



# COMUNE DI SANTA LUCIA DI PIAVE



Provincia di Treviso



## STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA E CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA

*(O.P.C.M. N° 4007 del 29/02/2012 - D.G.R. n° 655 del  
17/04/2012 - D.G.R. n° 1575 del 31/07/2012)*

A cura di:

Maggio 2013



**Dr. Geol. Collareda Matteo**

**Studiosisma**

**Dr. Geol. Collareda Matteo**

Via Lungo Giara 29 - 36033 Isola Vicentina (Vicenza)

Tel. / Fax. 0444 962532 - Cell. 349 0567455

e-mail: [info@studiosisma.com](mailto:info@studiosisma.com) pec: [studiosisma@epap.sicurezza postale.it](mailto:studiosisma@epap.sicurezza postale.it)

Incarico affidato con Determina Comunale n° 8 del 7-11-2012

## INDICE

1	<b>INTRODUZIONE</b> .....	2
2	<b>GENERALITA'</b> .....	2
3	<b>ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA</b> .....	4
3.1	Inquadramento geologico generale .....	4
4	<b>DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	7
4.1	Inquadramento sismotettonico generale .....	7
4.2	Caratterizzazione sismogenetica del Comune .....	10
4.3	Sismicità storica .....	11
4.4	Faglie capaci e sorgenti sismogenetiche .....	15
4.5	Pericolosità sismica di riferimento .....	18
5	<b>MICROZONAZIONE SISMICA: PRINCIPI FONDAMENTALI E FINALITA'</b> .....	21
5.1	Introduzione.....	21
5.2	La natura del problema .....	21
5.3	Finalità e livelli di approfondimento .....	23
6	<b>DATI GEOTECNICI E GEOFISICI DA INDAGINI PREGRESSE E DI NUOVA REALIZZAZIONE</b> .....	24
6.1	Indagini pregresse.....	24
6.2	Metodologia di elaborazione delle nuove indagini .....	24
6.2.1	Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.).....	24
6.2.2	Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.) .....	35
6.3	Modello geosismico del sottosuolo - interpretazione e incertezze .....	37
7	<b>ELABORATI CARTOGRAFICI</b> .....	38
7.1	Carta delle indagini .....	38
7.2	Carta delle frequenze .....	38
7.3	Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica.....	40
7.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello I) .....	41
8	<b>METODO GEOFISICO-STRUMENTALE PER LA CARATTERIZZAZIONE DEGLI INDICATORI DI VULNERABILITA' SISMICA DEGLI EDIFICI</b> .....	43
9	<b>MODELLIZZAZIONI NUMERICHE AVANZATE - LIVELLO III DI APPROFONDIMENTO</b> .....	52
9.1	Descrizione del metodo .....	52
9.2	Casi applicativi nel Comune di Santa Lucia di Piave .....	59
9.3	Commenti finali e criticità .....	63
10	<b>REDAZIONE CARTOGRAFICA E CREAZIONE BASI INFORMATIVE</b> .....	64
11	<b>CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA (C.L.E.)</b> .....	66
12	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	69
13	<b>ALLEGATI FUORI TESTO</b> .....	69

## 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 ed 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 riduce i costi di gestione in fase di emergenza, poiché intervenire sulla mitigazione del rischio riduce alla fonte il loro "peso" economico e sociale sull'ambiente e sulla popolazione.

Procedere in modo preventivo, quindi, significa 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 della loro ricaduta sulla popolazione.

La Regione Veneto, da diversi anni, ha attivato una serie d'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 a quello 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 (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 da tempo noto che le condizioni locali dei terreni di fondazione condizionano in modo importante gli effetti del terremoto: lo stesso evento sismico può provocare scuotimenti decisamente differenti in dipendenza degli spessori e delle caratteristiche dei terreni più soffici presenti negli strati più superficiali o delle caratteristiche morfologiche del sito.

Le caratteristiche geologiche del territorio possono alterare localmente ed in maniera evidente l'azione sismica. Recentemente, anche in Italia (ad esempio Umbria - Marche, 1997 - Salò, 2004 - Aquila, 2010 - Modenese, 2012), sono stati evidenziati livelli di danneggiamento estremamente diversi in edifici ubicati a breve distanza tra loro ed 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 a siti su roccia ed 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 Microzonazione Sismica (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 del terreno e/o geomorfologiche del territorio;
- le zone in cui sono presenti fenomeni di deformazione permanente del territorio, attivi o potenzialmente inducibili / attivabili in caso di sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali, ecc.).

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

- il Livello I 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 II si propone di quantificare l'effetto sismico proprio di ogni zona omogenea individuata nel Livello I, utilizzando allo scopo ulteriori e mirate indagini, ove necessario, e definisce la *Carta di Microzonazione Sismica*;
- il Livello III restituisce una *Carta di Microzonazione Sismica* con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

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

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

3

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.

La normativa di riferimento, per lo svolgimento del presente studio, è rappresentata dalla **D.G.R. n° 655 del 17.04.2012** che recepisce pienamente l'O.P.C.M. 4007/2012, concedendo i contributi a favore degli enti locali. **Lo studio è stato svolto ad un Livello I** 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.

A tal riguardo, anche se non previsto nel Livello I, sono state effettuate delle **misurazioni sismiche su tutto il territorio comunale**, in modo da restituire, oltre a quelle richieste, carte tematiche importanti per lo sviluppo urbanistico del territorio e per gli adeguamenti sismici delle strutture.

In determinate aree individuate dall'Amministrazione Comunale, lo studio è stato approfondito ad un Livello III, per stimare quantitativamente la pericolosità sismica che sarà utilizzabile nelle fasi di progettazione futura. Inoltre, lo studio di vulnerabilità effettuato presso alcune strutture comunali ne ha valutato il grado di sicurezza.

Ad ogni modo, i risultati del Livello I 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

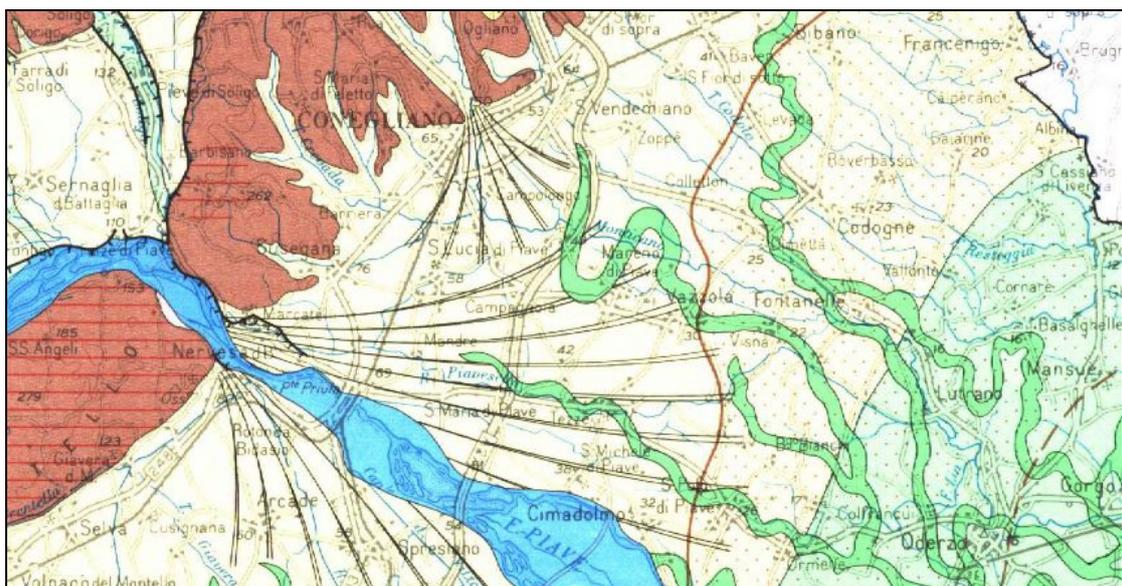
Per l'inquadramento geologico dell'area si è fatto riferimento alle considerazioni riportate nel P.A.T.I. comunale, ad alcune pubblicazioni consultate e alle osservazioni condotte durante i sopralluoghi effettuati.

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.

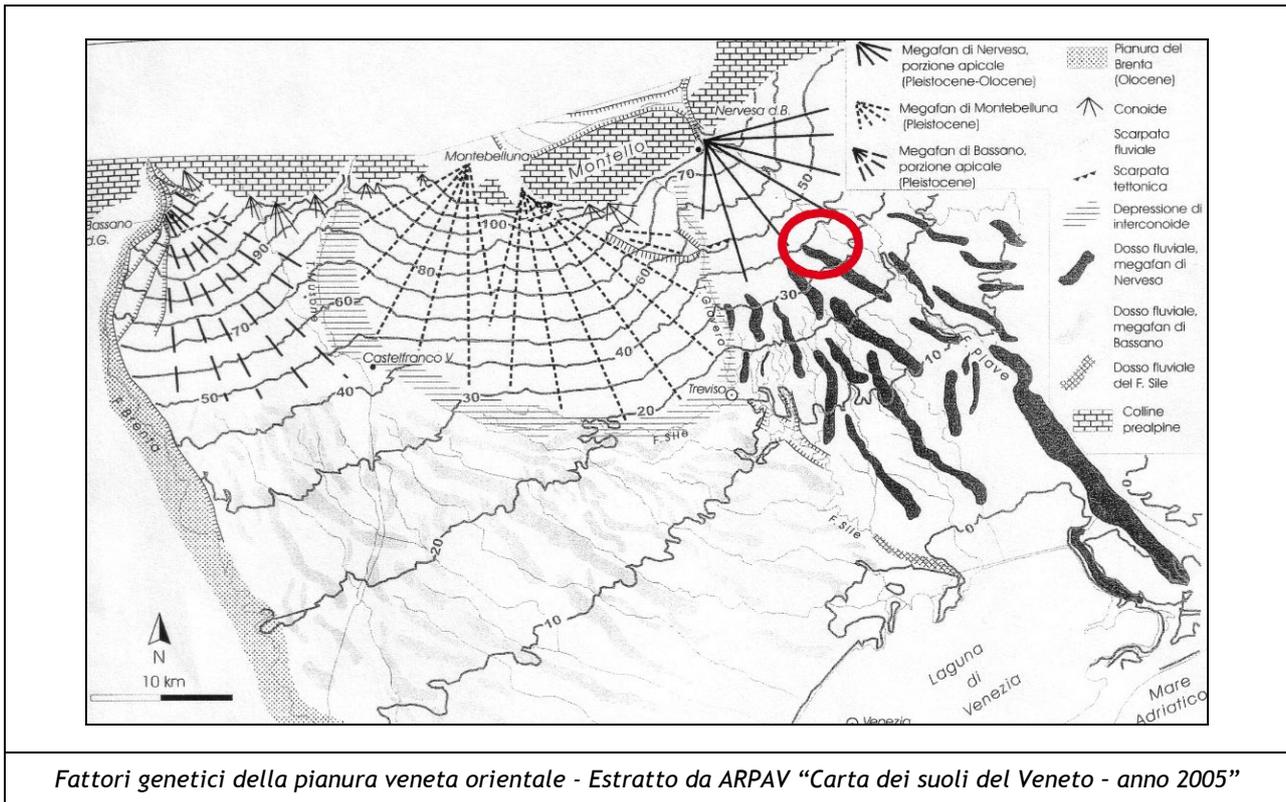
Le quote altimetriche variano dai 65 metri sul livello del mare nella porzione più occidentale del territorio, ai 45 metri sul livello del mare nella parte più orientale degradano, quindi, in direzione da Ovest verso Est con una pendenza che si mantiene uniforme intorno al 3 ‰. L'intero territorio si 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*.

4



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.

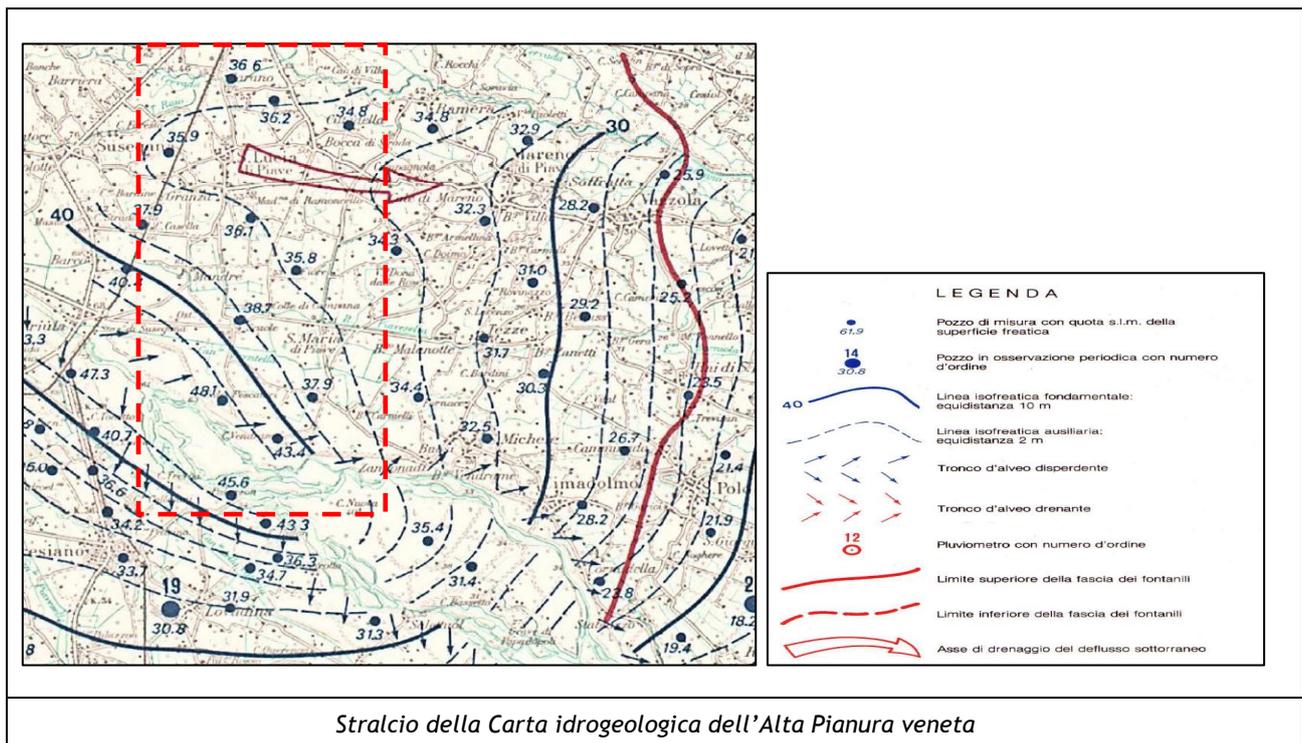
Qui la tranquilla espansione ed il sostare delle acque di piena favorì il deposito di spessori, anche rilevanti, di materiali a granulometria fine: sabbie, limi ed argille. Il tutto terminò con l'intervento dell'uomo che, arginando il Piave (a partire dal 1.200), pose fine all'accumulo di nuove alluvioni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

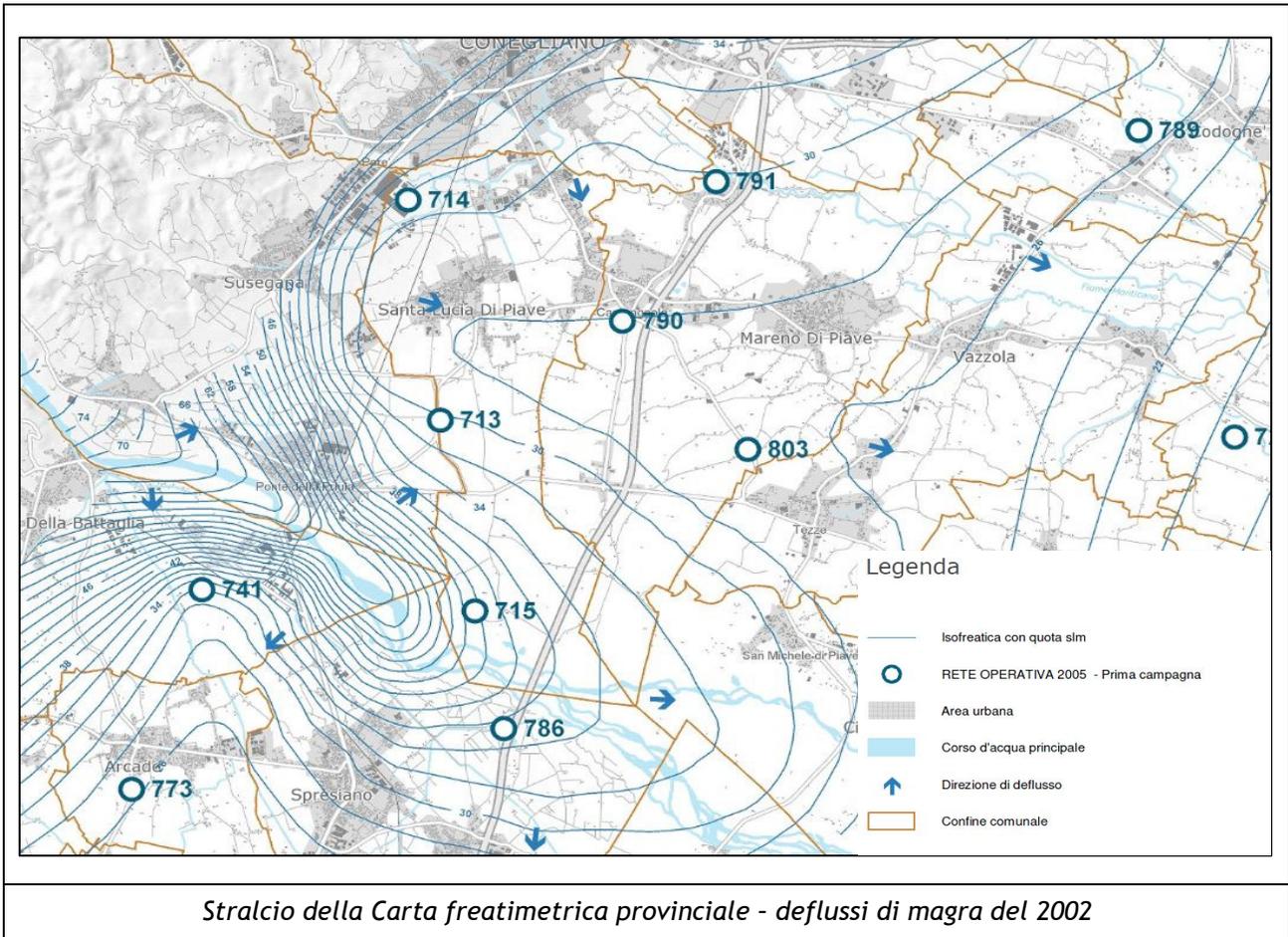
Come indicato nel P.A.T.I. del comune di Santa Lucia di Piave, il territorio viene suddiviso, dal punto di vista litologico, in tre fasce longitudinali grossomodo parallele:

- 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 multifalदे in pressione presente più a Sud.

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





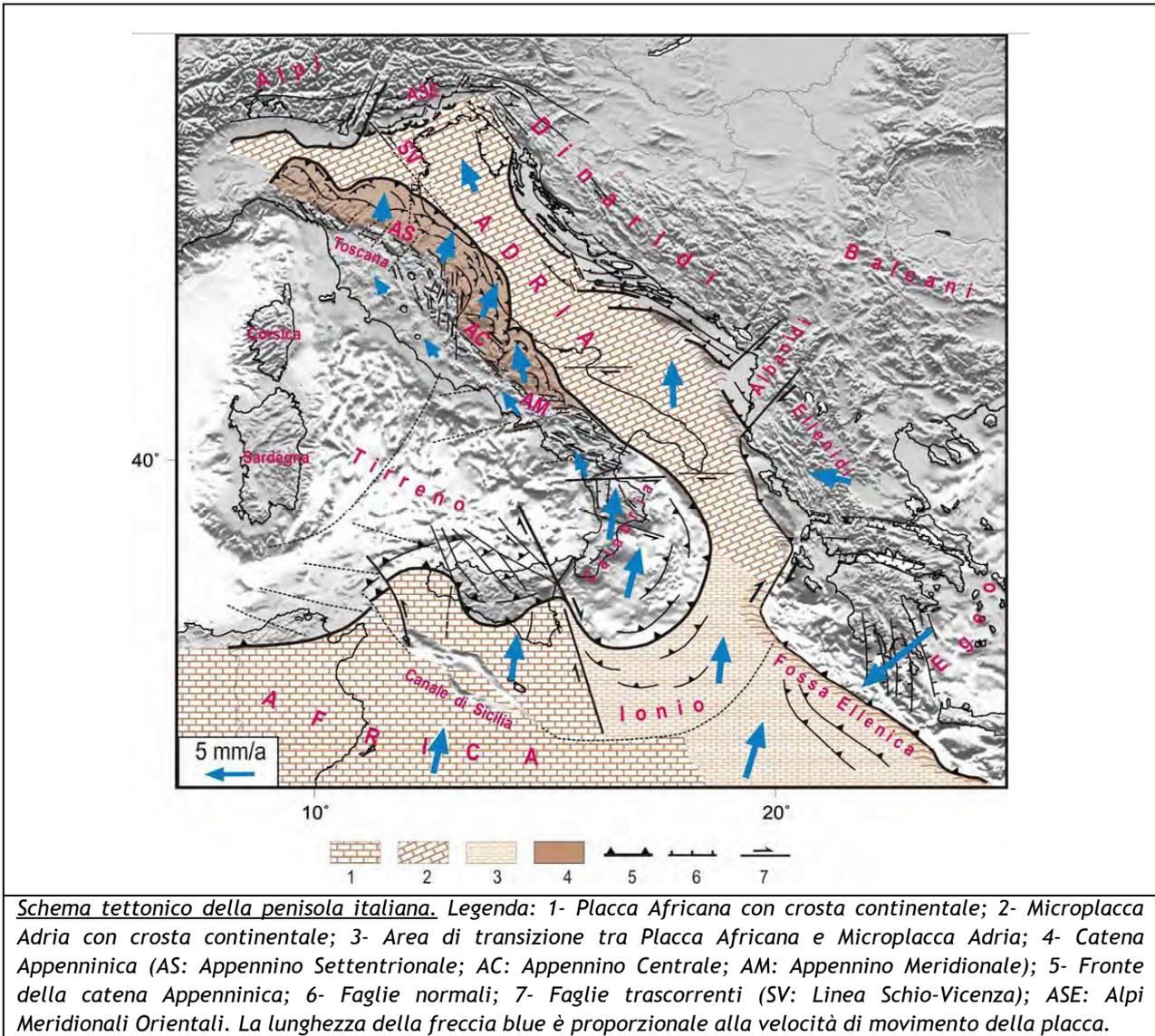
L'andamento delle isofreatiche permette di riconoscere, oltre alla direzione preferenziale di scorrimento, i principali assi di alimentazione e drenaggio del flusso sotterraneo. La direzione di deflusso rileva una marcata variazione sia di direzione che di gradiente a causa dell'influsso esercitato dal 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. Si consiglia comunque, in una fase successiva di approfondimento, di effettuare delle prove specifiche per valutare l'effettiva suscettibilità alla liquefazione dei terreni.

