è stato possibile ottenere la “Carta di microzonazione sismica Livello 3 (FA 0,1-0,5s)” e “Carta di microzonazione sismica Livello 3 (FV 0,5-1,5s)”.

Dalla loro consultazione è possibile trarre alcune interessanti considerazioni:

- il territorio comunale di Santa Lucia di Piave è caratterizzato da valori amplificati del moto sismico di base che variano tra circa 1,5 e 1,8 per l’FA e tra 1,1 e 1,2 per l’FV;
- l’andamento del fattore di amplificazione FA evidenzia che l’intero comune risulta diviso in due aree in cui il fattore di amplificazione è variabile da 1,5-1,6 a 1,7-1,8. Questa differente amplificazione del moto sismico tra la porzione settentrionale e quella centro-meridionale del comune è dovuta alle variazioni litologiche riportate nella Carta Geologico-Tecnica e nelle MOPS. In particolare, la presenza di materiale fine prevalentemente limoso-argilloso con spessori di pochi metri poggiate sul sottostante deposito ghiaioso, comporta un aumento di FA che risulta sensibile ai contrasti di rigidità presenti nei primi metri dal p.c. locale;
- per quanto riguarda il fattore di amplificazione FV, le modellazioni numeriche hanno restituito valori compresi tra 1,08-1,21 distribuiti omogeneamente su tutto il territorio comunale; tale intervallo di valori ricade all’interno della zona 1,1-1,2 come illustrato nelle linee guida per la MS.

9 MODELLAZIONI NUMERICHE RELATIVE ALLE “FAGLIE ATTIVE E CAPACI”

Relativamente ai lineamenti tettonico-strutturali, in seguito all’aggiornamento del visualizzatore telematico del catalogo ITHACA, si sono potute osservare delle differenze nella localizzazione delle faglie attive e capaci ubicate all’interno del territorio comunale di Santa Lucia di Piave. In particolare, la nuova disposizione è riportata nell’immagine seguente.



Per la determinazione delle faglie sopra riportate è stata condotta una ricerca da D. Castaldini e M. Panizza nel 1991 “Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e il lago di Como (Italia settentrionale)”. Dalla consultazione di tale pubblicazione è possibile formulare alcune considerazioni:

- secondo il catalogo ITHACA la qualità dello studio è da considerarsi DISCRETA;
- la cartografia è stata redatta ad una scala 1:500.000 e sono state cartografate 144 faglie di cui 24 considerate “Attive” e 120 “Ritenute Attive”; per nessuna di queste se ne attribuisce la “capacità” di creare deformazioni in superficie;
- la ricerca è stata condotta interamente sulla base del materiale bibliografico disponibile e non sono state fatte, in alcun modo, verifiche sul territorio.

Nome faglia	Sacile Line	Montello Line
Tipo Faglia	Inversa	Inversa
Codice faglia	70200	70300
Macrozona	2	2
Regione	Veneto	Veneto
Sistema	Sacile Line	Montello Line
Ordine	Primaria	Primaria
Direzione media	225	240

Lunghezza (km)	30	80
Ultima attività (anni)	Olocene generico (< 10.000)	Olocene generico (< 10.000)
Affidabilità dato sull'attività	Media	Alta
Tecnica per valutazione	-	Dati geomorfologici
Evidenze della capacità	Dislocazioni nei depositi olocenici e/o forme geomorfologiche	Dislocazioni nei depositi olocenici e/o forme geomorfologiche
Litologia tagliata	-	Dolomie
Velocità di slittamento (mm/anno)	0.06 mm/anno	1.9 mm/anno
Massima lunghezza attesa di	0	1000
Massimo scivolamento atteso (m)	0	200000
Massima magnitudo prevista (Mw)	-	6
Qualità dello studio	Discreto	Discreto

In accordo con quanto stabilito negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), è considerata attiva una faglia che si è movimentata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene) ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno; questa definizione si riferisce al piano di rottura principale della faglia (piano su cui avviene la maggiore dislocazione).

Le condizioni preliminari affinché si debbano eseguire studi di dettaglio sulle faglie attive e capaci sono:

- l'area oggetto di studi di MS ricade in area epicentrale di terremoti storici con $M_w > 5.5$;
- la letteratura scientifica disponibile già riporta la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche;
- evidenze di attività recente delle faglie rilevate sul campo da geologi, durante i rilievi geologico-tecnici per la stesura delle carte di MS.

Gli elementi generalmente indicativi dell'attività recente di una faglia sono di ordine sia geomorfologico (anomalie nelle forme del paesaggio, diversione di corsi d'acqua o di altri elementi lineari, scarpate di faglia) sia, ovviamente, tettonico (faglie che dislocano terreni tardo pleistocenici-olocenici).

Nel caso di Santa Lucia di Piave, i primi due indicatori sono confermati mentre non ci sono indizi superficiali della recente attività sismica né dalla consultazione di ortofoto né da rilievi sul campo effettuati dallo scrivente.

Dalle considerazioni sopra riportate, non è possibile, ad oggi, accertare ma soprattutto localizzare con precisione la presenza di una faglia attiva e capace di creare dislocazioni in superficie all'interno del territorio comunale di Santa Lucia di Piave.

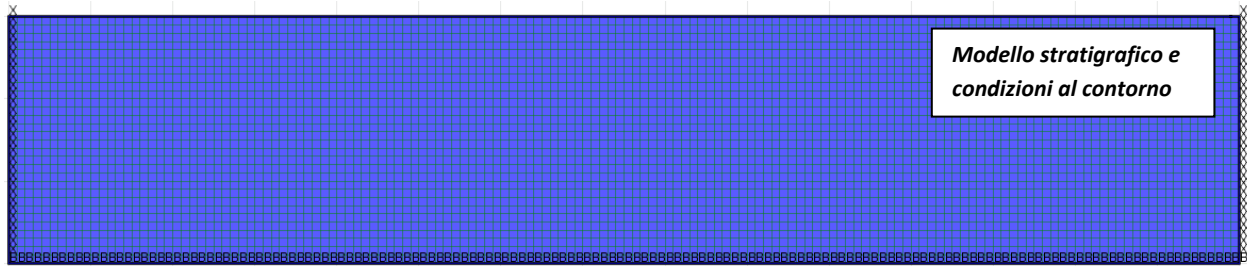
Dato il rischio sismico che una attività di dislocazione tettonica può provocare in superficie, si è deciso di effettuare uno studio approfondito sulla propagazione della rottura per faglia all'interno dei depositi quaternari che caratterizzano il sottosuolo di Santa Lucia di Piave, attraverso una modellazione numerica con il codice di calcolo *FLAC 8.0 (Itasca, 2016)*. In particolare, la modellazione ha lo scopo di simulare l'evolversi della deformazione lungo un piano di faglia, valutando l'ampiezza dell'area deformata dall'eventuale fagliazione in superficie e la deviazione della traccia del piano di faglia reale dalla sua proiezione verticale.

La prima fase si è sviluppata attraverso la creazione di un modello sismo-stratigrafico rappresentativo dell'area in esame: per semplicità si è considerato un modello bidimensionale orizzontale esteso per circa 1,5 km e per 300 m di profondità dal p.c. locale. La base del modello rappresenta l'interfaccia con il basamento geologico la cui profondità è stata ipotizzata sulla base dei dati disponibili nel catalogo ISPRA relativi a pozzi profondi e sondaggi geognostici che non hanno mai raggiunto il substrato e anche consultando delle sezioni sismiche a riflessione per la ricerca di idrocarburi a cura dell'ENI risalenti al 2002 di cui si riporta un estratto nella pagina seguente. A tale proposito, si precisa che nel comune di Santa Lucia di Piave, il substrato geologico non coincide con il *bedrock* sismico individuato nelle indagini elaborate per il presente studio a profondità di circa 70-100 m, in quanto l'elevata rigidità delle ghiaie