#### 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.

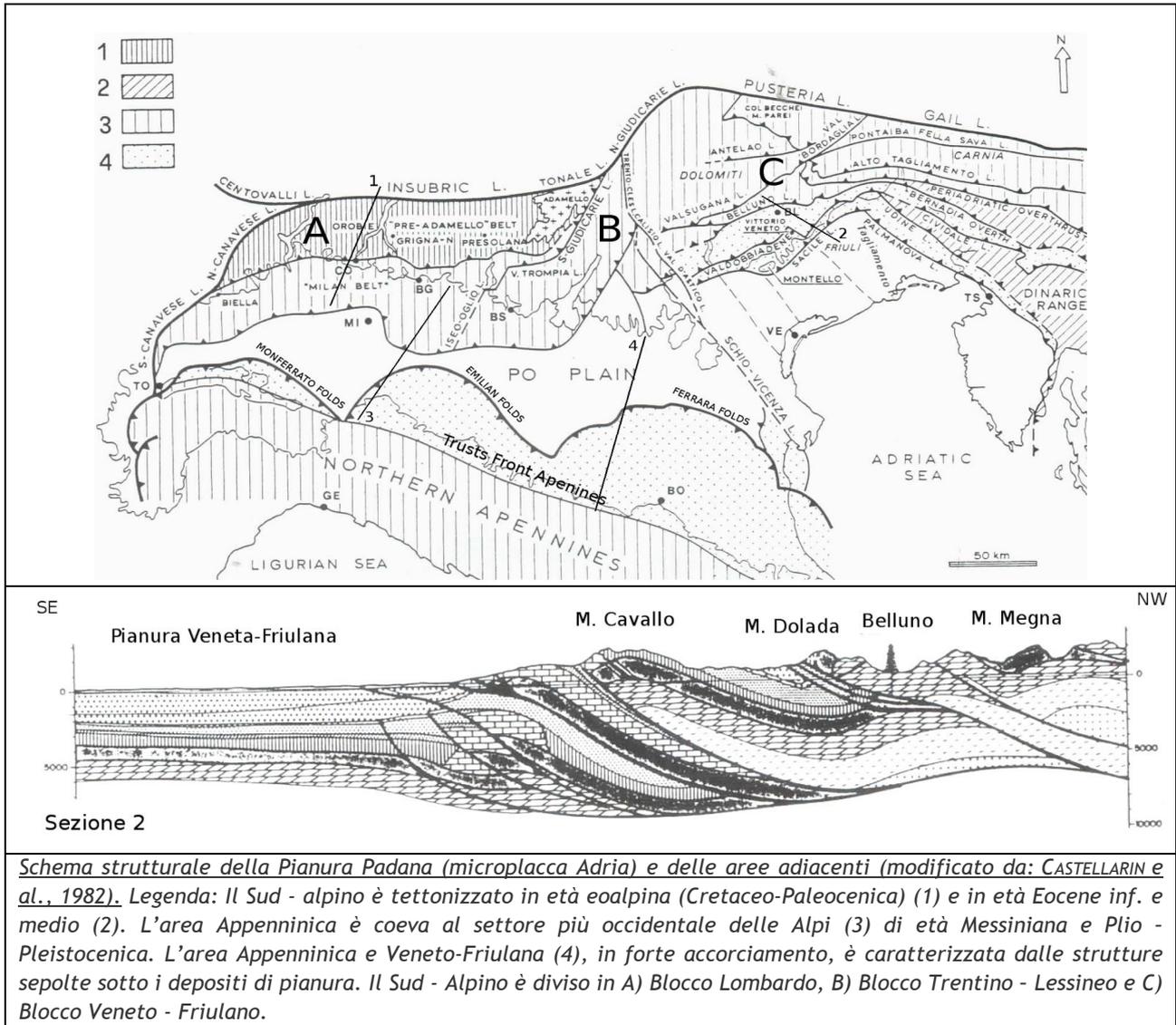


Schema tettonico della penisola italiana. Legenda: 1- Placca Africana con crosta continentale; 2- Microplacca Adria con crosta continentale; 3- Area di transizione tra Placca Africana e Microplacca Adria; 4- Catena Appenninica (AS: Appennino Settentrionale; AC: Appennino Centrale; AM: Appennino Meridionale); 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.

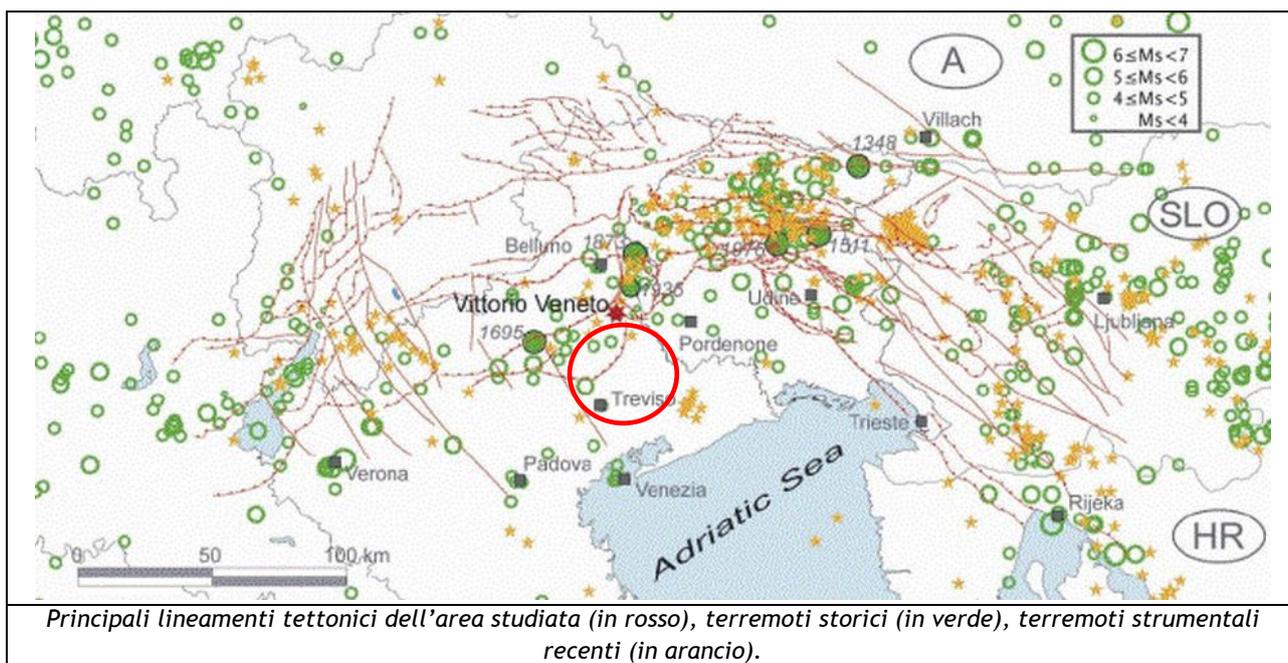
Il blocco Veneto - Friulano (figura seguente) è caratterizzato da strutture tettoniche con direzioni variabili (Dogliosi e al., 1987; Castellarin e al., 1992; Pontron e al., 2000). Nella zona friulana centrale si ha il massimo delle deformazioni e del raccorciamento per l'estrema embricazione Sud - vergente 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 del Comune

Secondo il modello semplificato strutturale del Sud - Alpino Orientale, il Comune di Santa Lucia di Pavia 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 nealpini Sud Sud Est - vergenti e il quadro dell'evoluzione miocenica superiore - quaternaria dell'area.



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

#### Terremoto di Asolo del 1965

anno	Data (gg.mm.)	Località epicentrale	Intensità epicentrale (MCS)	Magnitudo stimata
1965	25.02	Asolo	9,5	6,5
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ I morti furono circa 69</li> <li>✓ Le massime distruzioni si ebbero lungo l'allineamento Castelcies - Costalunga - Castelcucco (Valcavasia centrale)</li> </ul>				

#### 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"> <li>✓ Le vittime furono 30 nell'Alpago e complessivamente una quarantina in provincia di Belluno</li> <li>✓ Le zone maggiormente colpite furono l'Alpago (basso Bellunese), la Val Lapisina e la fascia collinare che procede da Vittorio Veneto a Montebelluna</li> </ul>				

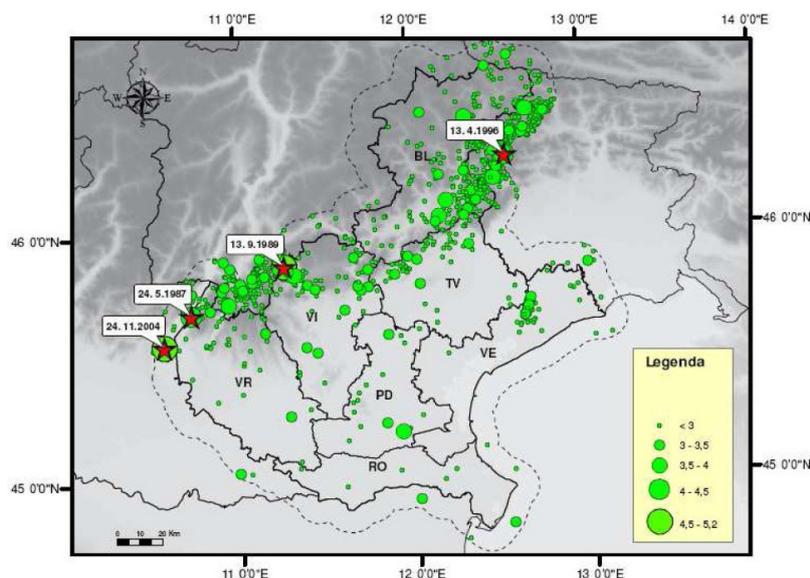
#### Terremoto del Bosco del Cansiglio del 1936

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"> <li>✓ Non vennero registrate vittime</li> <li>✓ Le zone maggiormente colpite furono i borghi al piede del Cansiglio da Ceneda (Vittorio Veneto) a Stevèna</li> </ul>				

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  $M_D$ <sup>1</sup>. 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)

<sup>1</sup> 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

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 -  $M_D = 5,2$

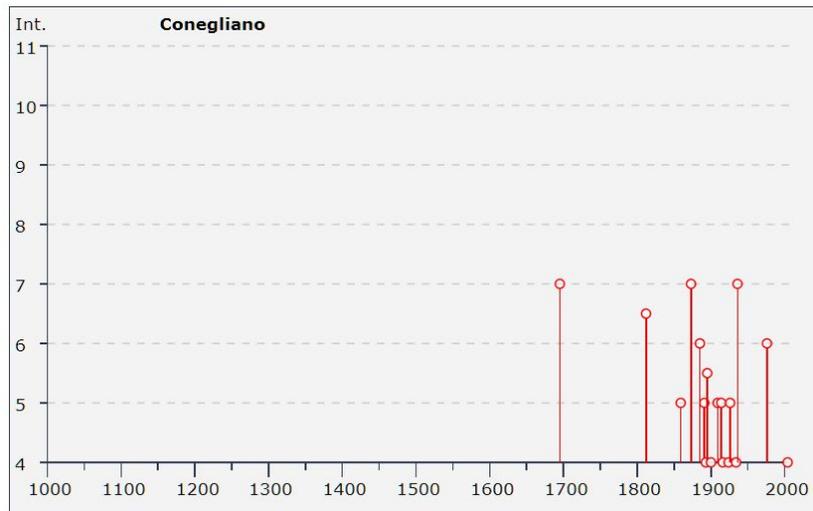
La ricostruzione storica degli eventi sismici che hanno caratterizzato il territorio comunale di Santa Lucia di Piave è stata fatta utilizzando il database macrosismico italiano DBMI11 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, 2011. *DBMI11, la 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 (Is), la data (Anno, Mese, Giorno, Ora, Minuto) in cui si è verificato l'evento Ax, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

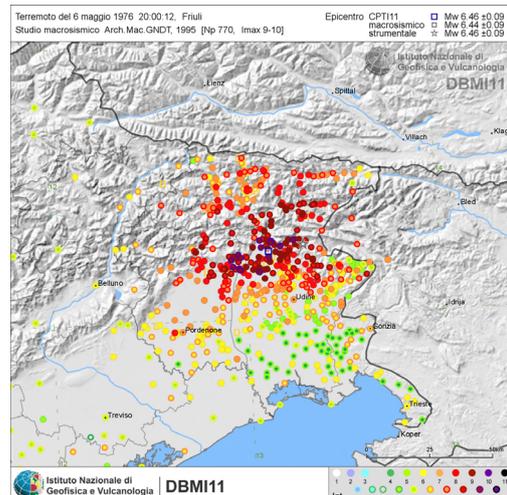
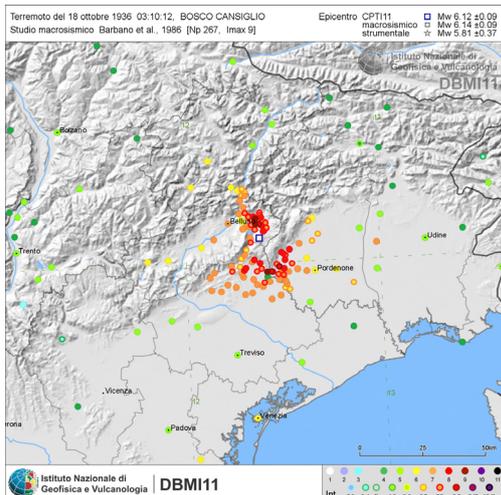
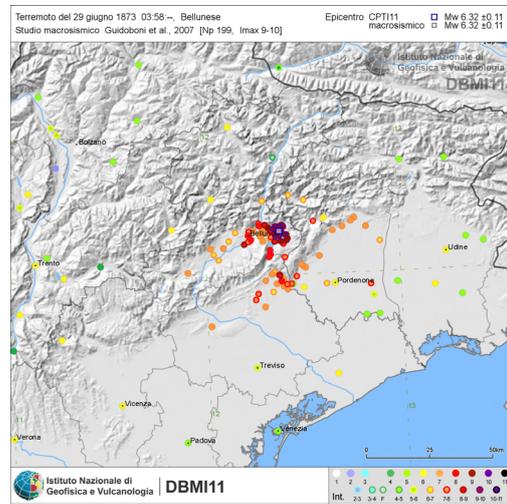
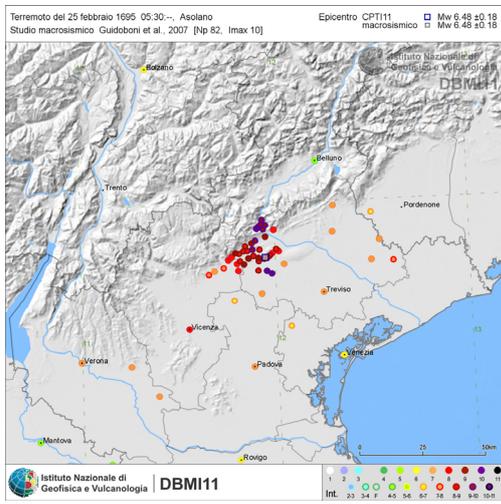
Numero di eventi: 31				
Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
7	1695 02 25 05:30	Asolano	82	10 6.48 ±0.18
6-7	1812 10 25 07:00	SEQUALS	34	7-8 5.71 ±0.35
5	1859 01 20 07:55	COLLALTO	36	6 4.98 ±0.32
7	1873 06 29 03:58	Bellunese	199	9-10 6.32 ±0.11
3	1879 06 22 04:15	TARCENTO	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.

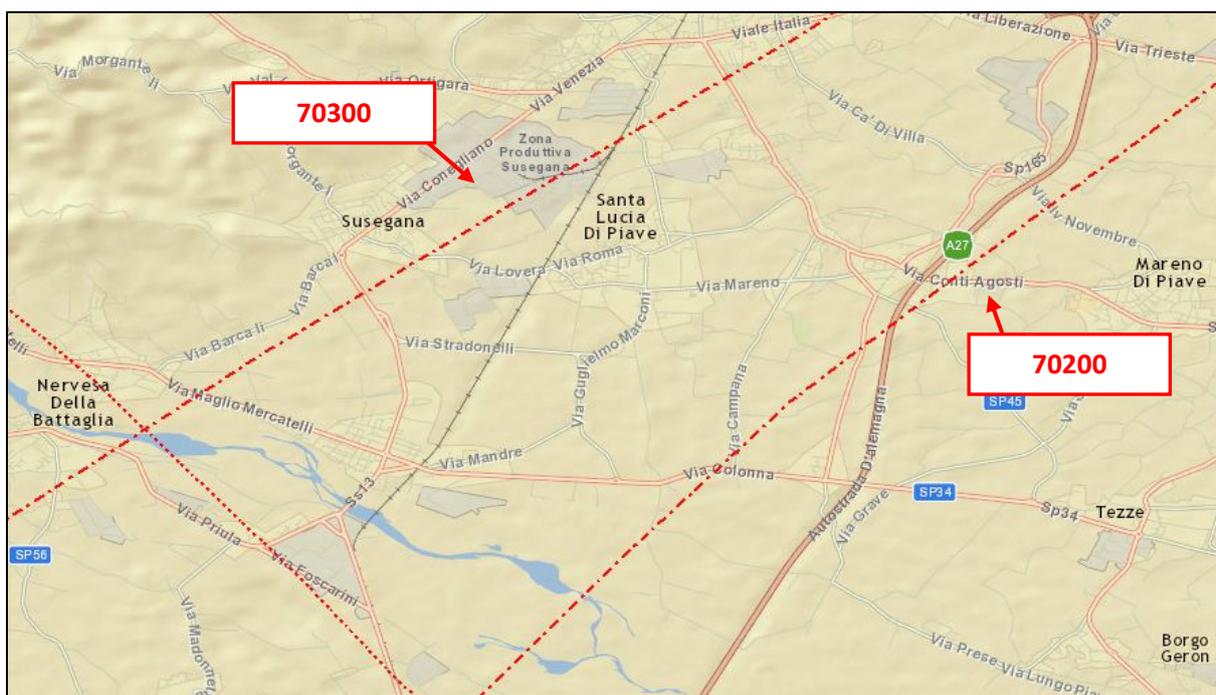
Secondo i cataloghi oggi disponibili (CPTI11, Guidoboni et al., 2007) la magnitudo  $M_w$  del 1976 sarebbe stata pari a 6,46 e, a Conegliano, si sarebbe avvertito con un'intensità MCS pari a 6, mentre l'evento del 1936, con magnitudo  $M_w$  pari a 6,12 è stato segnalato con I (MCS) pari a 7, analogamente 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 3.1.1.

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.

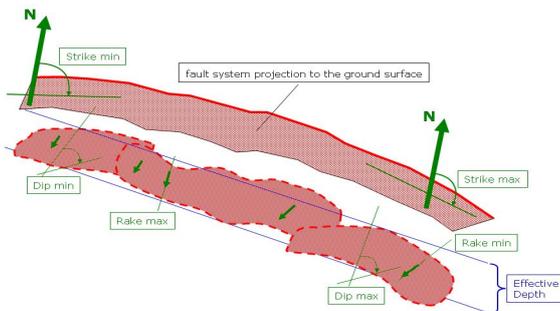
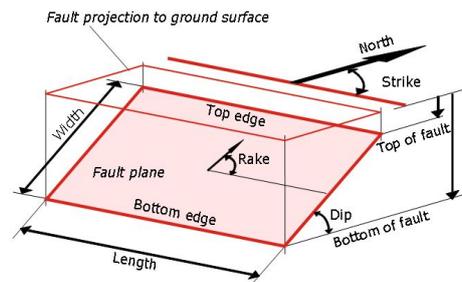


Il comune di Santa Lucia di Piave è interessato da n°2 faglie inverse (Cod. 70200 e Cod. 70300): nella tabella sottostante sono state riportate le informazioni desunte dalle schede specifiche ITHACA di tali lineamenti.

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

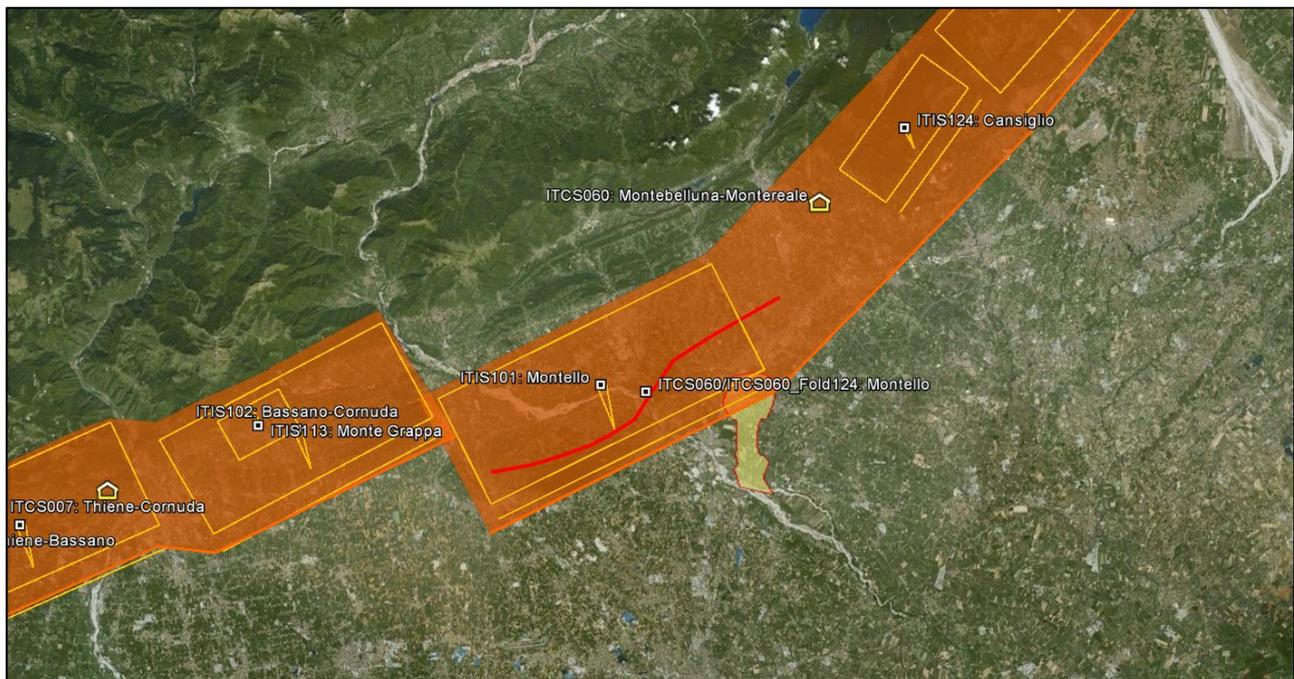
La mappa dell'I.N.G.V. riportata sotto, denominata DISS 3.1.1 (Database of Individual Seismogenic Sources - DISS Version 3), mostra tre tipologie di sorgenti sismogenetiche.

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)	0,31 - 1,56
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)	2
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

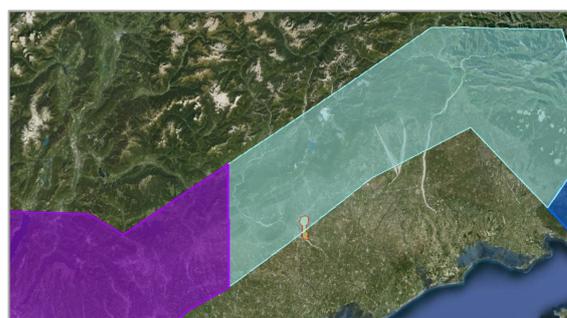
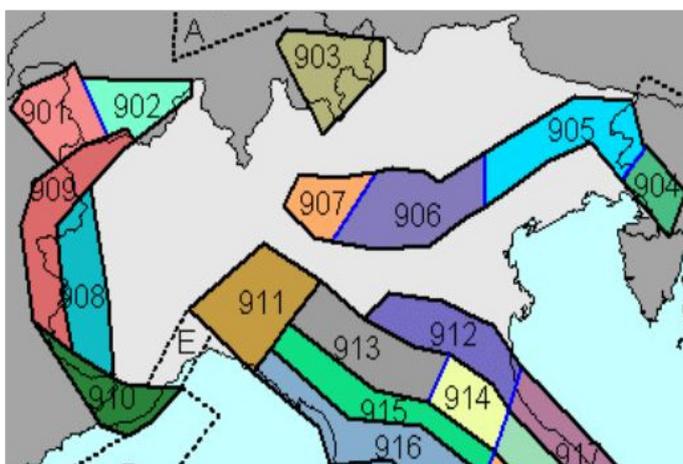
Altri dati, inerenti la sismicità dell’area, si possono ottenere dall’analisi di lavori riguardanti l’evoluzione neotettonica dell’Italia Nord - Orientale e, in particolare:

- 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.

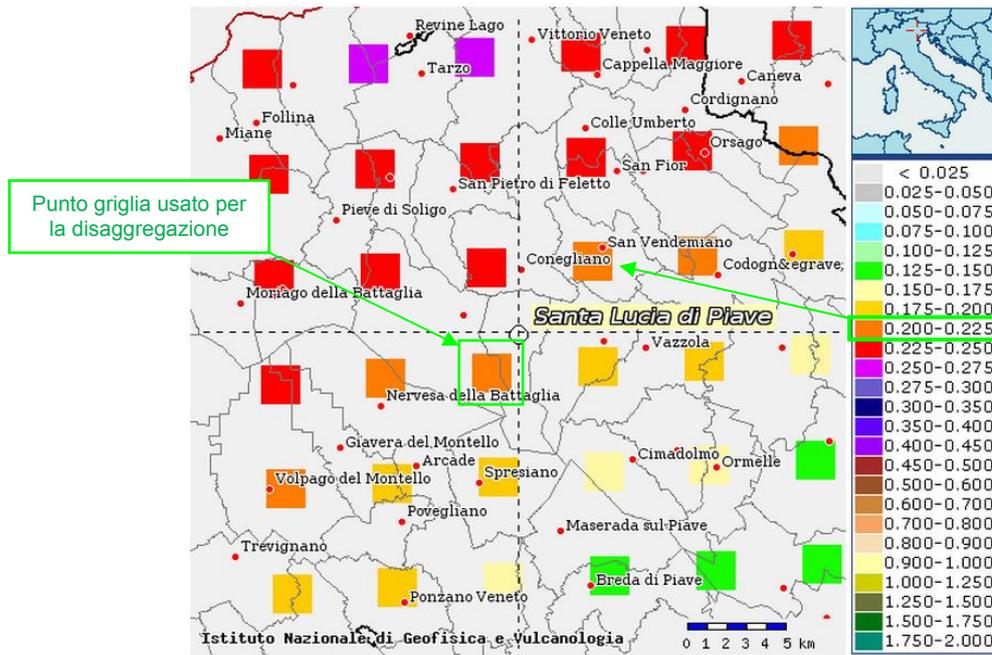


Carta delle zone sismogenetiche ZS 9 (Meletti e Valensise, marzo 2004) con indicata in giallo la posizione di Santa Lucia di Piave nella zona 905

#### 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)*

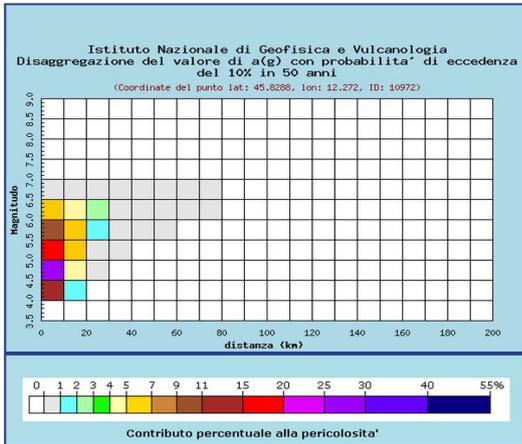
Pertanto, secondo l'O.P.C.M. n. 3519 del 28 Aprile 2006, la cui applicazione è stata definita dalla Regione Veneto con D.G.R.V. n. 71 del 22 Gennaio 2008 e considerata nell'emanazione del D.M. 14 Gennaio 2008, il territorio oggetto dello studio di MS è inseribile generalmente nella fascia distinta da 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  $V_{s30} > 800$  m/s, secondo lo schema seguente:

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

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.).



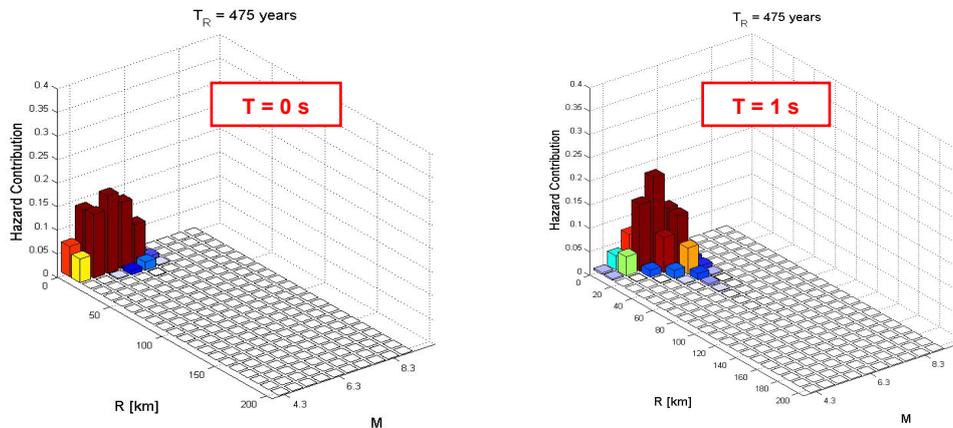
Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.8288, lon: 12.272, ID: 10972)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	11.700	25.100	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<sub>a</sub> (T = 1 s), come nelle immagini seguenti.

Analogamente alla ricostruzione dell'INGV riportata sopra, considerando lo stesso tempo di ritorno (T<sub>r</sub> = 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<sub>w</sub> 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<sub>wmax</sub> = 6,60.

Tabella 2.8-1 - Valori di M<sub>wmax</sub> per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)

Nome ZS	Numero ZS	M <sub>wmax</sub>
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*”, ossia nelle differenti risposte del sito alle azioni sismiche, a causa delle diverse condizioni geologiche, morfologiche 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 ad 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.



Turchia, agosto 1999



Emilia, maggio 2012



Aquila, aprile 2009



Tatsuoka, 2006

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 di Sottosuolo A 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 analoga 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 ad 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 ad un livello intermedio tra la classificazione sismica a scala nazionale, che fa riferimento ad 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, in primo luogo, 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), prevedono tre livelli di approfondimento (I, II, III).

In sintesi:

il **Livello I**, 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 II** associa alle zone omogenee dei parametri **quantitativi** di interesse ingegneristico, utilizzando allo scopo ulteriori e mirate indagini, ove necessarie, e definisce la *Carta di Microzonazione Sismica*;

il **Livello III** quantifica numericamente l'amplificazione del moto sismico atteso in superficie tramite un'analisi monodimensionale o bidimensionale, a seconda delle condizioni geologiche / topografiche presenti nel sito d'indagine, e restituisce una *Carta di Microzonazione Sismica* con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

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

Nel caso in esame, è possibile affermare che la MS soddisfa il Livello I previsto dagli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica" del Dipartimento della Protezione Civile.

In aggiunta agli standard del Livello I, è stato eseguito un approfondimento quantitativo della risposta sismica locale, misurando le frequenze di vibrazione del sottosuolo **sull'intero territorio comunale** e valutando localmente le velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  nei litotipi più rappresentativi; inoltre, in alcune aree individuate dall'Amministrazione Comunale, l'amplificazione caratteristica del sito è stata quantificata tramite modellizzazioni numeriche avanzate in campo dinamico, proprie del Livello III.

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

### 6.1 Indagini pregresse

Durante la realizzazione dello studio di MS 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 al testo.

Al fine di caratterizzare, dal punto di vista sismico, tutto il territorio comune di Santa Lucia di Piave 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 nuove 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  $\Delta x$ , 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 ( $V_s$ )

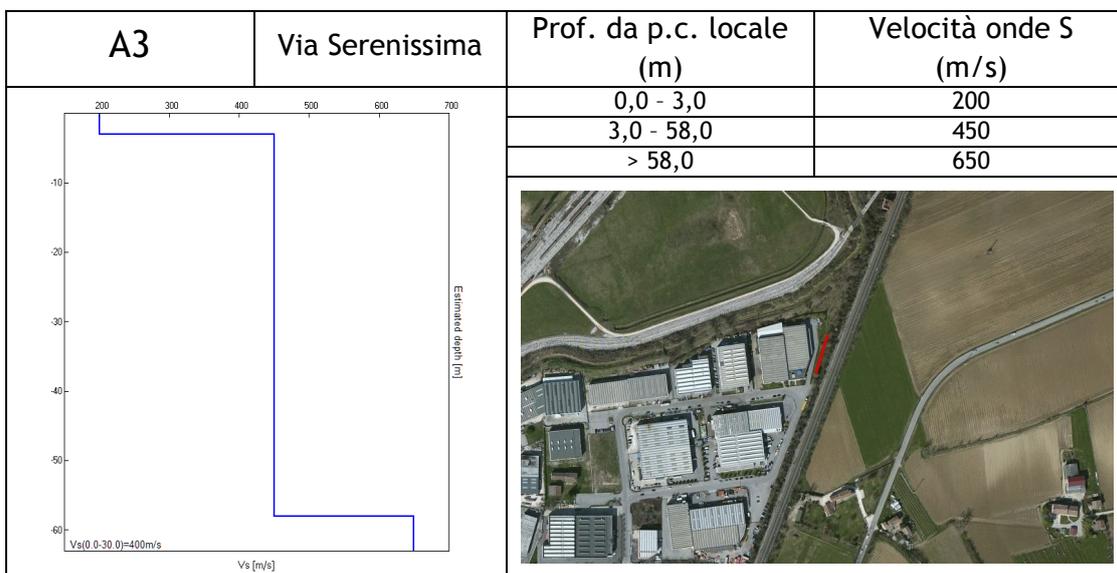
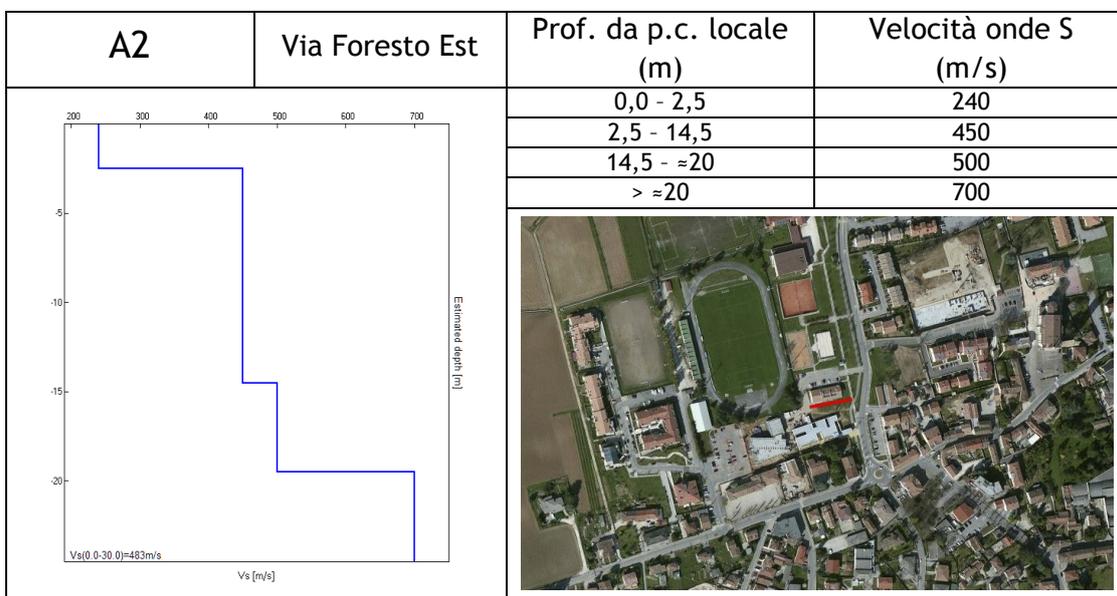
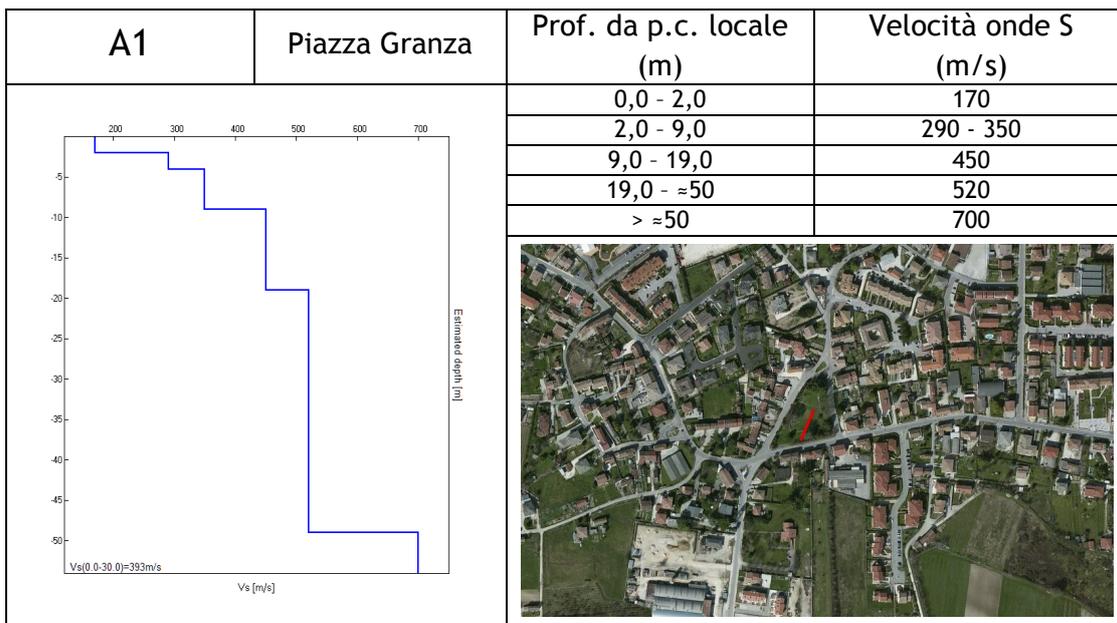
Come detto in precedenza, nel territorio comunale sono state fatte una serie di misure sismiche di superficie (*array* sismici) per approfondire le conoscenze sulle caratteristiche "sismiche" dei litotipi costituenti il territorio in esame: in particolare, esse sono state utilizzate per determinare la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

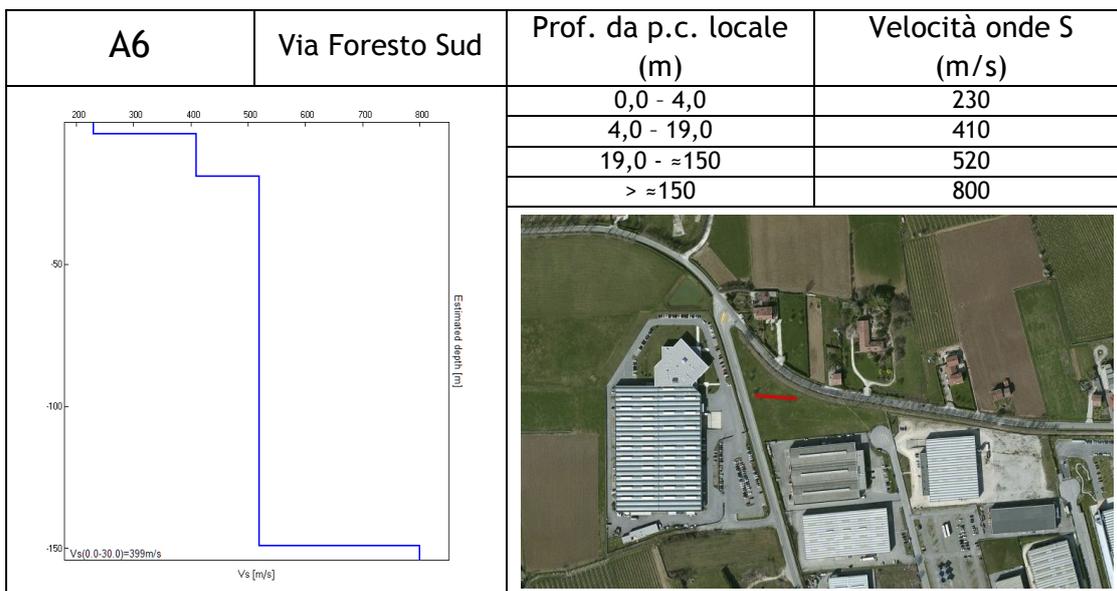
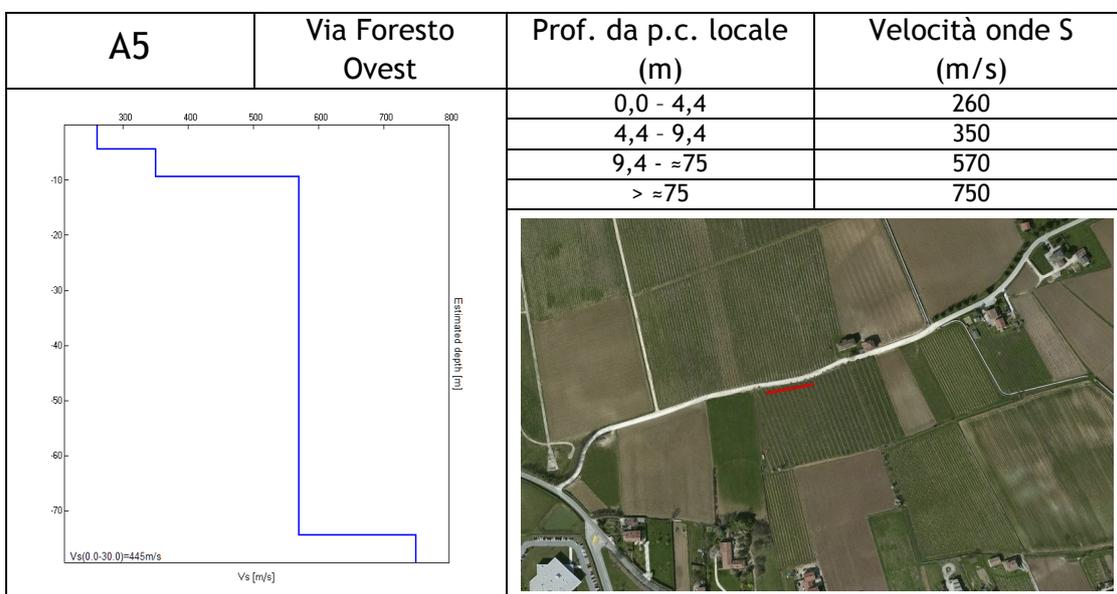
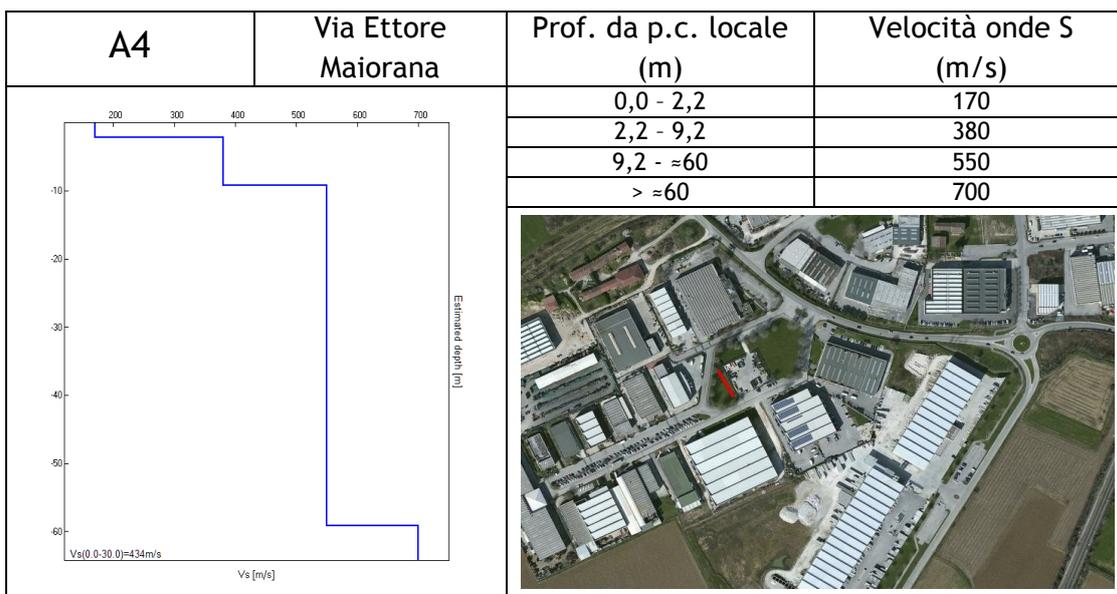
In allegato fuori testo sono state riportate le schede di sintesi dei risultati di tali prove.

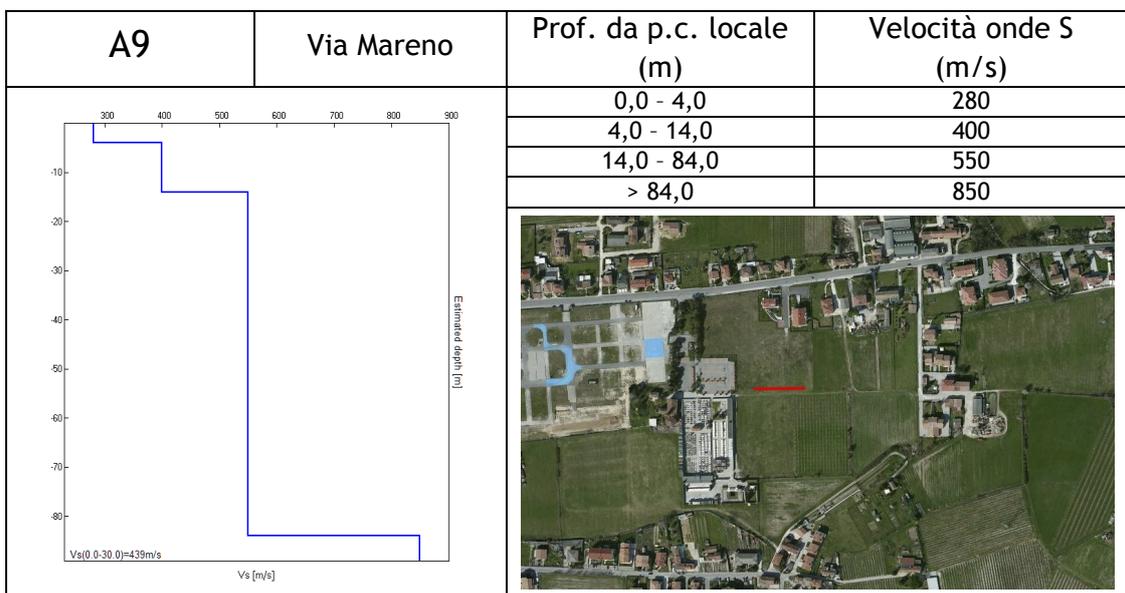
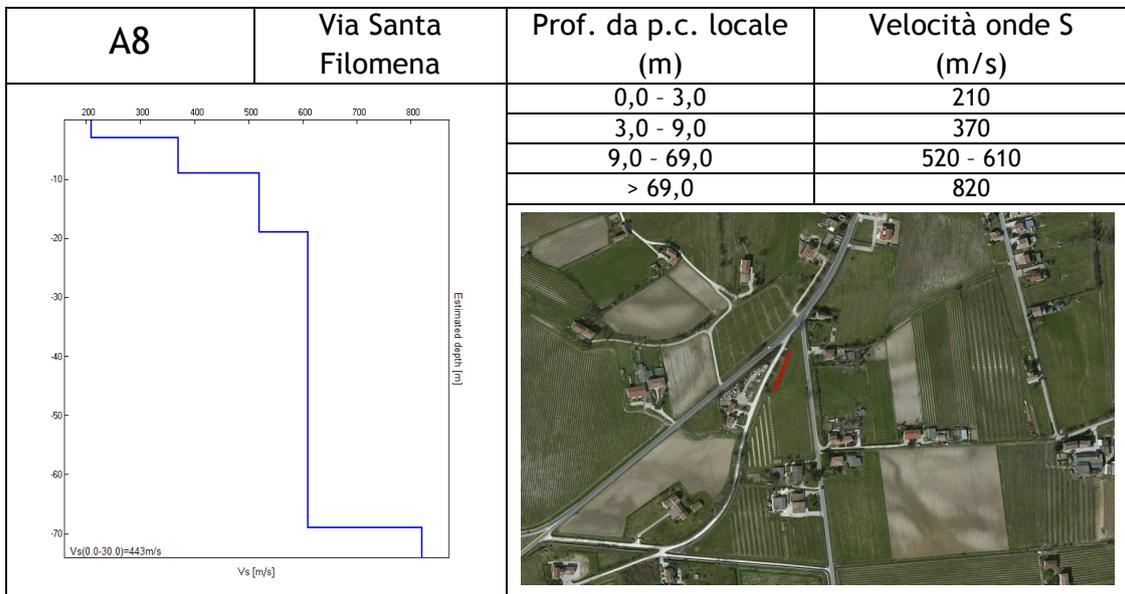
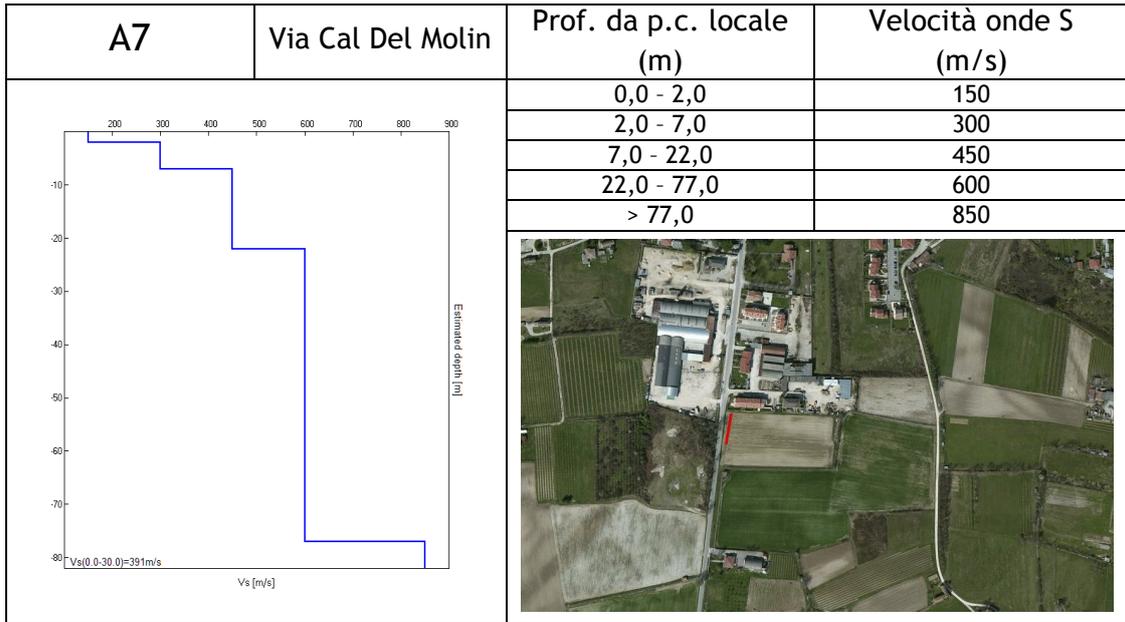
#### 6.2.1.2 Risultati delle misure