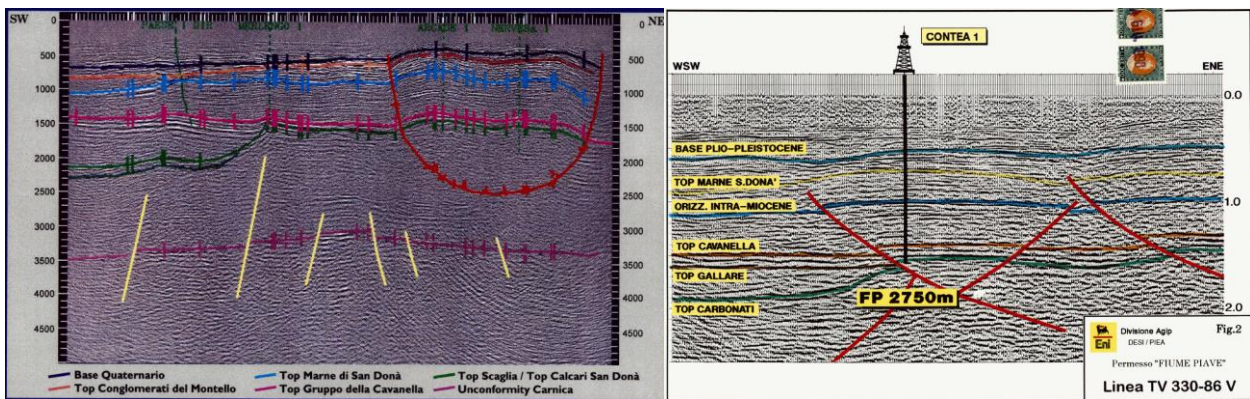


che caratterizzano il territorio ha mascherato il passaggio con il substrato geologico, impendendone l'interpretazione.

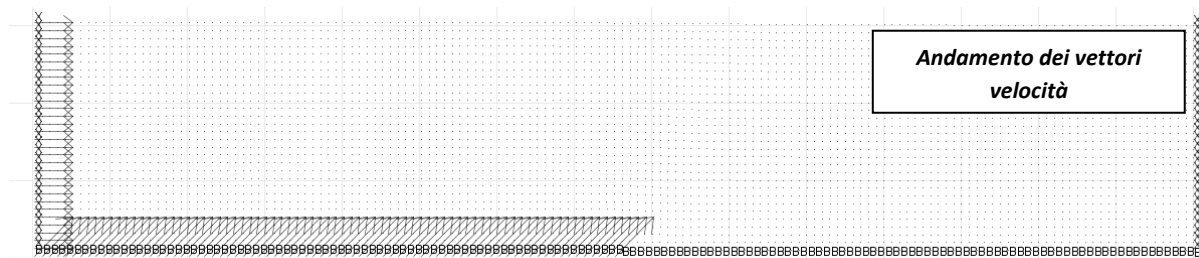
Dal punto di vista litologico, si è considerato un materiale ghiaioso addensato il cui comportamento geotecnico è stato assimilato a un modello costitutivo Mohr-Coulomb (angolo di attrito 35° e coesione nulla).



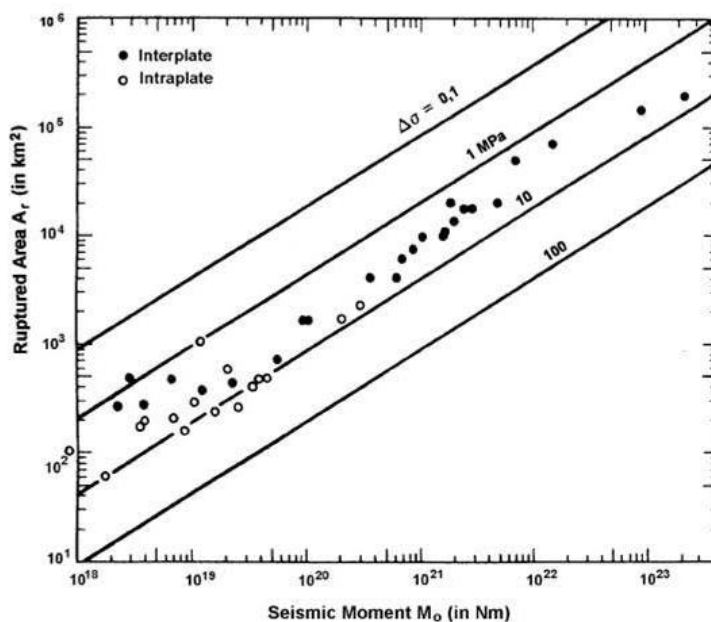
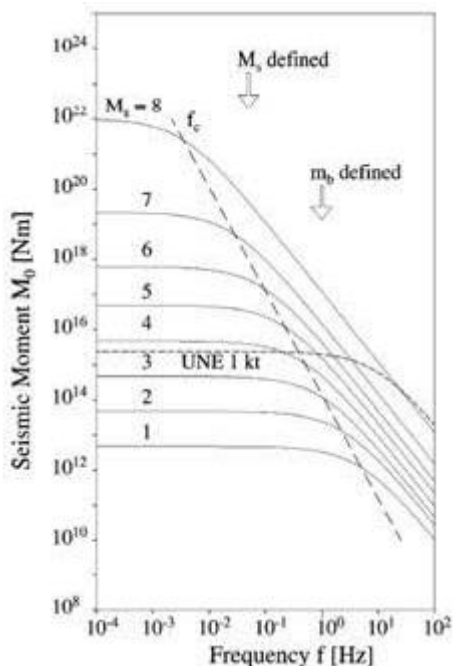
Relativamente alle condizioni al contorno, nella fase di creazione del modello si è imposta una condizione di spostamento nullo in direzione orizzontale ai lati del modello, e spostamento nullo sia lungo la verticale che l'orizzontale alla base dello strato.