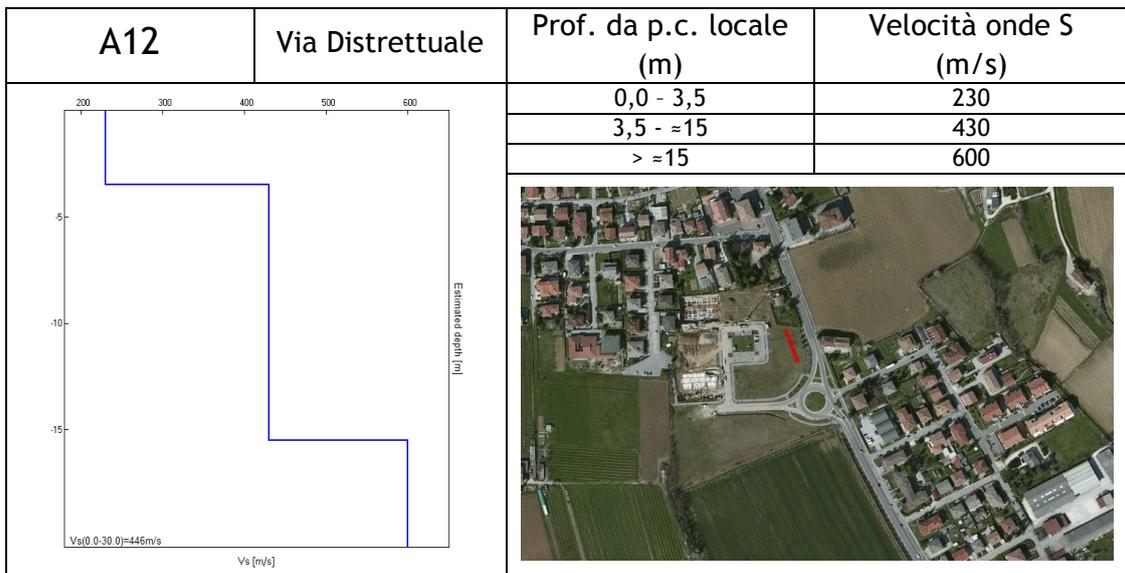
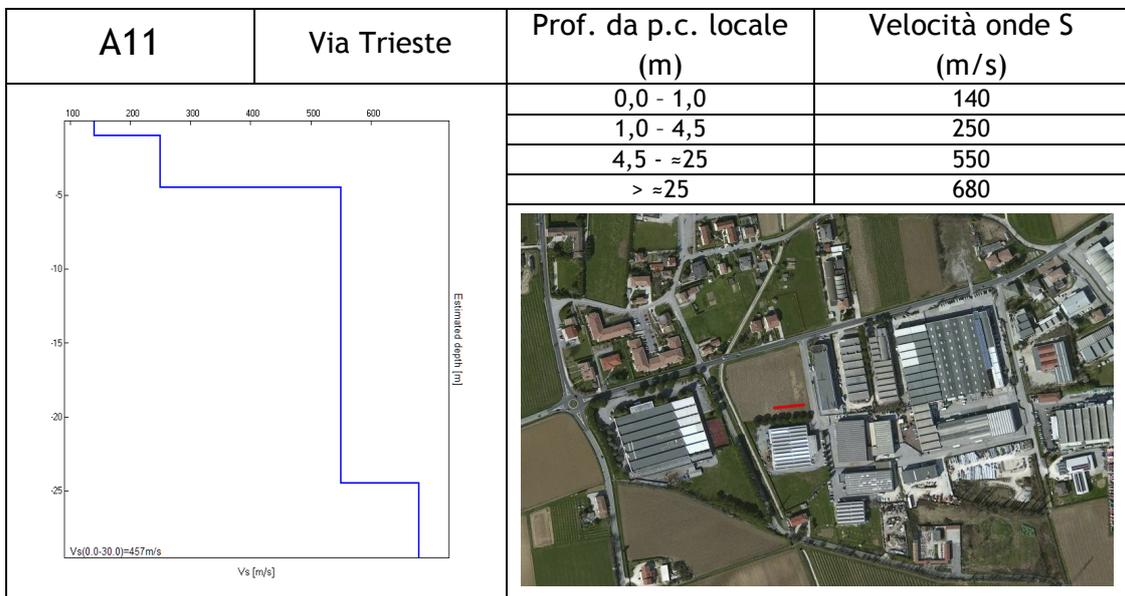
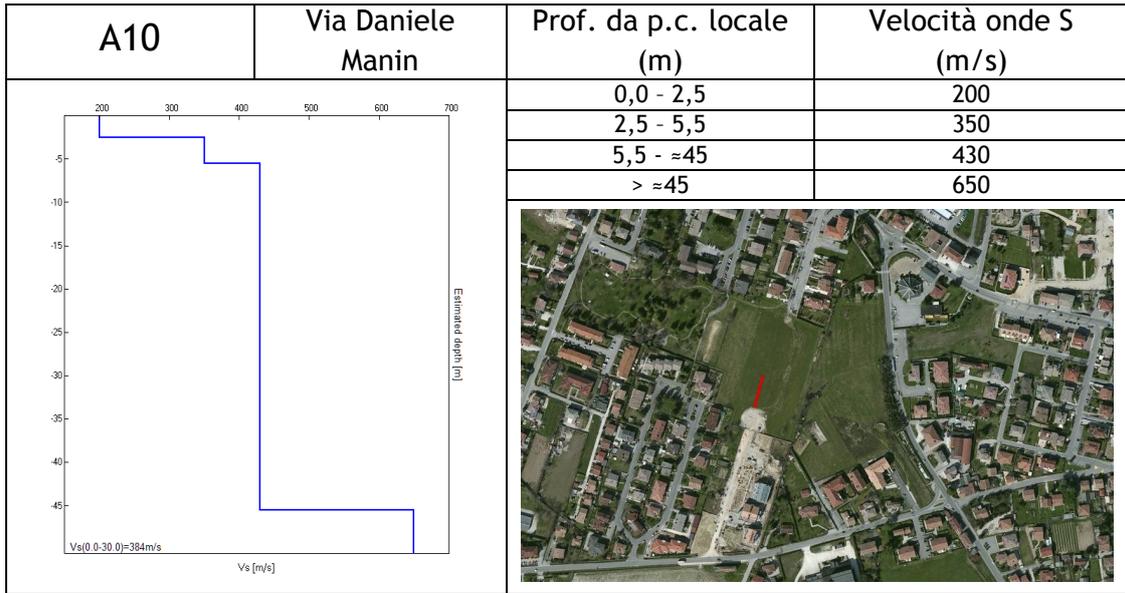
In questo paragrafo è stata riportata esclusivamente la sintesi dei risultati degli *array* sismici eseguiti in questa fase (cfr. Schede A1, ..., A27), dei quali è stata esposta l'ubicazione ed il profilo verticale delle onde di taglio S ( $V_s$ ).

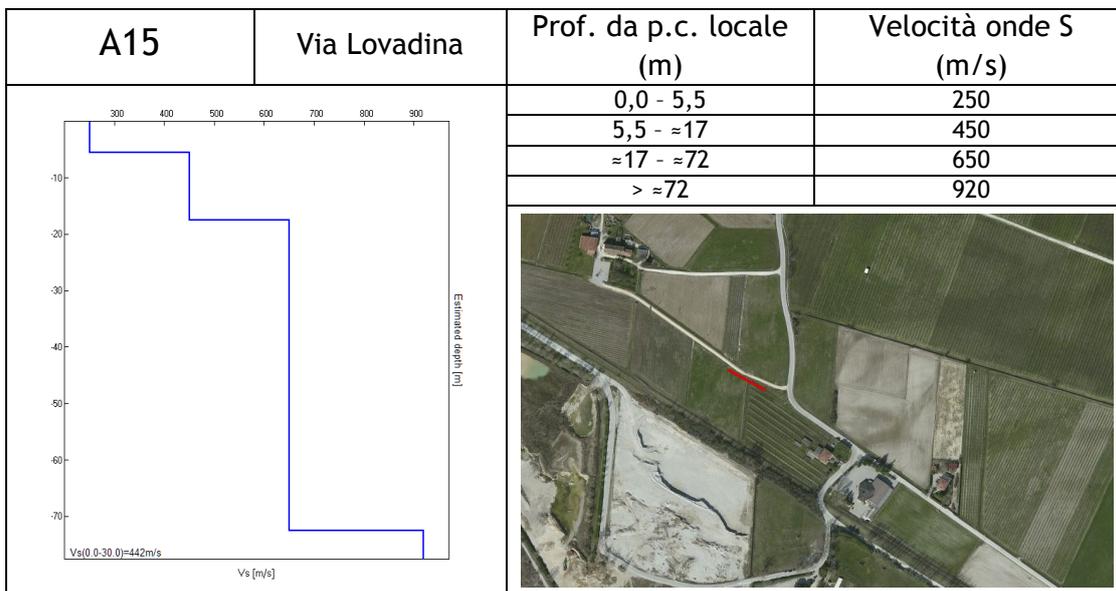
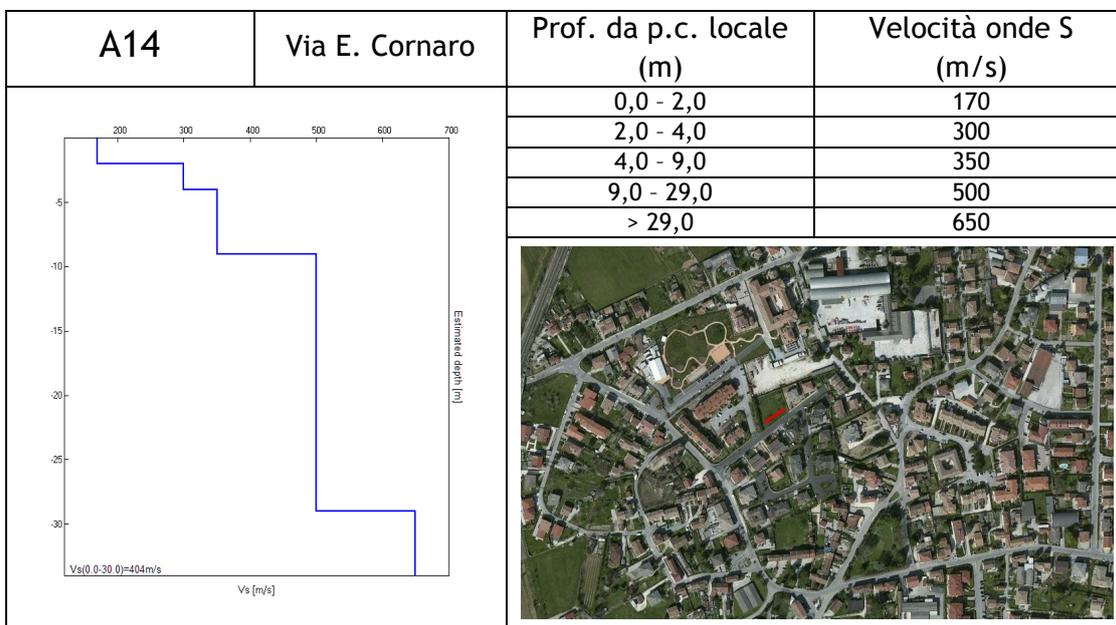
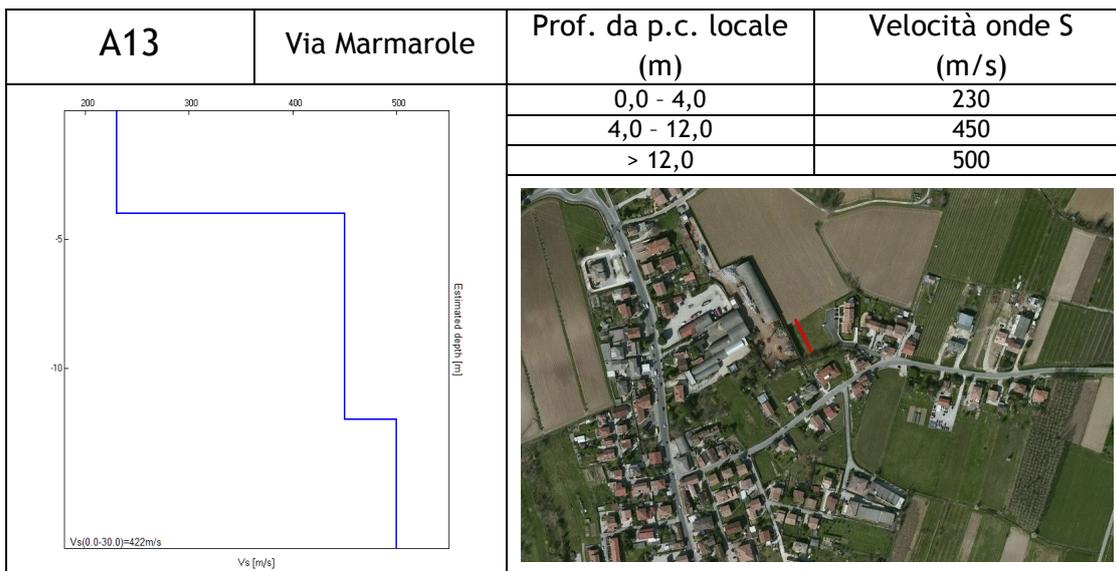
Si rimanda all'allegato fuori testo per la lettura delle schede di sintesi con i risultati di tali prove.

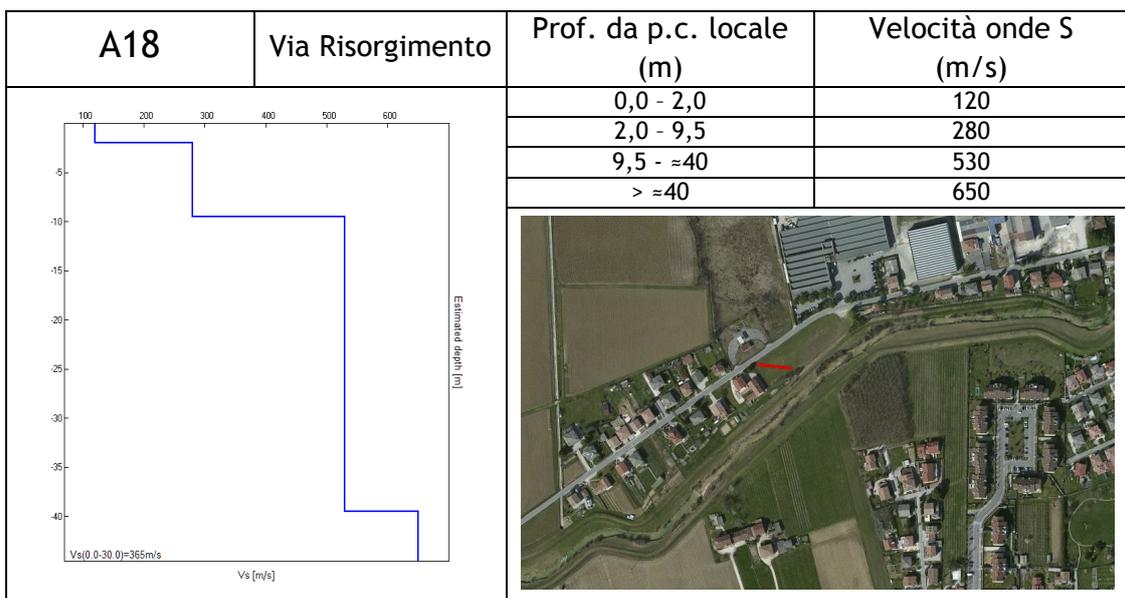
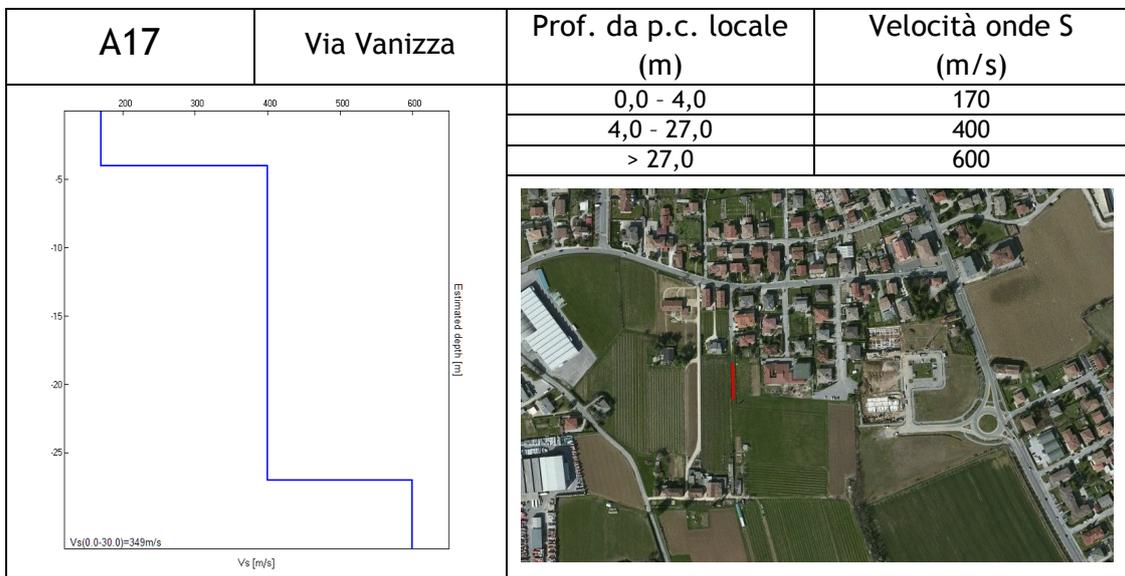
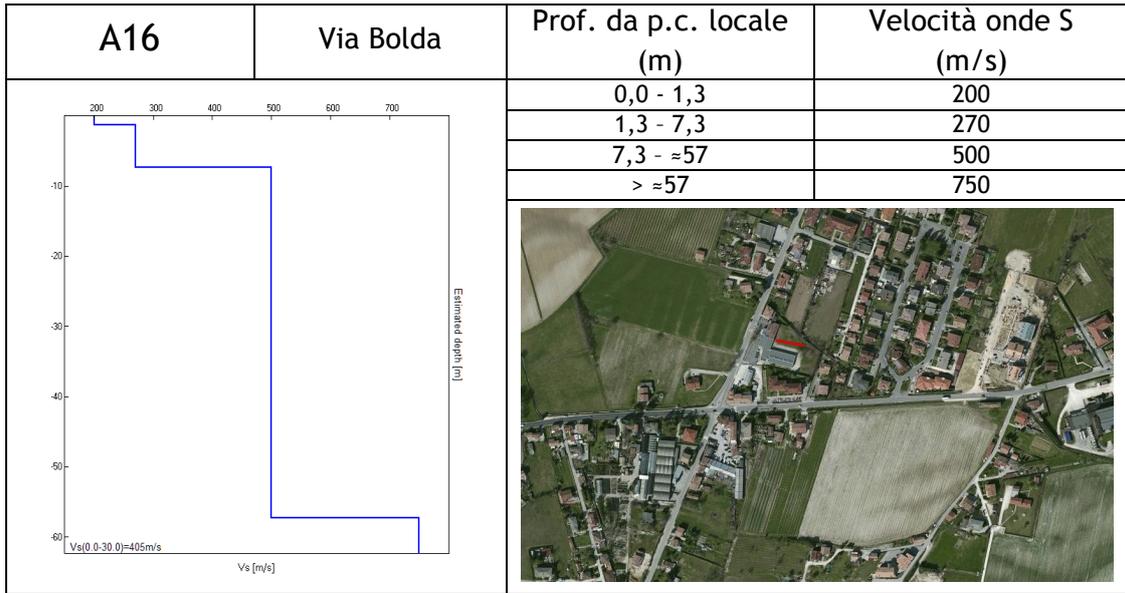


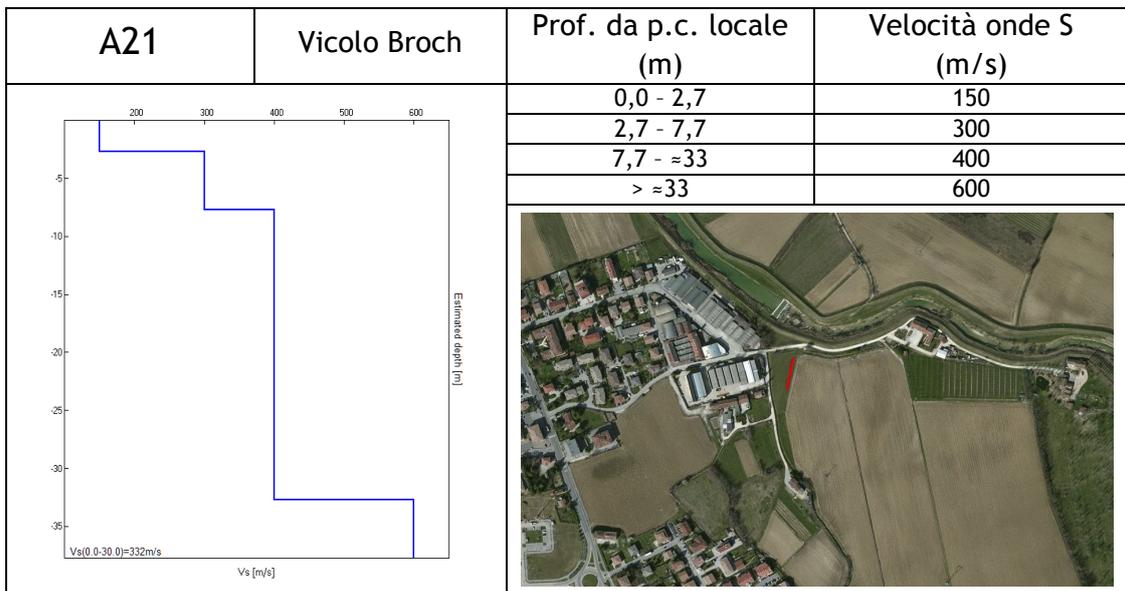
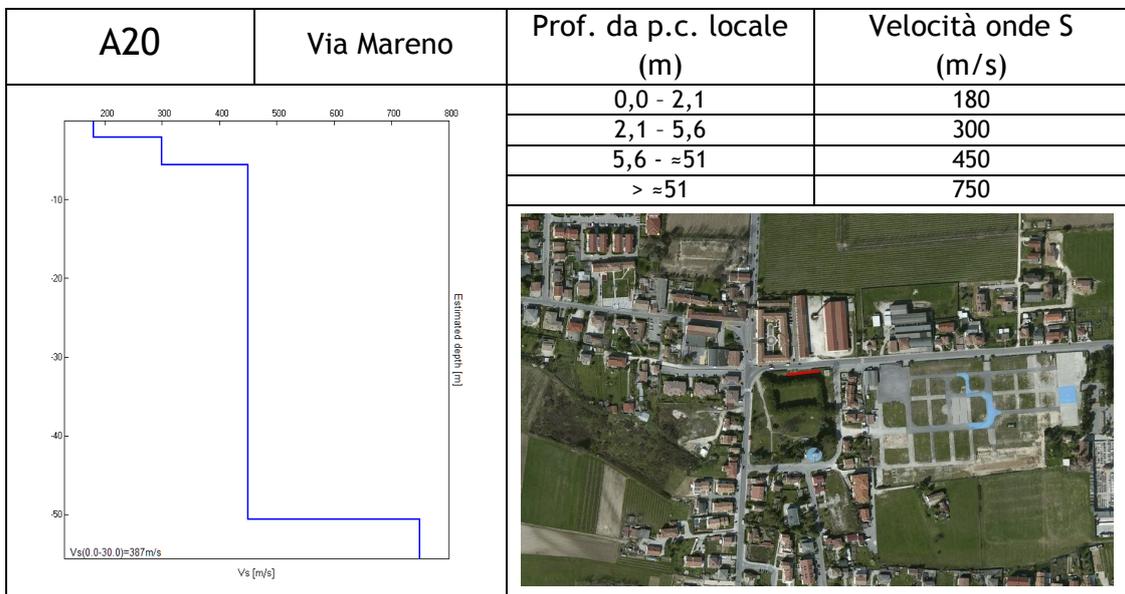
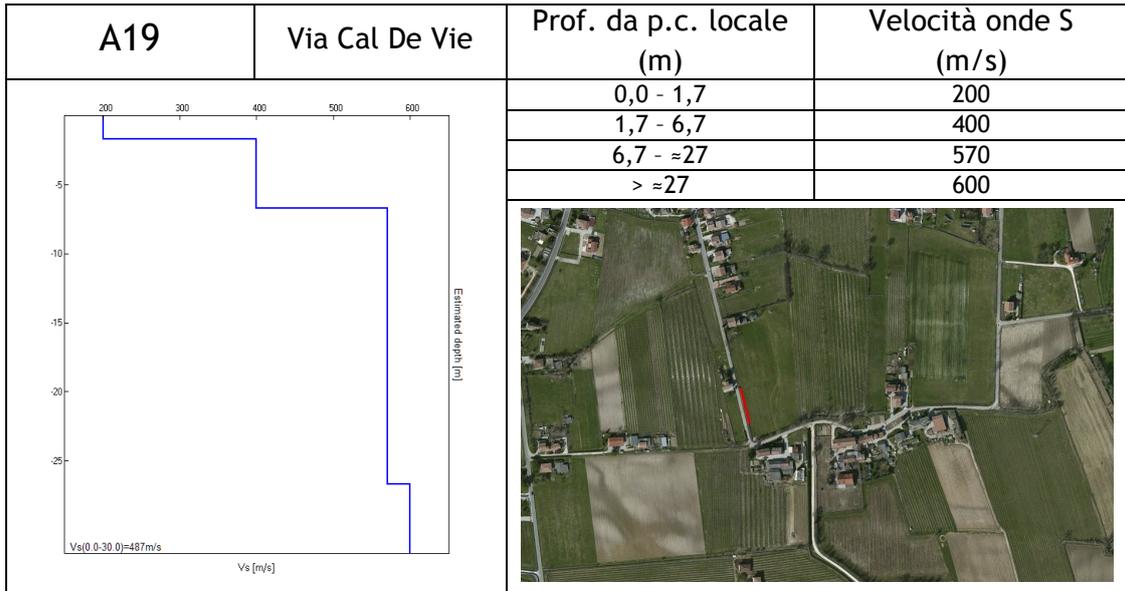


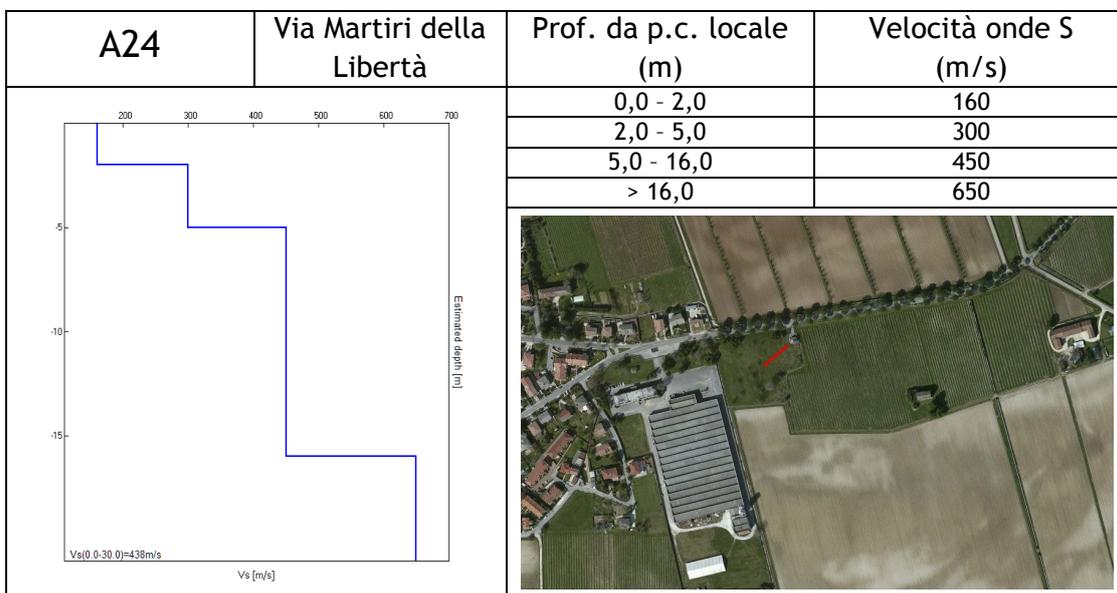
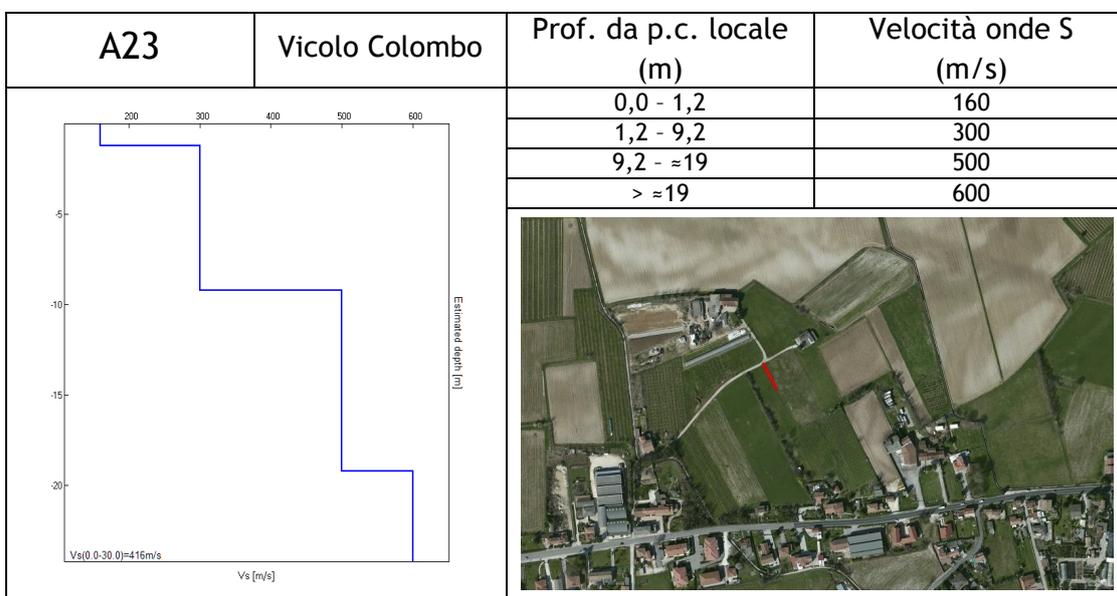
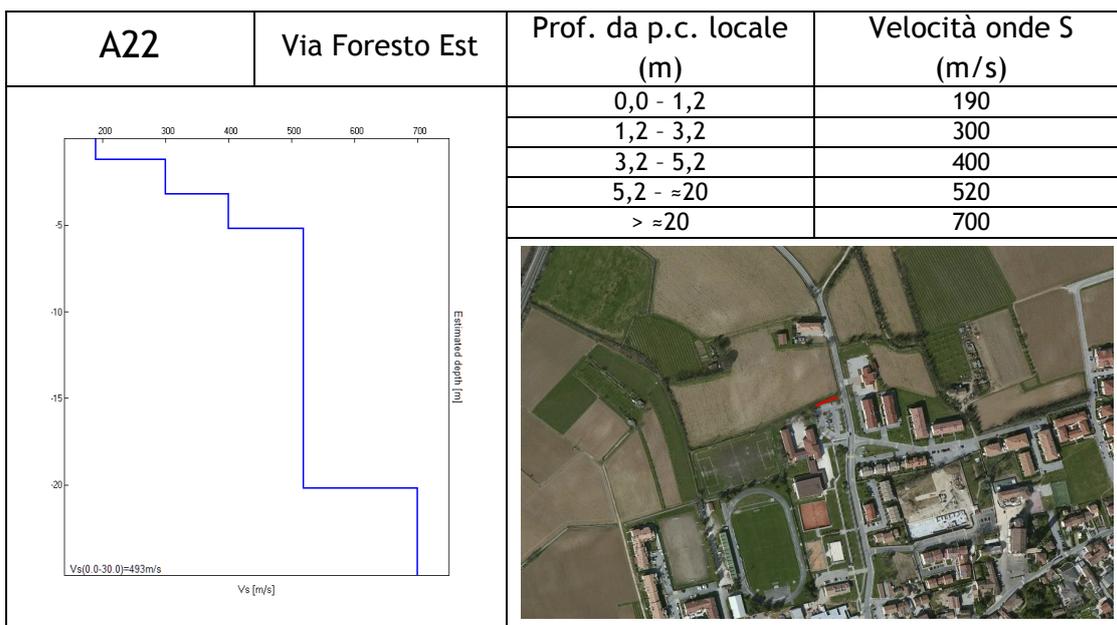


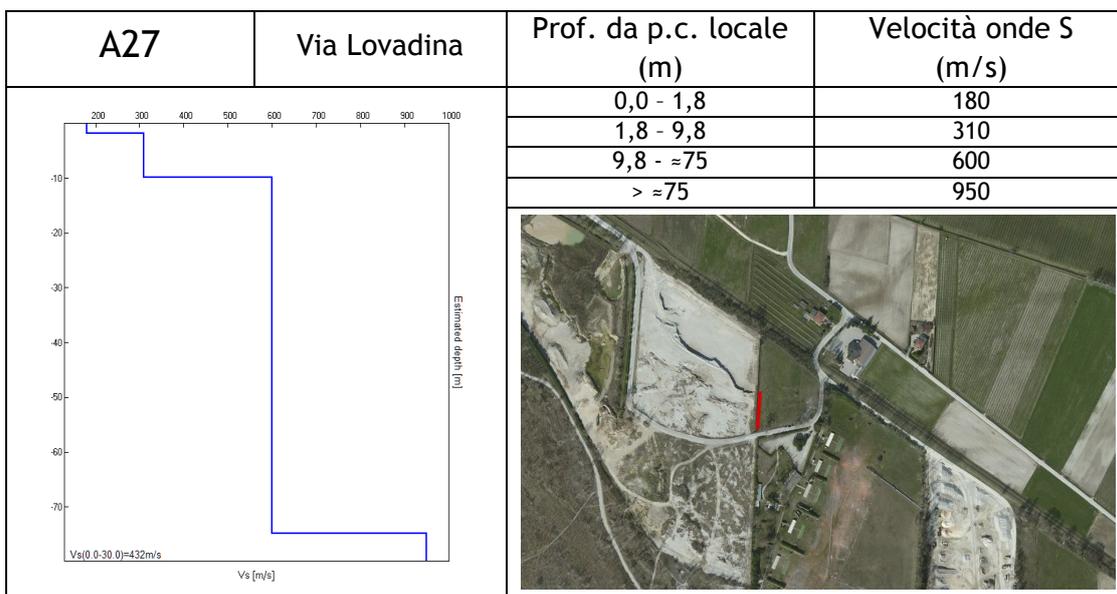
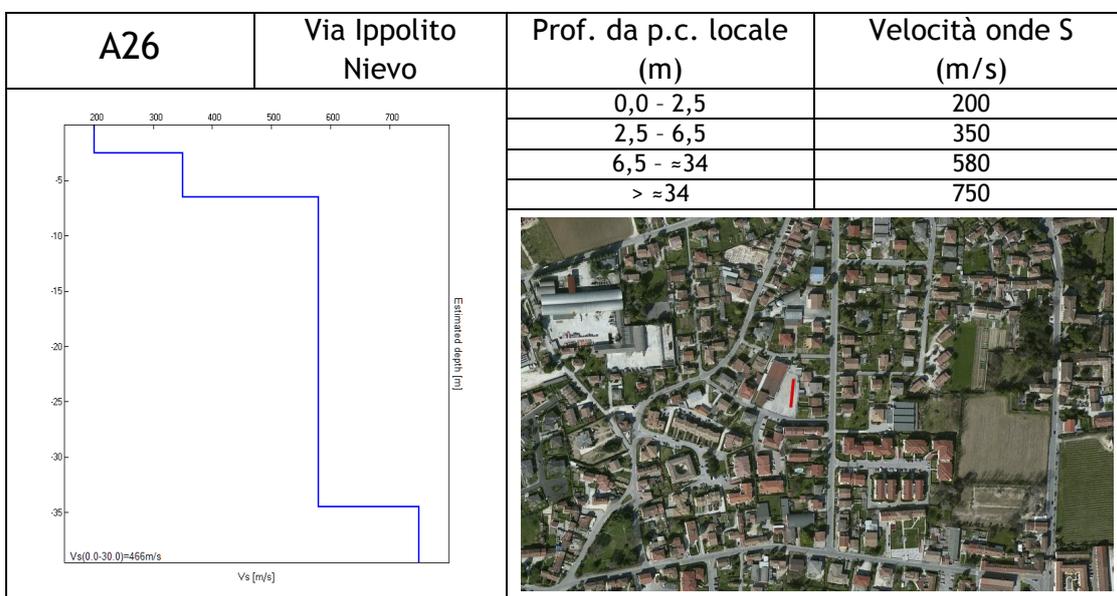
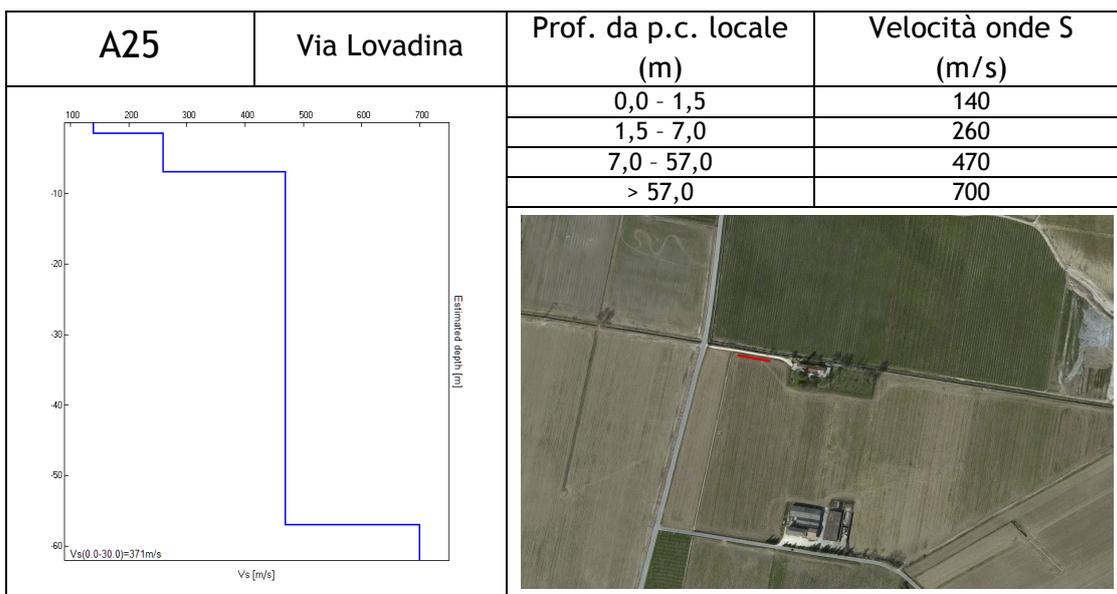












## 6.2.2 Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)

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.

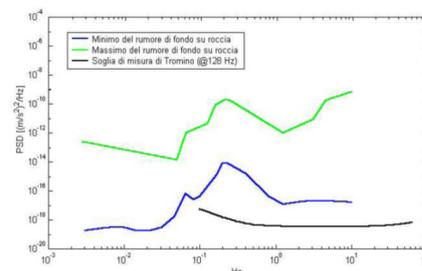
Possiamo scrivere questo come:

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

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. 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

### 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 di nuova realizzazione, 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.

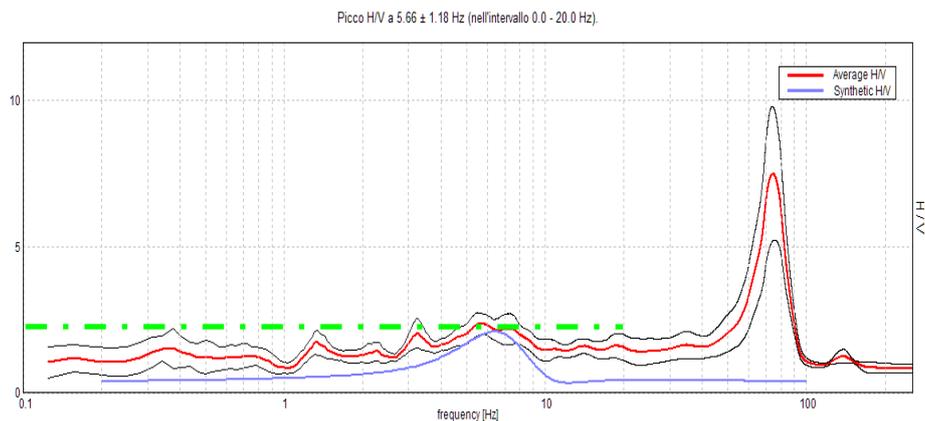
L’analisi dei microtremori attraverso la tecnica *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (H.V.S.R.) consente di mettere in luce fenomeni di risonanza sismica e di stimare le frequenze alle quali il moto del terreno può essere amplificato (frequenza fondamentale di risonanza del terreno,  $f_0$ ). Il 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 carte 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.

38

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<sup>®</sup>, 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.

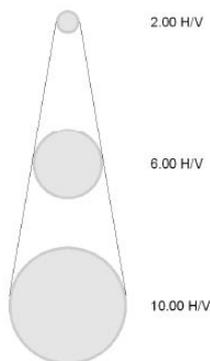
I risultati delle analisi sono stati cartografati tramite dei cechi di diverso colore in base ai valori di frequenza  $f_0$  (7 classi) e con un diametro proporzionale all'ampiezza del picco.

### 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.

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 3.1.1.

### 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'

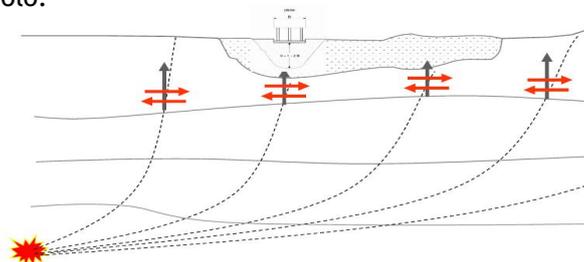
Inoltre sono state inserite le faglie capaci e attive.

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.

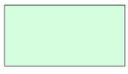
In sostanza, si noti che l'intero territorio è considerabile come stabile suscettibile di amplificazione sismica. Infatti, è stato verificato che il moto sismico è modificabile rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e sub - pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche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

**ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI**

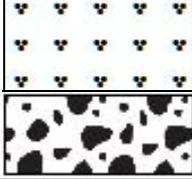
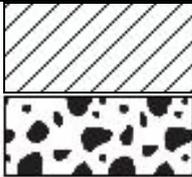
Il Comune di Santa Lucia di Piave si sviluppa interamente in un'area "stabile suscettibile di amplificazione sismica" in quanto il moto sismico di partenza, proveniente dal basamento roccioso profondo, subirà delle modifiche in termini di durata, ampiezza e frequenza a causa dei contrasti di rigidità 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><b>Zona 1. GW</b>, 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 <b>200 m/s</b> 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 <b>800 m/s (bedrock geofisico)</b>.</p>	
<p><b>Zona 2. SW</b>, 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 <b>200 m/s e 300 m/s</b>.</p>	
<p><b>Zona 3. CL</b>, 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 <b>150 m/s e 250 m/s</b>.</p>	

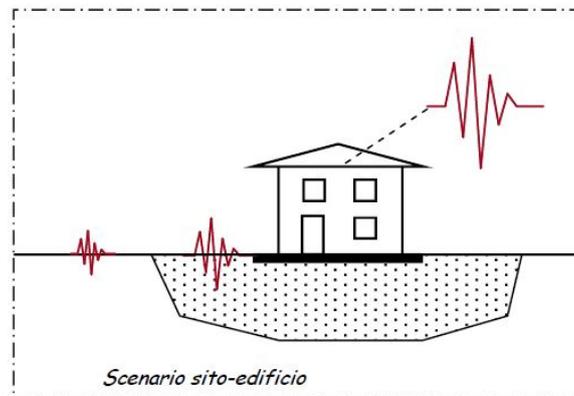
I lineamenti sismicamente attivi (rottture in superficie per riattivazione di faglia capace) possono essere evidenziati solo da studi sismogenetici di livello superiore, per cui nella carta sono state ubicate le faglie "capaci" riportate nel Data Base ITHACA, confrontato con il Data Base DISS 3.1.1. Le faglie sono state riportate esclusivamente per completare le informazioni ritenute più importanti e, vista anche l'approssimazione della loro ubicazione, si deve rimandare agli enti scientifici per eventuali "fasce di vincolo" o "microzone specifiche" da inserire negli strumenti pianificatori.

## 8 METODO GEOFISICO-STRUMENTALE PER LA CARATTERIZZAZIONE DEGLI INDICATORI DI VULNERABILITA' SISMICA DEGLI EDIFICI

Il metodo geofisico - strumentale mira ad identificare la presenza, in un edificio, di comportamenti ritenuti critici in termini di risposta sismica, attraverso l'interpretazione di misure dirette di tremore ambientale effettuate all'interno dell'edificio e nel sito che lo ospita.

Per interpretare il comportamento del sito in termini di frequenze principali di oscillazione, viene applicata la tecnica H.V.S.R. (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali e verticale), mentre per poter meglio individuare il comportamento dell'edificio è preferibile usare la tecnica S.S.R. (Standard Spectral Ratio). Quest'ultima procedura consiste nel calcolare il rapporto tra gli spettri misurati all'interno dell'edificio ai vari piani, in modo tale da riconoscere al meglio le frequenze proprie dei modi di vibrare dell'edificio stesso.

Il metodo parte dall'assunto che, per un'adeguata valutazione della propensione al danneggiamento di una struttura, si deve tenere conto sia del comportamento sismico dell'edificio, sia del comportamento del sito su cui esso è ubicato (figura seguente).



Le misure di tremore sono utilizzate, in particolare, per riconoscere strumentalmente alcuni indicatori di vulnerabilità del sistema unitario sito - edificio.

Nello specifico, le misure di tremore sul sito consentono di:

- definire la presenza di un significativo contrasto di impedenza che può causare l'incremento dell'azione sismica in superficie (tecnica H.V.S.R.);
- valutare la frequenza naturale del sito (tecnica H.V.S.R.);
- identificare la presenza di variabilità laterale della geometria del *bedrock* (rotazione delle componenti spettrali).

Le misure di tremore effettuate all'interno di un edificio consentono invece di:

- risalire alle frequenze naturali delle strutture (tecnica S.S.R.);
- stimare e individuare la propensione a subire effetti torsionali (tecnica S.S.R.).

Conoscendo le frequenze naturali del sito e dell'edificio è possibile, quindi, valutare la propensione alla doppia risonanza tra sito e struttura.

La frequenza naturale di un edificio è considerata il parametro fondamentale per valutare l'azione sismica a partire dallo spettro di progetto; generalmente, essa viene stimata attraverso formule empiriche, anche se molteplici studi hanno dimostrato che i valori così ottenuti non sono sempre in buon accordo con quelli rilevabili con misure dirette (si veda ad esempio Gallipoli et al. 2009). La frequenza naturale può essere direttamente stimata individuando i picchi presenti nei rapporti tra gli spettri dell'edificio e quelli del sito.