Dopo aver creato il modello, si è simulato lo spostamento lungo il piano di faglia: si è ipotizzata una faglia inversa con inclinazione di 45° seguendo le ipotesi proposte nell'articolo "Benedetti et al. 1999" relativo alla geodinamica dell'area del Montello. Pertanto, si sono applicati dei vettori velocità al confine laterale e inferiore della porzione del modello dislocante. I vettori alla base si sono imposti paralleli al piano di faglia, mentre quelli laterali lungo la direzione orizzontale entrante (per simulare la compressione dovuta alla faglia inversa).



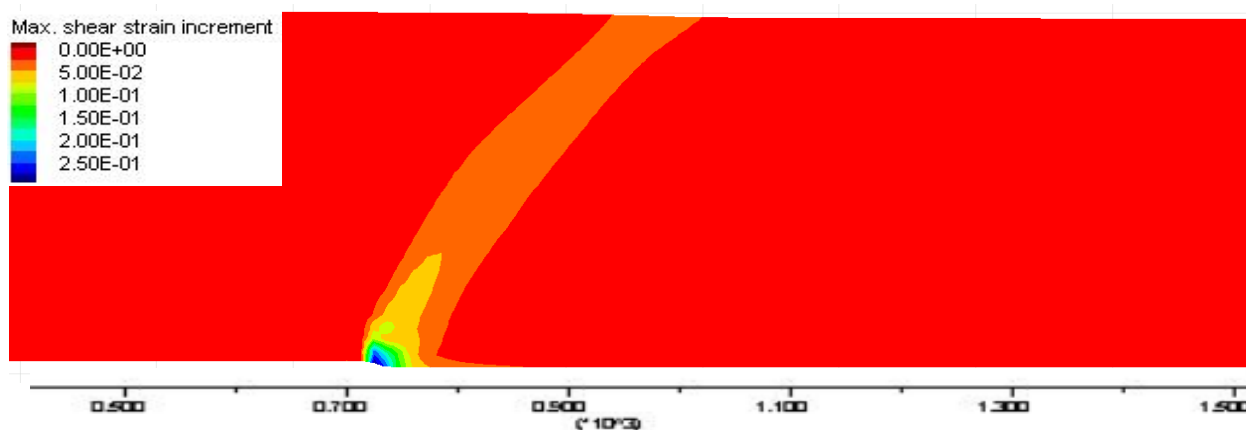
Riguardo l'ampiezza dei vettori in termini di velocità, essa è correlata al numero di *step* di calcolo che effettua il programma e alla dislocazione tettonica massima che la faglia è in grado di produrre. Questo parametro è stato ottenuto a partire da delle relazioni empiriche e grafiche che correlano la magnitudo momento massima attesa nell'area, il momento sismico scalare, l'area di faglia e la rigidità crostale.