La verifica dell'eventuale effetto della "doppia risonanza" tra sito ed edificio è altrettanto importante, nonostante non sia espressamente contemplata nelle norme tecniche, poiché può causare un incremento dell'azione sismica sulla struttura.

Tale possibile "sincronizzazione" si valuta semplicemente comparando la frequenza naturale del sito con quella dell'edificio. Le misure geofisiche di tremore sull'edificio consentono anche di individuare la propensione a subire effetti torsionali; la loro eventuale presenza può incrementare le sollecitazioni su alcuni elementi strutturali, aumentando, di conseguenza, la vulnerabilità dell'edificio.

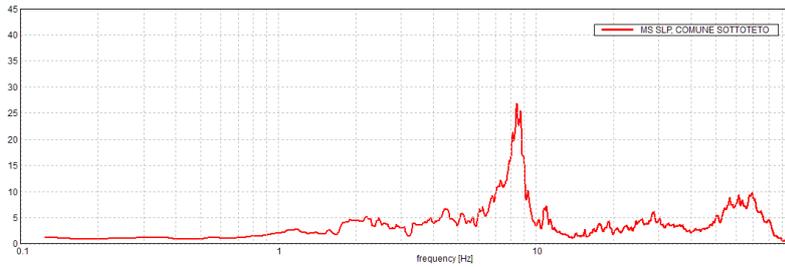
#### Esempio di applicazione del metodo. Sede comunale, alcune scuole e case comunali

Si riportano di seguito cinque esempi sull'applicazione del metodo geofisico - strumentale per la caratterizzazione diretta degli indicatori di vulnerabilità sismica:

- *sede del Comune di Santa Lucia di Piave*. Struttura in muratura con 2 piani fuori terra e sottotetto abitabile, presenta una pianta regolare di forma rettangolare con rapporto tra i lati di circa 2:1. Sono state effettuate 3 misure in corrispondenza dell'edificio: due all'interno (sottotetto e piano terra) e una all'esterno (nel giardino);
- *case comunali di via Foresto Est*. Struttura in muratura con 2 piani fuori terra e sottotetto, presenta una pianta regolare di forma rettangolare con rapporto tra i lati di circa 2:1. Sono state effettuate 3 misure in corrispondenza dell'edificio: due all'interno (sottotetto e piano fondazionale) e una all'esterno (nel giardino oltre la strada);
- *edificio scolastico di via Bolda*. Struttura in muratura e cemento armato (?) ad un piano fuori terra, presenta una pianta irregolare in due blocchi. Sono state effettuate 3 misure in corrispondenza dell'edificio: due all'interno (sul tetto e piano fondazionale) e una all'esterno (nel giardino);
- *palestra scolastica località Sarano*. Struttura in metallo alta circa 8 m, presenta una pianta regolare quadrata. Sono state effettuate 3 misure in corrispondenza dell'edificio: due all'interno (sul tetto e piano fondazionale) e una all'esterno (nel giardino adiacente);
- *edificio scolastico di via Foresto Est*. Struttura in muratura e cemento armato (?) a due piani fuori terra e sottotetto, presenta una pianta irregolare ad U. Sono state effettuate 3 misure in corrispondenza dell'edificio: due all'interno (sottotetto e piano fondazionale) e una all'esterno (nel giardino adiacente);
- *serbatoio idrico del comune di Santa Lucia di Piave*. Struttura in cemento armato, con pianta circolare (diametro di circa 4 m) e un'altezza di 40 m. Il serbatoio idrico toroidale è collocato a circa  $\frac{3}{4}$  dell'altezza totale del fusto. Sono state effettuate 4 misure in corrispondenza della struttura: 4 all'interno (tetto,  $\frac{3}{4}$  dell'altezza,  $\frac{1}{4}$  dell'altezza e piano fondazionale) e una all'esterno (nel giardino adiacente).

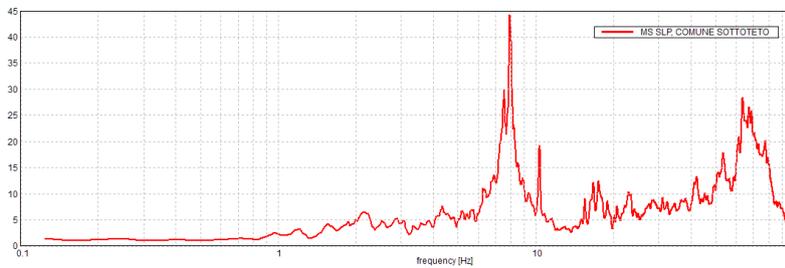


Sede Comunale di Santa Lucia di Piave



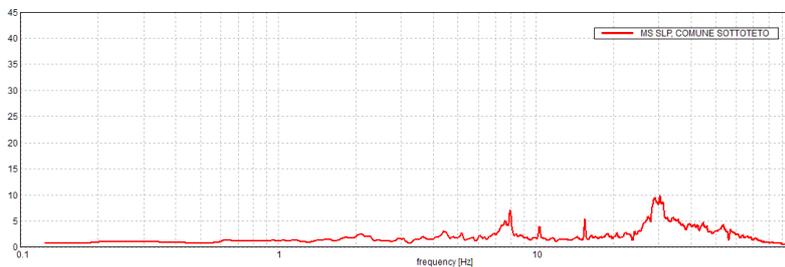
Componente Nord - Sud del moto sismico.

Frequenza del primo modo di vibrazione della struttura:  
8,5 Hz.



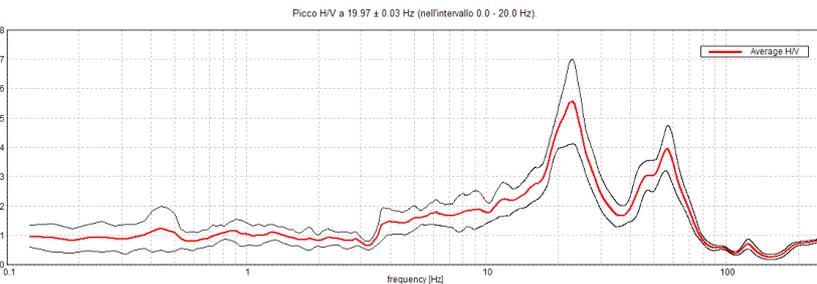
Componente Est - Ovest del moto sismico.

Frequenza del primo modo di vibrazione della struttura:  
7,9 Hz.



Componente verticale del moto sismico.

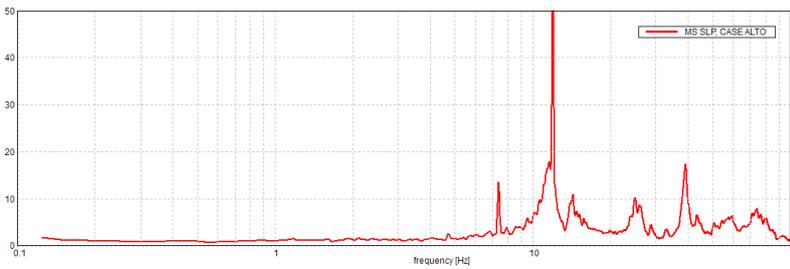
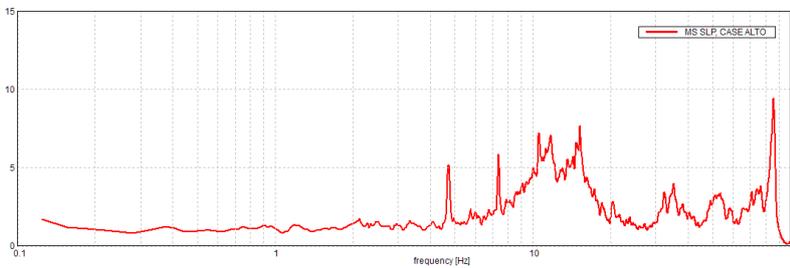
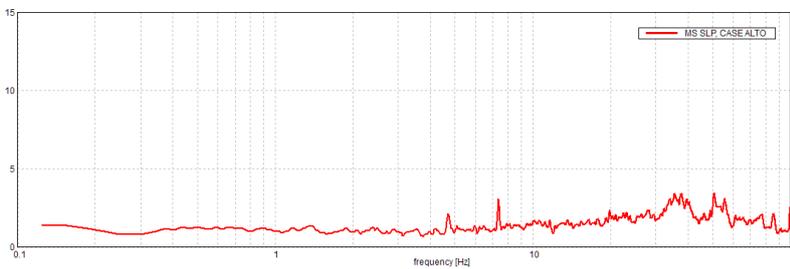
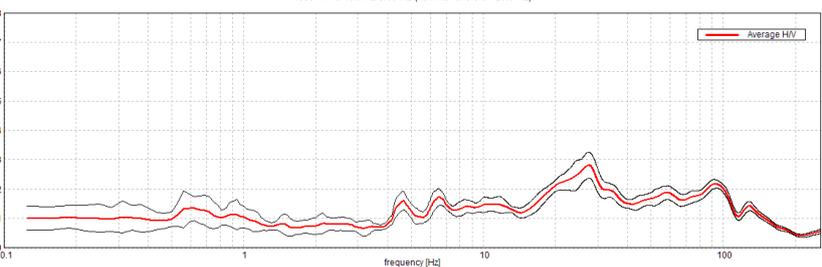
Modesta amplificazione del moto a 8,0 Hz.



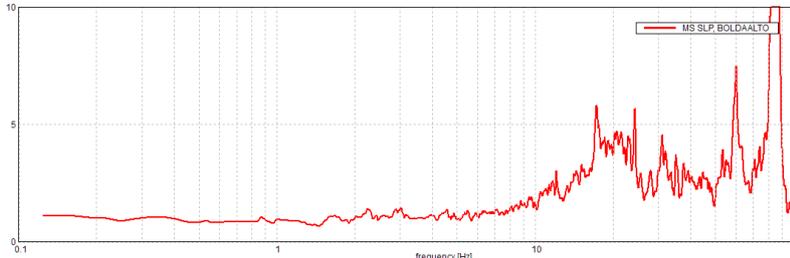
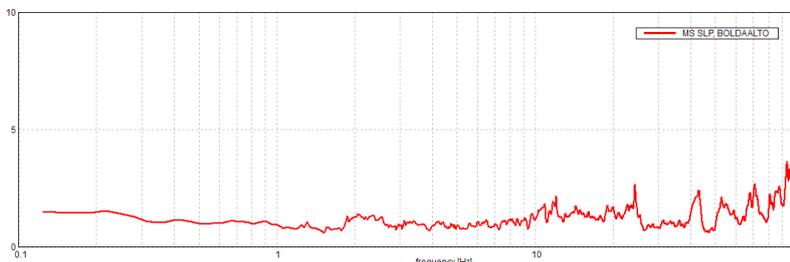
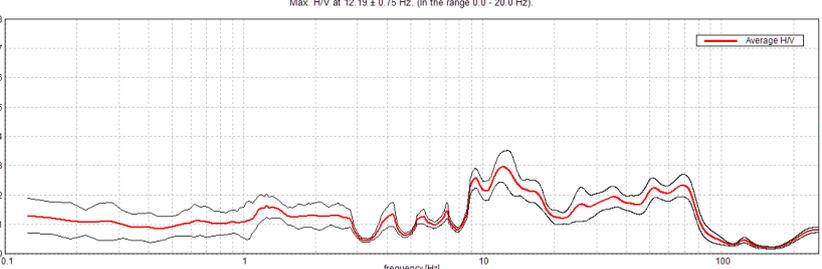
Andamento HVSR registrato all'esterno della struttura.

Assenza di contrasti sismici nel sottosuolo tali da generare amplificazioni del moto alle frequenze della struttura analizzata.

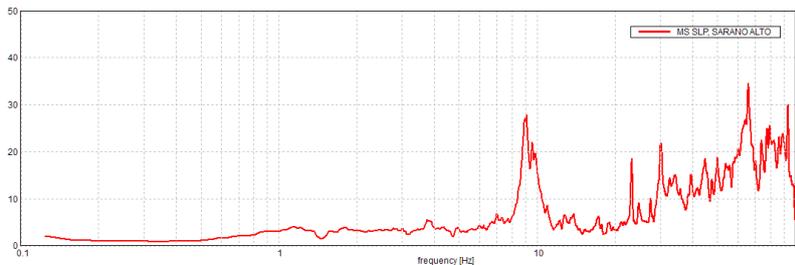
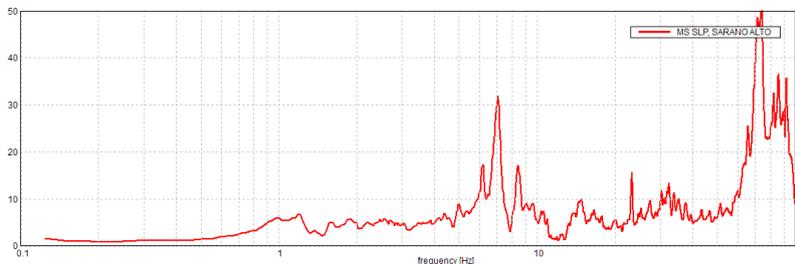
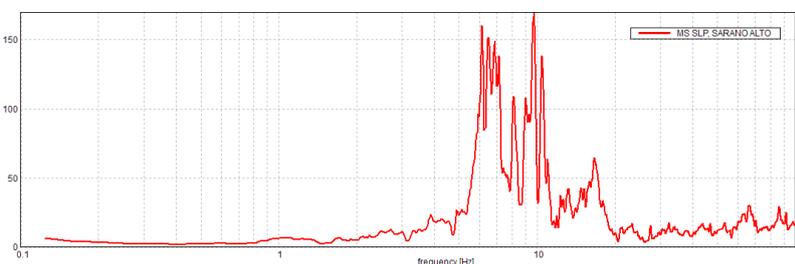
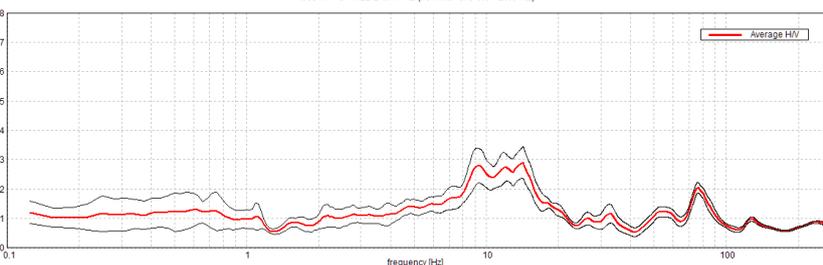


	<p><u>Case comunali di via Foresto Est</u></p>
	<p><u>Componente Nord - Sud del moto sismico.</u></p> <p>Frequenza del primo modo di vibrazione della struttura: 7,3 Hz.</p>
	<p><u>Componente Est - Ovest del moto sismico.</u></p> <p>Frequenza del primo modo di vibrazione della struttura: 4,8 Hz.</p>
	<p><u>Componente verticale del moto sismico.</u></p> <p>Non si rilevano sostanziali amplificazioni della componente verticale.</p>
 <p>Picco H/V a 19.97 ± 3.86 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).</p>	<p><u>Andamento HVSR registrato all'esterno della struttura.</u></p> <p>Assenza di contrasti sismici nel sottosuolo tali da generare amplificazioni del moto alle frequenze della struttura analizzata.</p>

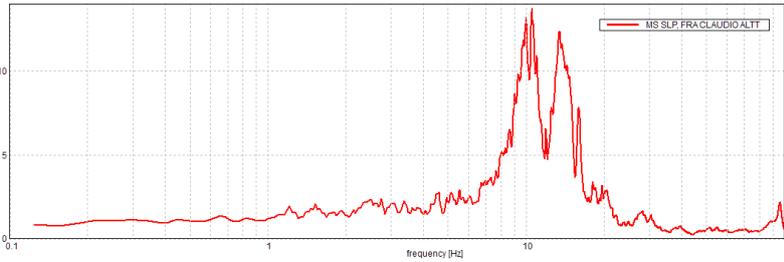
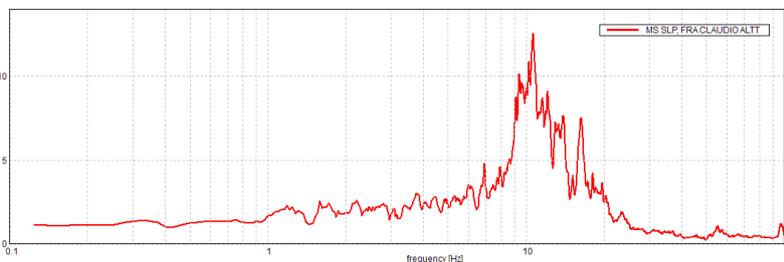
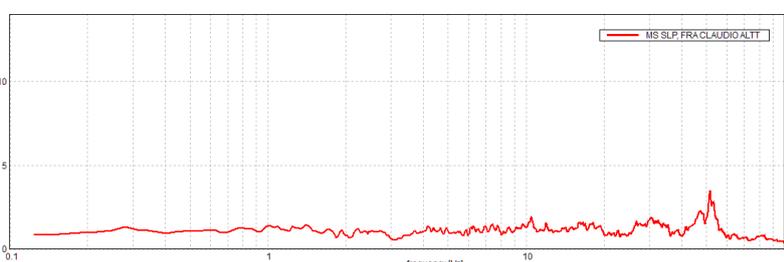
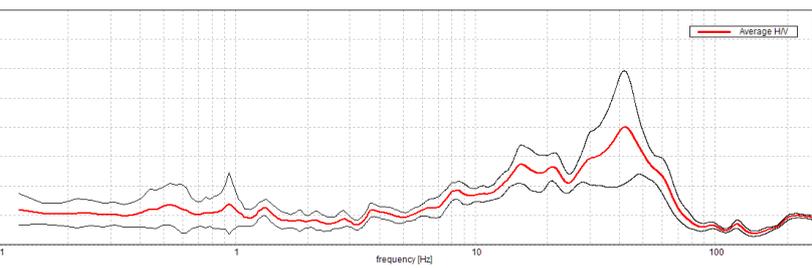


	<p><u>Edificio scolastico di via Bolda</u></p>
	<p><u>Componente Nord - Sud del moto sismico.</u></p> <p>Frequenza del primo modo di vibrazione della struttura: 12,0 Hz.</p>
	<p><u>Componente Est - Ovest del moto sismico.</u></p> <p>Frequenza del primo modo di vibrazione della struttura: 18,0 Hz.</p>
	<p><u>Componente verticale del moto sismico.</u></p> <p>Non si rilevano sostanziali amplificazioni della componente verticale.</p>
	<p><u>Andamento HVSR registrato all'esterno della struttura.</u></p> <p>Presenza di un contrasto sismico nel sottosuolo tale da poter generare amplificazioni del moto alle frequenze della struttura analizzata.</p>

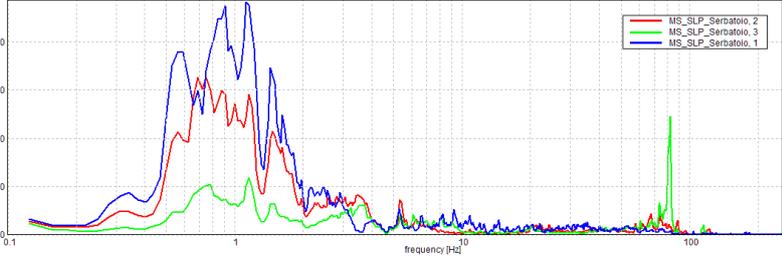
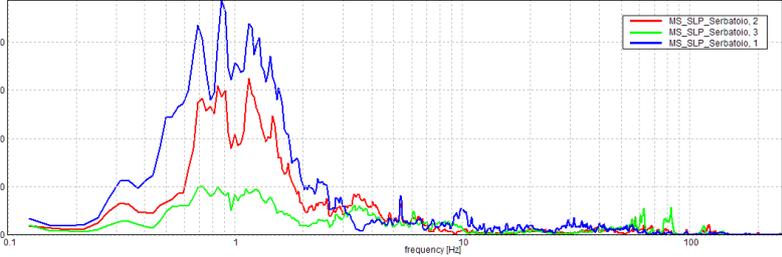
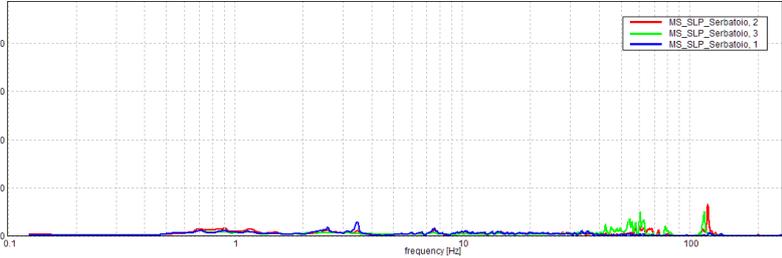
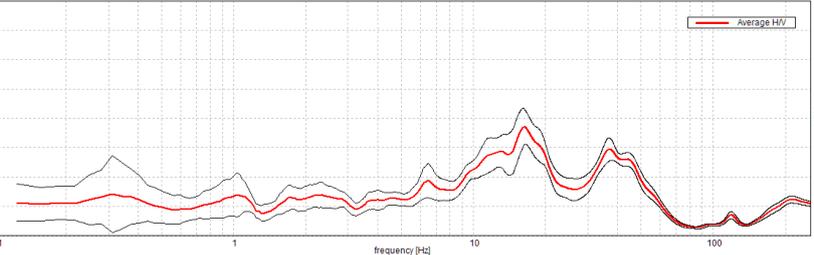


	<p><b><u>Palestra scolastica località Sarano</u></b></p>
	<p><b><u>Componente Nord - Sud del moto sismico.</u></b></p> <p>Frequenza del primo modo di vibrazione della struttura: 9,0 Hz.</p>
	<p><b><u>Componente Est - Ovest del moto sismico.</u></b></p> <p>Frequenza del primo modo di vibrazione della struttura: 7,0 Hz.</p>
	<p><b><u>Componente verticale del moto sismico.</u></b></p> <p>Frequenza del primo modo di vibrazione della struttura: 6,1 Hz.</p>
	<p><b><u>Andamento HVSR registrato all'esterno della struttura.</u></b></p> <p><i>Presenza di un contrasto sismico nel sottosuolo tale da poter generare amplificazioni del moto alle frequenze della struttura analizzata.</i></p>



	<p><b><u>Edificio scolastico di via Foresto Est</u></b></p>
	<p><b><u>Componente Nord - Sud del moto sismico.</u></b></p> <p>Frequenza del primo modo di vibrazione della struttura: 9,9 Hz.</p>
	<p><b><u>Componente Est - Ovest del moto sismico.</u></b></p> <p>Frequenza del primo modo di vibrazione della struttura: 11,0 Hz.</p>
	<p><b><u>Componente verticale del moto sismico.</u></b></p> <p>Non si rilevano sostanziali amplificazioni della componente verticale</p>
	<p><b><u>Andamento HVSR registrato all'esterno della struttura.</u></b></p> <p>Presenza di un contrasto sismico nel sottosuolo tale da poter generare amplificazioni del moto alle frequenze della struttura analizzata.</p>



	<p><u>Serbatoio idrico</u></p>
<p>North-South component</p> 	<p><u>Componente Nord - Sud del moto sismico.</u></p> <p>Frequenza del primo modo di vibrazione della struttura: 0,6 - 1,6 Hz.</p>
<p>East-West component</p> 	<p><u>Componente Est - Ovest del moto sismico.</u></p> <p>Frequenza del primo modo di vibrazione della struttura: 0,6 - 1,7 Hz.</p>
<p>Up-Down component</p> 	<p><u>Componente verticale del moto sismico.</u></p> <p>Non si rilevano sostanziali amplificazioni della componente verticale.</p>
<p>Picco HVV a 16.25 ± 2.31 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz)</p> 	<p><u>Andamento HVSR registrato all'esterno della struttura.</u></p> <p>Assenza di contrasti sismici nel sottosuolo tali da generare amplificazioni del moto alle frequenze della struttura analizzata.</p>



I risultati ottenuti evidenziano che la metodologia proposta consente una valutazione rapida ed economica degli indicatori collegati alla danneggiabilità degli edifici ed è adatta a definire delle strategie di mitigazione di rischio sismico, anche su vasti territori. A differenza di altre metodologie di stima indiretta, quali ad esempio formulazioni empiriche o modellazioni FEM, il metodo consente di ottenere degli indicatori di vulnerabilità misurati direttamente sulla struttura che, pertanto, sono soggetti al solo errore di misura e non a tutte le incertezze che caratterizzano i metodi indiretti.

Si deve tuttavia sottolineare che il metodo geofisico - strumentale non può e non deve sostituirsi a valutazioni e calcoli strutturali o a prove dinamiche attive, né tanto meno è in grado di identificare direttamente quali siano le eventuali carenze strutturali di un edificio in termini di risposta sismica.

Alla luce di quanto appena esposto, si auspica che tale metodologia venga utilizzata su altre strutture e infrastrutture presenti nel territorio Comunale di Santa Lucia di Piave, per valutarne la loro predisposizione a subire danni in caso di terremoto.

## 9 MODELLIZZAZIONI NUMERICHE AVANZATE - LIVELLO III DI APPROFONDIMENTO

La modellazione numerica è stata effettuata, in accordo con l'Amministrazione Comunale, per quantificare correttamente la risposta sismica di sito presso alcuni punti del territorio comunale di Santa Lucia di Piave in zone urbanizzate. Tutte le simulazioni hanno considerato gli effetti amplificativi del moto sismico dovuti alla stratigrafia secondo i risultati ottenuti dalle misure sismiche effettuate sul territorio.

La tecnica di risoluzione numerica adoperata è stata quella alle differenze finite (FDM) implementata nel codice di calcolo **FLAC 7.0** (ITASCA, 2011), operante nel dominio del tempo. Il codice effettua un'analisi lagrangiana del continuo risolto mediante uno schema di avanzamento temporale di tipo esplicito.

Il risultato finale è stato rappresentato in una storia accelerometrica orizzontale attesa nel sito d'indagine e plottata in uno spettro di risposta elastico confrontabile con quelli di normativa provenienti dall'approccio semplificato (NTC - 2008). Infine, è stato calcolato il Fattore di Amplificazione (FA), tramite l'intensità di *Housner* per un periodo T compreso tra 0,1 s e 0,5 s poiché, in tale intervallo, si ha la massima risposta in accelerazione.

### 9.1 Descrizione del metodo

Il codice di calcolo **FLAC 2D v.7.0** (*Fast Lagrangian Analysis of Continua*) della Itasca (2011) è basato sul metodo delle differenze finite con un procedimento di tipo esplicito. La flessibilità nella modellazione della geometria del problema, la disponibilità di elementi strutturali, l'elevato numero di modelli costitutivi implementati e la possibilità di svilupparne anche di nuovi, rendono FLAC idoneo allo studio di tutti i problemi riguardanti il comportamento meccanico di mezzi continui (terreni, rocce, ecc.) e di strutture interagenti. Sviluppato inizialmente per le applicazioni di ingegneria geotecnica e ingegneria mineraria in campo statico, esso ha trovato successivamente, con l'introduzione del modulo dinamico, largo impiego anche per la soluzione di problemi di risposta sismica locale. Il codice di calcolo FLAC, anche per i problemi in campo statico, risolve le equazioni di equilibrio dinamico di un mezzo continuo:

$$\rho \cdot \frac{\partial \dot{u}_i}{\partial t} = \sum_j \frac{\partial \tau_{ji}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (9.1)$$

dove:

- $\rho$  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  $i$
- $\tau_{ji}$  la generica componente del tensore degli sforzi.

Il comportamento meccanico dei materiali è espresso dalla legge costitutiva:

$$\tau_{ji} = M(\tau_{ji}; \dot{\epsilon}_{ij}; k) \quad (9.2)$$

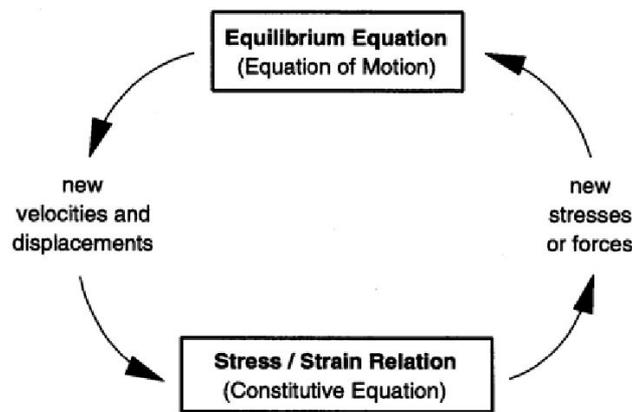
dove  $k$  è un parametro che tiene conto della storia di carico,  $M$  un funzionale ed  $\dot{\epsilon}_{ij}$  il tensore velocità di deformazione espresso dalla:

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \dot{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (9.3)$$

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 (9.1) 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*.

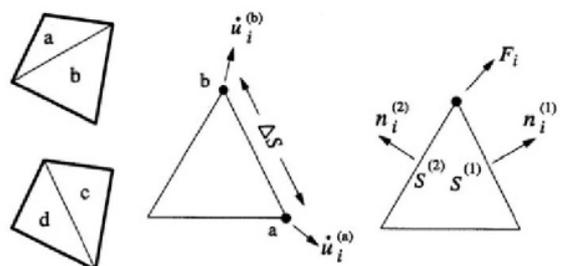
In sintesi, l'algoritmo risolutivo dell'approccio esplicito si articola secondo il ciclo indicato nella seguente figura.



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  $\Delta_t$  (*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  $\Delta_t$  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:

$$\int_S \mathbf{f} \cdot \hat{\mathbf{n}} \cdot d\mathbf{s} = \int_A \text{div } \mathbf{f} \cdot dA \quad (9.4)$$

in cui:

- $\hat{\mathbf{n}}$  è il versore normale al contorno  $S$  del dominio triangolare
- $\mathbf{f}$  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  $\mathbf{f}$  un valore medio del vettore velocità, la relazione precedente consente di scrivere:

$$\frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x_i} \cong \frac{1}{2A} \sum_s (\dot{u}_i^{(a)} + \dot{u}_i^{(b)}) n_j \Delta s \quad (9.5)$$

dove (a) e (b) sono due nodi consecutivi sul generico lato del triangolo. Attraverso la (9.3) e la (9.5) 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:

$$\mathbf{F}_i = \frac{1}{2} \tau_{ji} \left( n_i^{(1)} S^{(1)} + n_i^{(2)} S^{(2)} \right) \quad (9.6)$$

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  $\Sigma \mathbf{F}_i$ ; se  $\Sigma \mathbf{F}_i = 0$ , il nodo è in equilibrio, altrimenti subirà un'accelerazione espressa dalla seconda legge di Newton, nient'altro che la (9.1) espressa in termini incrementali:

$$\dot{u}_i^{(t+\frac{\Delta t}{2})} = \dot{u}_i^{(t-\frac{\Delta t}{2})} + \left[ \sum \mathbf{F}_i^{(t)} \right] \frac{\Delta t}{m} \quad (9.7)$$

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*  $\Delta t$  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,  $\Delta t$  deve essere inferiore ad un *time step* critico  $\Delta t_{cr}$  definito dalla:

$$\Delta t_{cr} = \min \left\{ \frac{A}{V_p \Delta x_{max}} \right\} \quad (9.8)$$

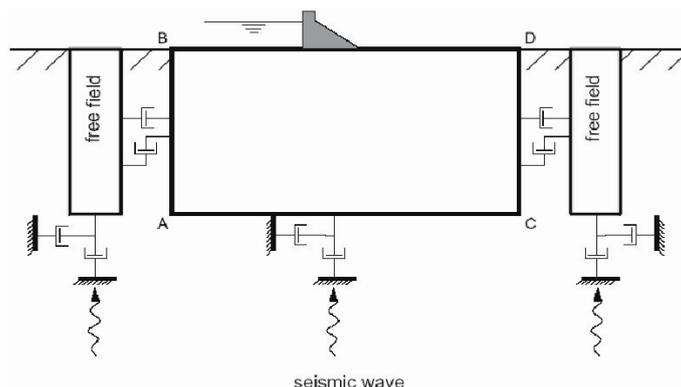
dove  $A$  è la superficie del subelemento triangolare,  $\Delta x_{max}$  la dimensione massima della zona (in genere la diagonale) e  $V_p$  la velocità delle onde di compressione. La funzione minimo è presa su tutte le zone. Il *timestep* critico è tanto più piccolo (e i tempi di calcolo quindi tanto più elevati) quanto più la rigidità del materiale è elevata e quanto più piccolo è l'elemento. Il  $\Delta t$  di calcolo viene determinato internamente da FLAC, applicando un coefficiente di sicurezza pari a 2 al valore fornito dalla (9.8).

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  $\lambda_{min}$ :

$$h \leq \frac{\lambda_{min}}{10} \quad (9.9)$$

La  $\lambda_{min}$  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:

$$\sigma_n = 2(\rho V_p) v_n \quad \sigma_s = 2(\rho V_s) v_s \quad (9.10)$$

dove:

- $\rho$  è la densità;
- $\sigma_n$ ,  $\sigma_s$  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 / G<sub>0</sub> - 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**:

$$\mathbf{C} = \alpha_R \mathbf{M} + \beta_R \mathbf{K} \quad (9.11)$$

dove  $\alpha_R$  e  $\beta_R$  sono i coefficienti di *Rayleigh* che hanno dimensione rispettivamente di  $s^{-1}$  e  $s$ . E' possibile dimostrare (*Chopra, 1995*) che lo smorzamento  $\xi_j$  associato al  $j$  - esimo modo di vibrazione del deposito è espresso dalla:

$$\xi_j = \frac{1}{2} \left( \frac{\alpha_R}{\omega_j} + \beta_R \omega_j \right) \quad (9.12)$$

dove  $\omega_j$  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:

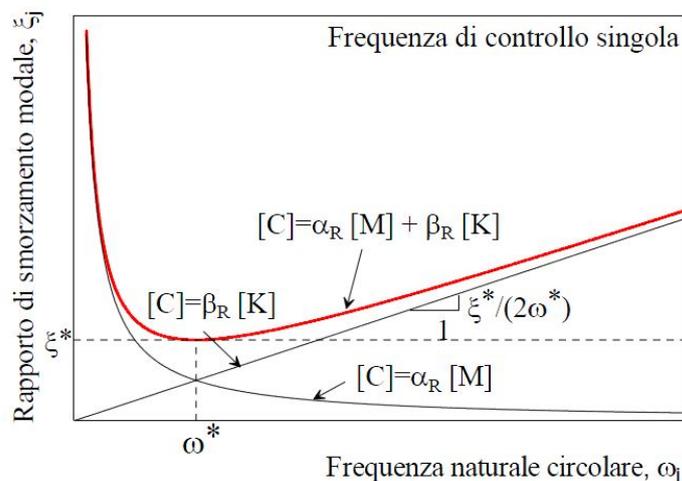
$$\alpha_R = \xi^* \omega^* \quad , \quad \beta_R = \frac{\xi^*}{\omega^*} \quad (9.13)$$

avendo fissato lo smorzamento modale al valore  $\xi$  in corrispondenza della singola frequenza  $\omega$ .

Per ciascun elemento della *mesh* occorre specificare il rapporto di smorzamento  $\xi^*$  del materiale e la frequenza  $\omega^*$ . A titolo di esempio, nel caso di smorzamento  $\xi^*$  e frequenza  $\omega^*$  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  $\omega_j$ , secondo la:

$$\xi_j = \frac{\xi^*}{2} \left( \frac{\omega^*}{\omega_j} + \frac{\omega_j}{\omega^*} \right) \quad (9.14)$$

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



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  $\xi^*$  e la frequenza di controllo  $\omega^*$  (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  $\xi^*$ .

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  $f^*$ .

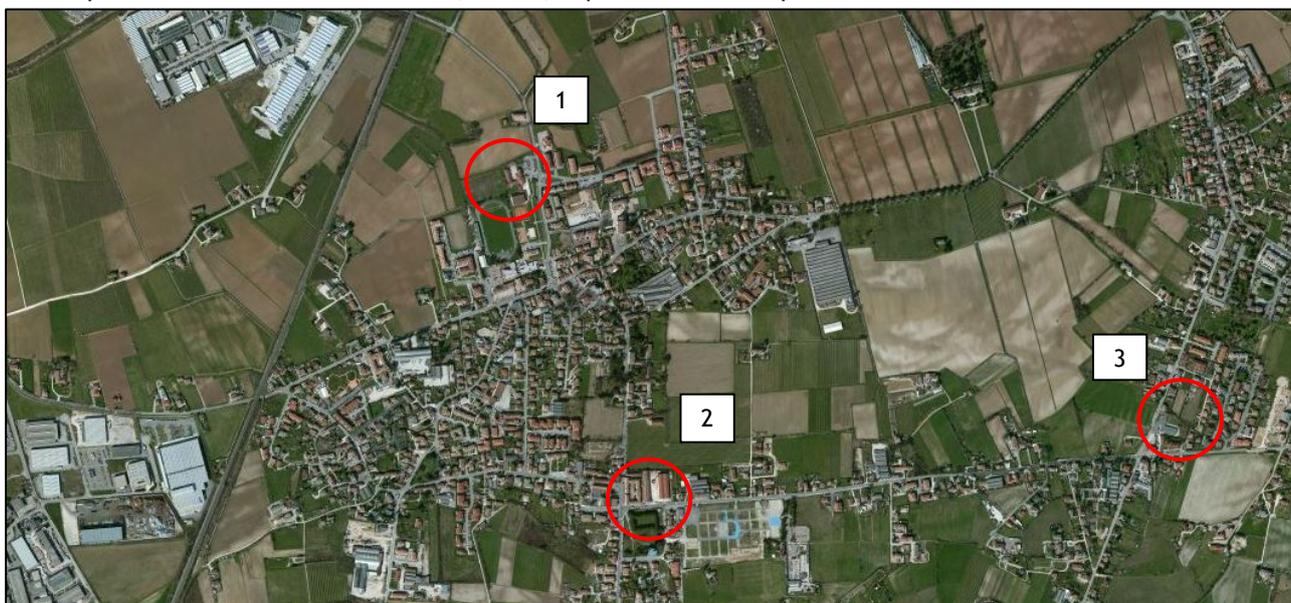
In definitiva, per ciascun materiale occorre fornire i seguenti parametri di input:

- 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 ( $\nu$ );
- nel caso di analisi non lineari occorre fornire i parametri caratteristici del modello adottato;
- rapporto di smorzamento ( $\xi^*$ ) 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.

## 9.2 Casi applicativi nel Comune di Santa Lucia di Piave

Per quantificare l'azione sismica, valutare l'attendibilità dell'approccio semplificato della normativa vigente (NTC - 2008) e il fattore di amplificazione, sono stati realizzati n°4 modelli monodimensionali sui quali sono state condotte le modellazioni numeriche. In particolare, il punto n°1 è posizionato nei pressi della scuola di via Foresto Est, il punto n°2 in prossimità dell'area "Ex Filanda", il punto n°3 in adiacenza al complesso scolastico di via Bolda e, infine, il punto n°4 corrisponde della scuola di Sarano.

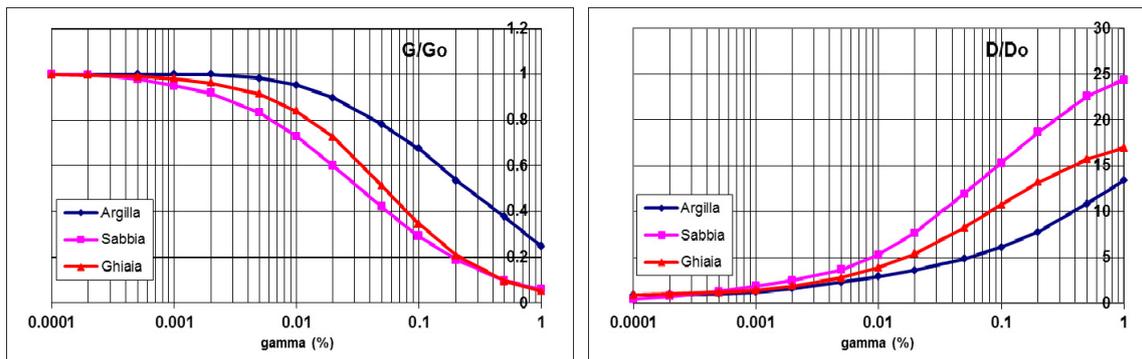


59



Le sismo - stratigrafie ed i valori di rigidità utilizzati sono quelli ottenuti dalle indagini sismiche eseguite in sito e precedentemente descritte. Lungo le frontiere laterali dei modelli sono stati introdotti particolari elementi assorbenti (*free - field* boundaries) che, oltre ad evitare la riflessione delle onde in maniera analoga agli smorzatori viscosi introdotti da Lysmer & 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  $V_r = 100$  anni. A partire da queste indicazioni si è determinato un periodo di ritorno dell'azione sismica di 475 anni corrispondente ad una probabilità di superamento del 10% allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV).

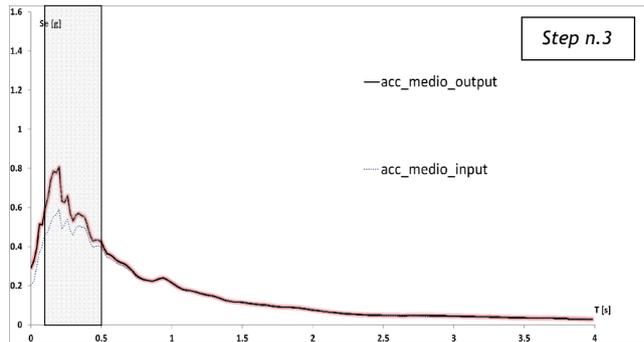
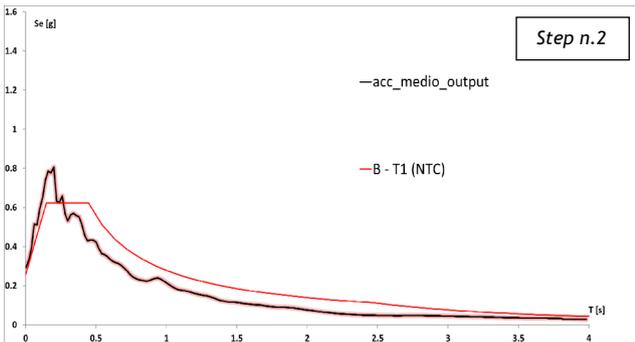
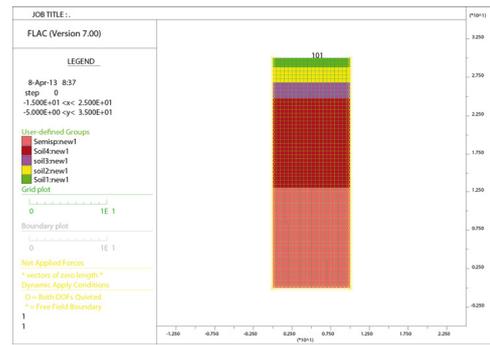
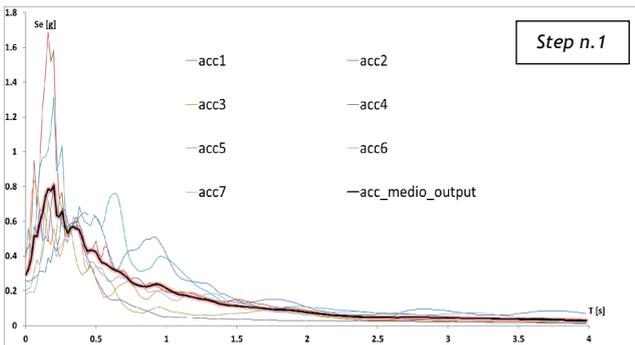
L'input sismico utilizzato è rappresentato da una settupla di storie accelerometriche applicate alla base del modello e riferite agli spettri di Normativa calcolati per il sito in esame, considerando un sottosuolo di roccia affiorante (classe A) con topografia orizzontale (T1) e correttamente deconvoluto (v. Dynamic Analysis della ITASCA, 2011).

In particolare, i sette accelerogrammi sono stati ricavati tramite l'utilizzo del portale SEISM - HOME creato dall'EUCENTRE di Pavia, che seleziona gli input con il massimo rigore, da parte di operatori esperti, evitando in particolare di inserire più di una registrazione proveniente dallo stesso evento o dalla stessa stazione. Tramite una procedura ottimizzata (Corigliano et al, 2012) è stato selezionato l'insieme migliore di accelerogrammi spettro - compatibili registrati su Sottosuolo roccioso di Categoria A sub - pianeggiante e disponibili nelle principali banche dati accelerometriche mondiali accreditate.

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.

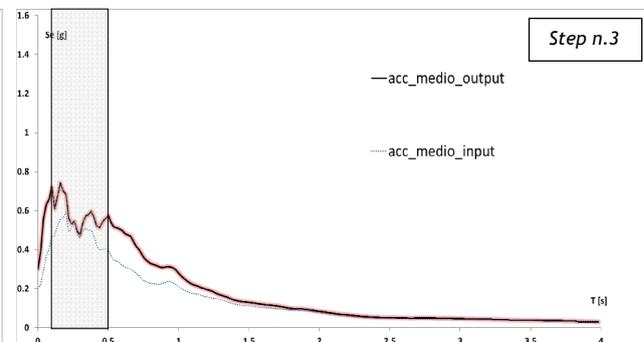
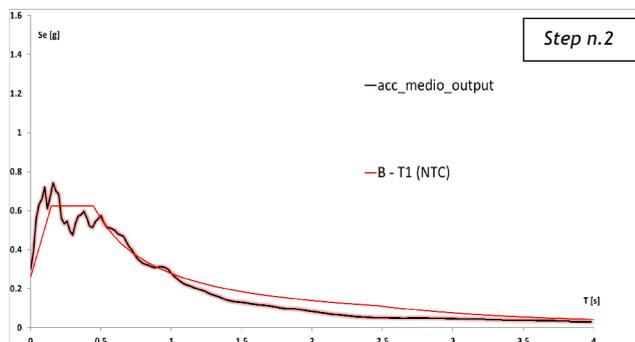
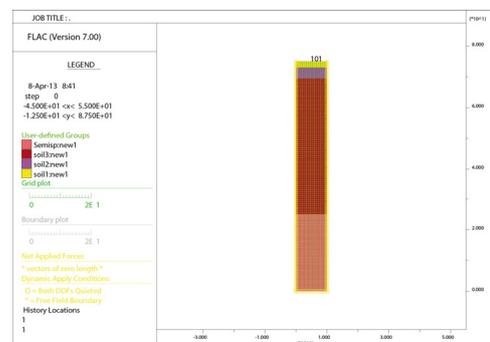
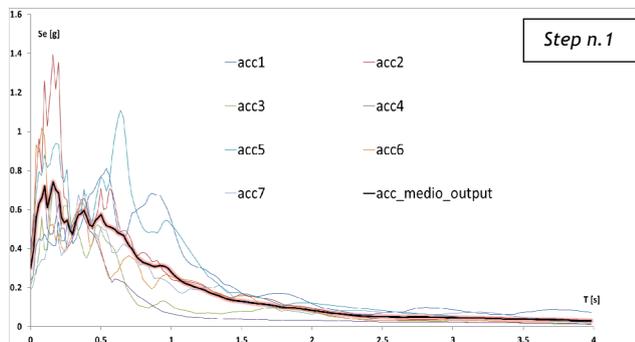
Tutte le *history* ottenute sono state successivamente plottate in uno spettro di risposta elastico e mediate in una curva rappresentativa (*Step n. 1*), confrontabile con gli spettri di normativa provenienti dall'approccio semplificato (*Step n. 2*). Infine, per calcolare il Fattore di Amplificazione (FA) si è confrontato lo spettro medio in ingresso con quello in uscita, calcolando il rapporto dell'intensità di *Housner* per un periodo  $T$  compreso tra 0,1 s e 0,5 s poiché, in tale intervallo, si ha la massima risposta in accelerazione (*Step n. 3*).

### Zona n° 1: scuola di via Foresto Est



La Categoria B - T1 (NTC - 2008), quella a cui la zona indagata appartiene, riesce a quantificare bene la risposta sismica di sito per periodi superiori a 0,25 s mentre la sottostima per periodi inferiori. Il fattore di amplificazione nell'intervallo considerato  $FA_{0.1-0.5s}$  è risultato di circa 1,2.