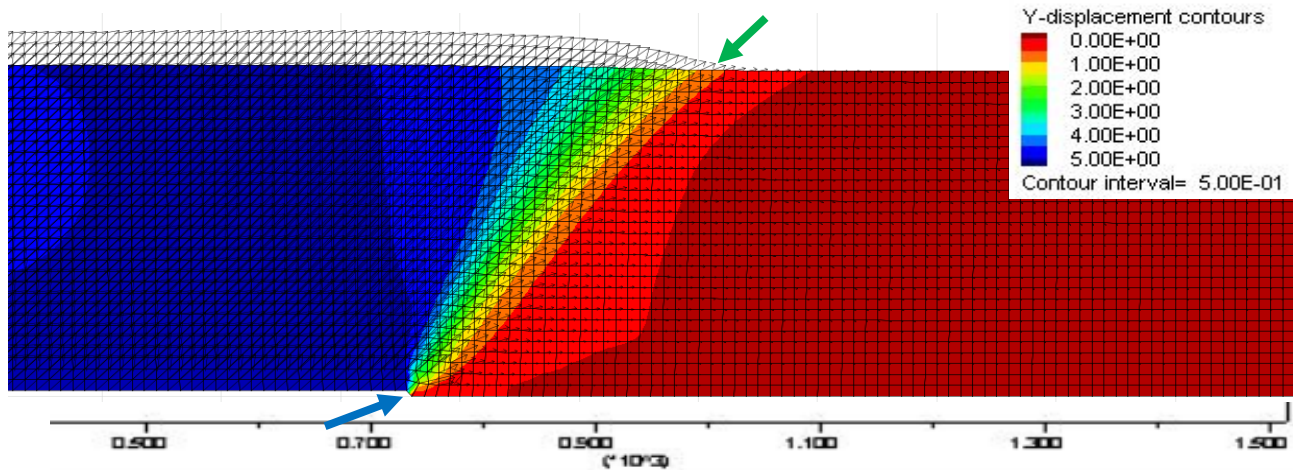
Considerando per l'area di indagine una magnitudo momento massima di 6,60Mw, una rigidezza di 30 GPa e un momento sismico di 10^{-19} , si è ricavato una dislocazione tettonica massima di circa 5 m. Imponendo tale spostamento e un numero di step pari a 50000, i vettori hanno un'ampiezza dell'ordine di 10^{-4} m/s.

Nelle modellazioni effettuate, si è deciso di considerare il campo delle grandi deformazioni che consente di poter modellare il movimento di ogni nodo della griglia e quindi simulare un comportamento non lineare del materiale. I risultati delle modellazioni effettuate riguardanti la propagazione della rottura della faglia inversa attraverso il deposito ghiaioso di 300 m, hanno prodotto i seguenti risultati:

- plottando lo *shear strain increment (ssi)* si può osservare l'andamento della *shear band*, ossia dell'area all'interno della quale il materiale subisce una deformazione di taglio. Essa inizia nel punto di intersezione del piano di faglia con l'interfaccia *bedrock* - terreno e si propaga verso la superficie. I valori di *strain* sono risultati di $2.5 \cdot 10^{-1}$ nel punto di rottura e di $2.5 \cdot 10^{-2}$ in prossimità della superficie mostrando, quindi, una diminuzione di un ordine di grandezza;



- l'inclinazione della *shear band* risulta essere di circa 55° , pertanto ha subito una deviazione angolare dalla proiezione originale del piano di faglia (45°) di circa 10° ;
- l'andamento dei vettori spostamento evidenzia che alla base del modello si è ottenuta una dislocazione massima di 5 m e che la loro ampiezza si annulla in superficie a circa 300 m (freccia verde) dal punto di rottura ipotizzato (freccia azzurra).



Dalle considerazioni sopra riportate è possibile affermare che le deformazioni in superficie si localizzano a circa 300 m di distanza rispetto alla proiezione in pianta della faglia stessa a causa delle caratteristiche geotecniche dei materiali e a quelle della faglia stessa; risultano quindi inapplicabili le linee guida sulla microzonazione sismica che prevedrebbero un *buffer* massimo di attenzione pari a 400 m.

Inoltre, l'andamento dello *shear strain increment* non permette di escludere a priori la possibile rottura in superficie ma evidenzia che i valori massimi di deformazione sono individuati nei primi 100 m al di sopra del *bedrock* geologico.

Pertanto, in merito alle faglie di Santa Lucia di Piave, è possibile trarre le seguenti conclusioni:

- il territorio analizzato si inserisce in un complesso sistema tettonico-stratigrafico dove il basamento roccioso risulta caratterizzato dalla presenza di faglie attive (cfr. Castaldini - Panizza, 1991);
- il catalogo ITHACA ipotizza la presenza di alcune faglie attive e capaci all'interno del comune di Santa Lucia di Piave;
- l'assetto stratigrafico locale mostra che nel territorio comunale, sono presenti dei depositi sciolti (centinaia di metri) a copertura del substrato geologico che mascherano le evidenze morfologiche correlate alla capacità delle FAC individuate da ITHACA;
- la modellazione numerica condotta, ha evidenziato che la massima deformazione attesa in seguito ad una dislocazione di 5 m imposta al substrato, è compresa nei primi 100 m al di sopra del *bedrock* geologico.

72

In virtù di queste considerazioni, ad oggi, non risulta possibile individuare le aree in cui, in occasione di eventi sismici di magnitudo rilevante, potrebbero verificarsi dislocazioni superficiali tali da determinare delle instabilità sismo-indotte.

Pertanto, nel presente studio di Livello 3 si è ritenuto opportuno riconsiderare le FAC individuate nel database ITHACA come faglie inverse prive di capacità.

Questa modifica ha reso necessario l'aggiornamento della carta Geologico-Tecnica e della Carta MOPS, in quanto:

- nella CGT, le faglie sono state indicate come "faglie inverse non attive" e ne è stata aggiornata l'ubicazione secondo il nuovo catalogo ITHACA;
- nella MOPS non sono più presenti le suddette faglie, in quanto secondo gli standard della microzonazione, nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica è necessario inserire solo le FAC.



10 REDAZIONE CARTOGRAFICA BASI INFORMATICHE

L'analisi di MS ha prodotto informazioni che sono state cartografate secondo le indicazioni previste dalle Linee Guida Regionali integrate con quelle emanate dalla Protezione Civile Nazionale. Il contenuto informativo della Carta delle indagini è esplicitato attraverso la relazione di n°2 *shapefiles* (Sito_pu e Sito_ln). Le altre cartografie sono così costituite:

Carta geologico-tecnica

Nome file	Tipo <i>shapefile</i>	Descrizione
<i>Geotec</i>	Poligonale	<i>Litologie: terreni di copertura e/o substrato geologico</i>
<i>Elineari</i>	Lineare	<i>Elementi lineari: tettonico-strutturali, forme di superficie e sepolte, tracce di sezione</i>
<i>Geoidr</i>	Puntuale	<i>Elementi geologici e idrogeologici</i>

Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) di Livello 1

Nome file	Tipo <i>shapefile</i>	Descrizione
<i>Stab</i>	Poligonale	<i>Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali</i>
<i>Elineari</i>	Lineare	<i>Elementi lineari: tettonico-strutturali, forme di superficie e sepolte, tracce di sezione</i>

Carta di microzonazione sismica di Livello 3 (FA e FV)

Nome file	Tipo <i>shapefile</i>	Descrizione
<i>Stab</i>	Poligonale	<i>Fattori di amplificazione puntuali di FA - FV</i>

Carta della pericolosità sismica locale

Nome file	Tipo	Descrizione
<i>CPSL</i>	Poligonale	<i>Zone di pericolosità sismica locale</i>

La cartografia di base utilizzata per l'elaborazione dello studio è la C.T.R. del Veneto, inserita nella cartella "BaseDati" del DVD allegato, le cui coordinate piane sono state convertite in Monte Mario Italy 1.



11 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
- ✚ Brammerini 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
- ✚ F. Galadini, P. Galli, A. Cittadini, B. Gioacchino (2001) - Late Quaternary fault movements in the Mt. Baldo - Lessini Mts. Sector of the Southalpine area (northern Italy)
- ✚ 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
- ✚ Geotomo Software, Res2DinvX64 ver. 4.01 (2012) - Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method
- ✚ 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. Helvius 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, 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>
- ✚ 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. Earthq. 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
- ✚ Panizza M., Slejko D. et al. (1981) - Modello sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda e il Monte Grappa
- ✚ 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 $M - R - \epsilon$ - Progetto DPC-INGV S1, <http://esse1.mi.ingv.it/d14.html>

12 ALLEGATI FUORI TESTO

1 - Carta delle indagini	Scala 1:10.000
2 - Carta delle frequenze	Scala 1:10.000
3 - Carta geologico - tecnica	Scala 1:10.000
4 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	Scala 1:10.000
5 - Carta della pericolosità sismica locale	Scala 1:10.000
6 - Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA	Scala 1:10.000
7 - Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FV	Scala 1:10.000
Schede delle indagini	
DVD contenente i file pdf dello studio e le basi informative	