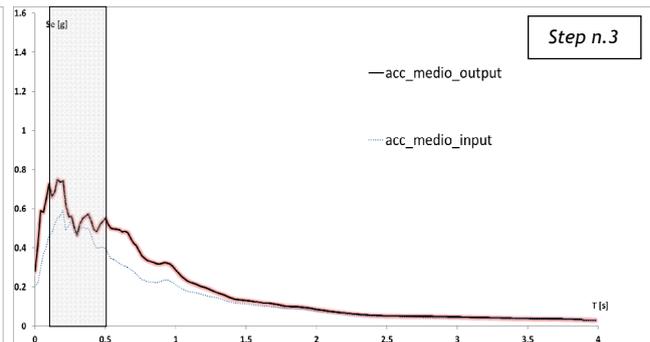
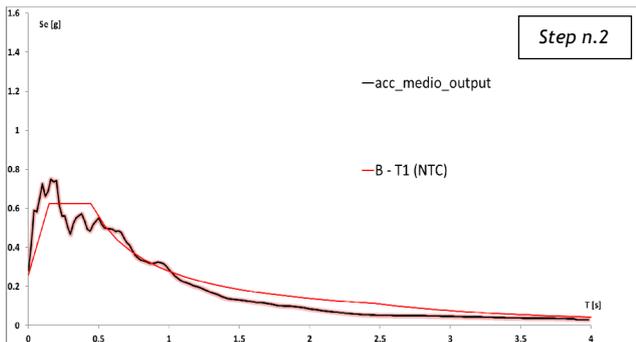
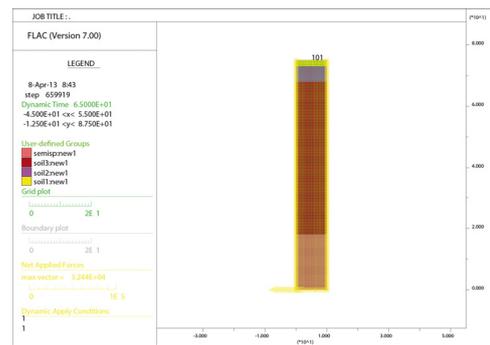
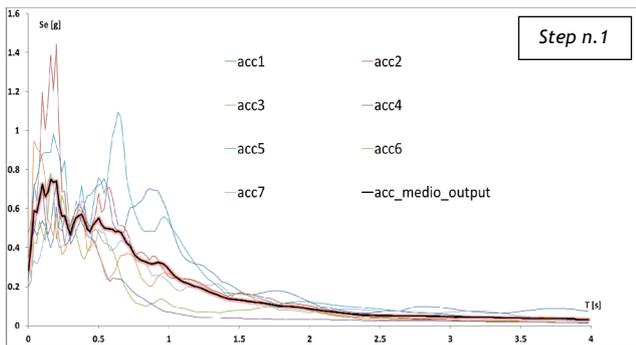
### Zona n° 2: area "Ex Filanda"



La Categoria B - T1 (NTC - 2008), quella a cui la zona indagata appartiene, riesce a quantificare correttamente la risposta sismica di sito per periodi superiori a 0,22 s mentre la sottostima per periodi inferiori. Il fattore di amplificazione nell'intervallo considerato  $FA_{0.1-0.5s}$  è risultato di circa 1,2.

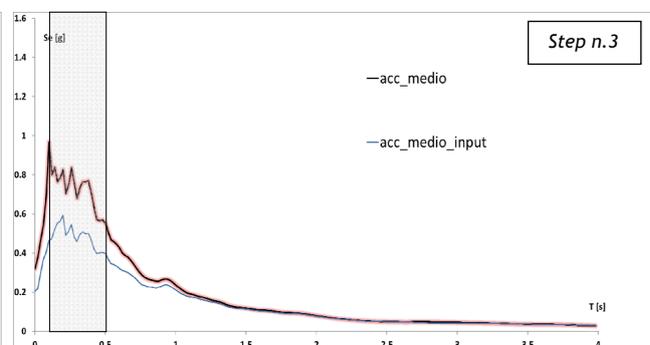
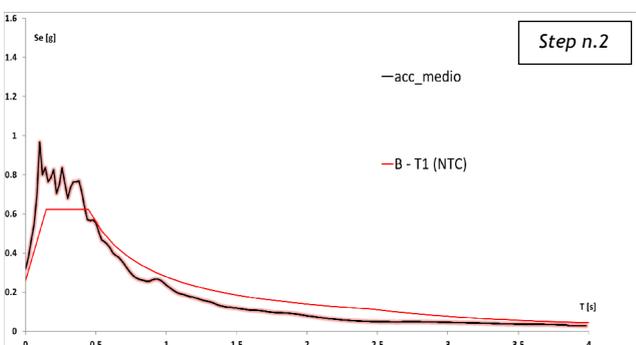
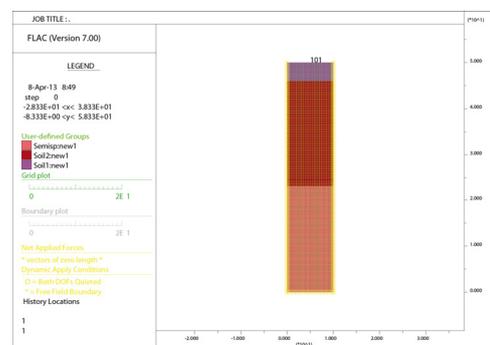
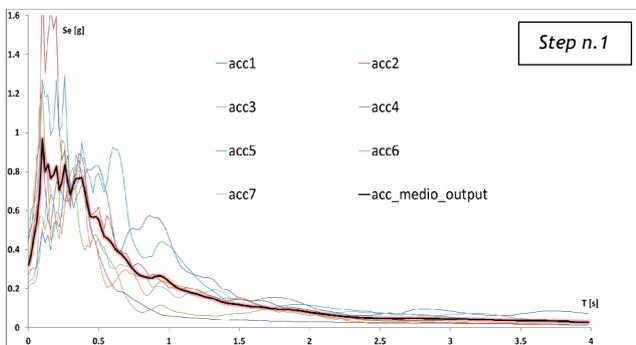


**Zona n° 3: complesso scolastico di via Bolda**



La Categoria B - T1 (NTC - 2008), quella a cui la zona indagata appartiene, riesce a quantificare correttamente la risposta sismica di sito per periodi superiori a 0,22 s mentre la sottostima per periodi inferiori. Il fattore di amplificazione nell'intervallo considerato  $FA_{0.1-0.5s}$  è risultato di circa 1,2.

**Zona n° 4: complesso scolastico località Sarano**



La Categoria B - T1 (NTC - 2008), quella a cui la zona indagata appartiene per profondità di posa delle fondazioni maggiore di 1 m dal p.c. locale, riesce a quantificare correttamente la risposta sismica di sito per periodi superiori a 0,45 s mentre la sottostima per periodi inferiori. Il fattore di amplificazione nell'intervallo considerato  $FA_{0.1-0.5s}$  è risultato di circa 1,5.



Le modellazioni condotte hanno evidenziato come, a volte, la procedura semplificata, consentita dalla normativa vigente (NTC - 2008), non riesce a quantificare correttamente la “spinta sismica” a discapito della sicurezza. In particolare, si osservano le differenze maggiori ai bassi periodi come visibile nello *Step n°2* della modellazione effettuata nei pressi del complesso scolastico di località Sarano.

Considerando che l’altezza delle strutture è direttamente legata al periodo di oscillazione e che lo spettro di risposta elastico riesce a correlare l’accelerazione orizzontale con il periodo di oscillazione strutturale, gli edifici che, a parità di evento sismico, saranno soggetti alla “spinta sismica” maggiore sono le costruzioni caratterizzate da altezze medio - basse.

### 9.3 Commenti finali e criticità

I capitoli precedenti hanno chiaramente evidenziato la complessità del modello strutturale dell’area indagata. La presenza di faglie capaci e di zone sismogenetiche, localizzate all’interno del territorio comunale di Santa Lucia di Piave, denotano un’attività sismica importante come testimoniano i terremoti storici registrati.

In tal senso, visto che le indagini hanno coperto gran parte del territorio comunale coinvolgendo la maggior parte degli ambiti geo - litologici individuati, si ritiene che i livelli successivi di approfondimento debbano essere concentrati solo nelle aree ritenute importanti per la comunità. È altresì vero, che i modelli sismo - stratigrafici ricavati dalle prove effettuate hanno evidenziato una risposta sismica variabile in base all’assetto stratigrafico locale.

Del resto, l’adeguamento del livello di approfondimento va misurato con le risorse e con i tempi disponibili, nonché con il tipo di utilizzazione.

Perciò, lo studio di MS eseguito si presta ad essere aggiornato ed integrato per rendere sempre più basso il rischio sismico. Per ottimizzare i costi degli eventuali approfondimenti successivi e, quindi, per inquadrare al meglio le zone individuate, si propone di realizzare gli studi futuri come segue:

- individuare e perimetrare le aree più abitate, i centri di futura urbanizzazione e le zone che comprendono gli edifici ritenuti strategici o importanti ai fini della Protezione Civile;
- definire eventuali indagini dirette per determinare le caratteristiche geotecniche locali e verificare la necessità di integrare le indagini geofisiche già eseguite;
- individuare le zone che necessitano di essere analizzate fino al Livello III di approfondimento.

Eventuali abachi impiegati nella realizzazione del Livello II, per stimare quantitativamente l’amplificazione sismica, dovranno essere quelli che verranno predisposti dalla Regione Veneto, avendone naturalmente valutata l’applicabilità al proprio contesto territoriale, per cui l’adozione del Livello II dipenderà dalla verifica di tali risponderne.

In caso contrario sarà necessario passare direttamente al Livello III di approfondimento, nel quale dovranno essere stimati i fattori di amplificazione (FA) in termini di P.G.A. e intensità spettrale in pseudo - velocità e/o pseudo - accelerazione, nell’intervallo  $0,1 < T_0 < 0,5$  s e  $0,5 < T_0 < 1,0$  s tramite modellazioni numeriche appropriate (modelli lineari equivalenti o non lineari).

In generale, gli studi di MS hanno lo scopo di razionalizzare la conoscenza del territorio per chi deve pianificare gli interventi: invece, per la progettazione delle opere è importante eseguire indagini specifiche, come del resto previsto dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008).

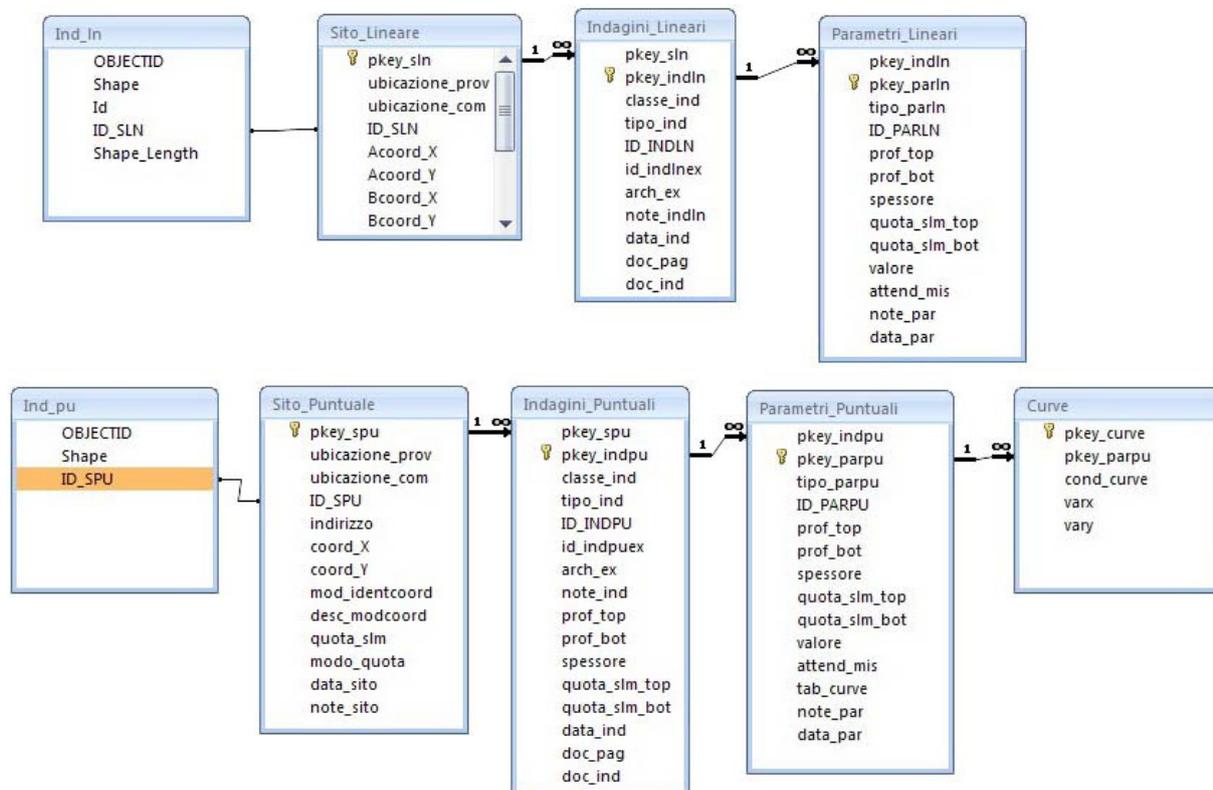
## 10 REDAZIONE CARTOGRAFICA E CREAZIONE BASI INFORMATIVE

L'analisi di Microzonazione Sismica ha prodotto informazioni che sono state cartografate secondo le indicazioni previste dalle linee guida emanate dalla Protezione Civile Nazionale.

I layers informativi prodotti sono stati organizzati secondo la banca dati geografica definita dagli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" - versione 2.0 - emanati dalla "Commissione tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica" nel giugno 2012. Gli standard sopracitati definiscono le specifiche tecniche per la redazione in ambiente GIS degli elaborati cartografici della MS.

Per quanto riguarda la **rappresentazione cartografica**, anch'essa è stata realizzata utilizzando le vestiture previste dagli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" - versione 2.0.

Il contenuto informativo della "Carta delle indagini" si esplica attraverso la relazione tra gli shapefile (*Ind\_pu* e *Ind\_In*) e le tabelle ad essi collegate, appositamente strutturate per archiviare i dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini.



*Relazione fra tabelle e shapefile  
 (Figura 2.1-2 "Standard di Rappresentazione e archiviazione informatica" - versione 2.0)*

Lo shapefile *Ind\_pu* rappresenta la primitiva puntuale che posiziona spazialmente il relativo punto d'indagine, identificato univocamente nel campo *ID\_SPU*; quest'ultimo costituisce la chiave di collegamento (join) alla tabella *Sito\_Puntuale*, destinata all'archiviazione dei parametri di georeferenziazione dei punti d'indagine.

La tabella *Indagini\_Puntuali* descrive le tipologie d'indagine eseguite e le informazioni necessarie alla tracciabilità, mediante collegamento esterno con la relativa documentazione in formato pdf. Infine, nella tabella *Parametri\_Puntuali* sono archiviati i parametri associati alle prove descritte nella tabella *Indagini\_Puntuali*.

Lo shapefile *Ind\_In* costituisce la primitiva lineare che posiziona spazialmente le indagini lineari, identificati univocamente nel campo ID\_SLN; quest'ultimo rappresenta la chiave di collegamento alla tabella *Sito\_Lineare*, nella quale vengono archiviate le codifiche del tracciato. La tabella *Indagini\_Lineari* definisce la tipologia d'indagine eseguita e le informazioni necessarie alla sua tracciabilità, tramite un collegamento esterno con documentazione corrispondente, in formato pdf. Infine, la tabella *Parametri\_Lineari* contiene i parametri definiti dalle prove descritte nella tabella *Indagini\_Lineari*.

Il contenuto informativo riportato nella “*Carta delle frequenze*” è definito dal campo VALORE della tabella *Parametri\_Puntuali*, dove viene specificato il valore della frequenza di risonanza espresso in Hertz (Hz) nell'intervallo compreso tra 0,1 Hz e 20,0 Hz. La restituzione grafica dei valori di frequenza si riferisce a quanto proposto per la “*Carta delle frequenze di risonanza*” negli “*STANDARD DI RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA E ARCHIVIAZIONE INFORMATICA. SPECIFICHE TECNICHE PER LA REDAZIONE DEGLI ELABORATI CARTOGRAFICI ED INFORMATICI RELATIVI AL PRIMO LIVELLO DELLE ATTIVITÀ DI MICROZONAZIONE SISMICA - Versione 1.2*” (2012) della Regione Abruzzo.

Le suddette tabelle sono state compilate e archiviate nel database di Access *Cdi\_tabelle.mdb*.

La “*Carta geologico - tecnica*” è stata realizzata in formato vettoriale e contiene i seguenti layers informativi, inseriti all'interno della cartella **GeoTec**.

Nome file	Tipo shapefile	Descrizione
<i>Elineari</i>	Lineare	Elementi lineari (escluse le isobate)
<i>Geoidr</i>	Puntuale	Elementi puntuali geologici e idrogeologici
<i>Geotec</i>	Poligonale	Unità geologico tecniche

La “*Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*” contiene i seguenti layers informativi, inseriti all'interno della cartella che definisce i parametri di MS di Livello I (**MS1**).

Nome file	Tipo shapefile	Descrizione
<i>Stab</i>	Poligonale	Zone stabili e zone stabili suscettibili di amplificazione

La cartografia di base utilizzata per l'elaborazione dello studio è la C.T.R.N. del Veneto già elaborata dal Comune come corredo del “Piano di Assetto del Territorio Intercomunale dell'Agro Coneglianese Sud Orientale” secondo quanto previsto dagli Atti di Indirizzo LR 23.04.2004 n. 11, art. 50, comma 1, lettera a), nell'edizione **AGGIORNAMENTO 2009** delle *specifiche tecniche* pubblicate sul BUR n. 4 del 12.01.2010.

Trattandosi di piano urbanistico intercomunale, la cartografia di base vettoriale è estesa alla copertura dei tre comuni interessati.

Tali materiali, originariamente riferiti al sistema di coordinate Gauss - Boaga fuso Ovest, sono stati ricondotti al sistema di coordinate WGS84UTM33N.

Le coordinate delle tabelle (.mdb) e gli shape files allegati al progetto sono nel formato WGS84 UTM33N.

## 11 CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA (C.L.E.)

L'Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) è parte integrante dello studio di microzonazione sismica richiesto dal Comune di Fregona. Essa è stata realizzata coinvolgendo più figure professionali (Ingegneri, Geologi), in virtù del carattere di multidisciplinarietà che riveste tale tipo di analisi.

A livello nazionale, per consentire una catalogazione uniforme ed omogenea degli elementi facenti parte l'analisi per la CLE di ogni singolo Comune, sono state concepite delle indicazioni / linee guida standardizzate ed una specifica modulistica predisposta dalla Commissione Tecnica di cui all'articolo 5 commi 7 e 8 dell'O.P.C.M. del 13 novembre 2010, n°390, emanata con apposito decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, con cui sono stati anche definiti gli standard di rappresentazione ed archiviazione informatica.

Seguendo le *"Istruzioni per la compilazione delle schede (versione 1.0)"* e servendosi successivamente del programma informatico *"SoftCLE (software per l'archiviazione dati - versione 1.2)"* si è potuta eseguire l'analisi del Piano di Protezione Civile Comunale redatto nel mese di aprile dell'anno 2010 (in sostituzione del piano del mese di maggio dell'anno 2008) ad opera delle società *"GAM Informatica S.r.l."* e *"GEB S.r.l. - Strategie per il territorio"*, nelle persone di Ing. A. Ghizzo e Dott. Geol. R. Cavazzana.

Come definito dalle *"Istruzioni per la compilazione delle schede (versione 1.0)"*, partendo dalle mappe cartografiche della Carta Tecnica Regionale (CTR) e dal succitato Piano di Protezione Civile Comunale (PPCC), la procedura per l'analisi della CLE è stata strutturata secondo le sottostanti fasi:

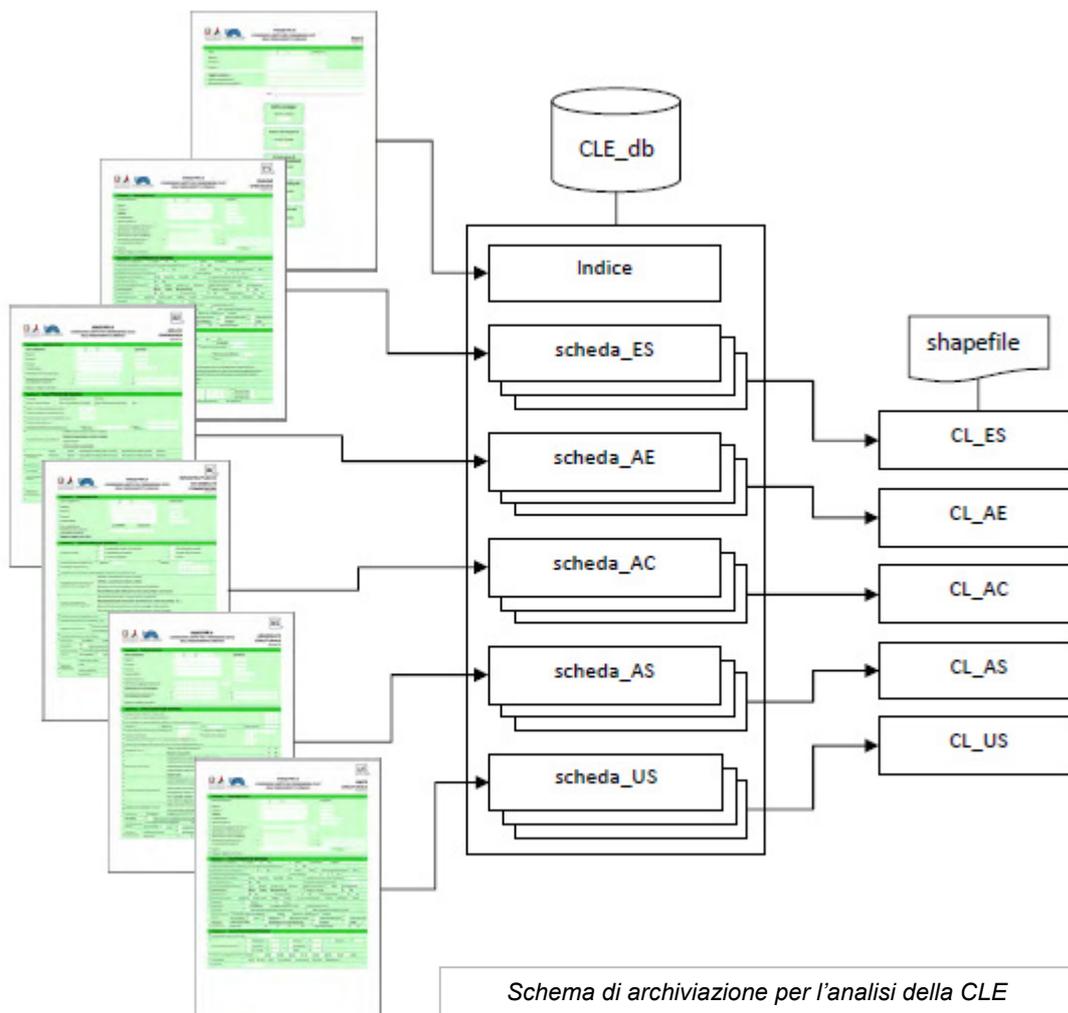
- individuazione delle funzioni strategiche ritenute essenziali in caso di emergenza e degli edifici in cui esse si svolgono, come definito dal Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 3685 del 21/10/2003;
- individuazione degli eventuali aggregati strutturali di appartenenza degli edifici strategici individuati nel punto precedente;
- individuazione delle aree di emergenza di ricovero della popolazione e di ammassamento dei soccorritori e dei materiali, desunte dal PPCC;
- individuazione delle strade di connessione fra gli edifici strategici e le aree di emergenza;
- individuazione delle infrastrutture stradali che garantiscono l'accessibilità al sistema degli elementi del PPCC;
- individuazione degli aggregati, o dei singoli manufatti isolati, interferenti con le infrastrutture stradali o le aree di emergenza;
- compilazione sul posto delle schede specifiche per ogni elemento identificato, quale facente parte del sistema di gestione dell'emergenza;
- informatizzazione dei dati raccolti nelle schede con l'ausilio del software di inserimento dati *"SoftCLE"* ed informatizzazione dei dati cartografici.

Seguendo le fasi sopra riportate, l'insediamento urbano del Comune di Fregona è stato analizzato sul posto nel periodo compreso tra l'11 ed il 22 del mese di febbraio 2013, eseguendo i sopralluoghi necessari per l'acquisizione dei dati per la compilazione delle schede, cui è successivamente seguita l'informatizzazione delle stesse.

Infine, è stata realizzata la carta degli elementi per l'analisi della CLE alla scala 1:10.000, che individua nell'ambito dell'insediamento urbano, il sistema di gestione dell'emergenza, composto da edifici e infrastrutture utili ad analizzare la CLE.

I contenuti dell'analisi della CLE sono stati informatizzati secondo le specifiche "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" - versione 1.0 - emanati dalla "Commissione tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica" nel giugno 2012.

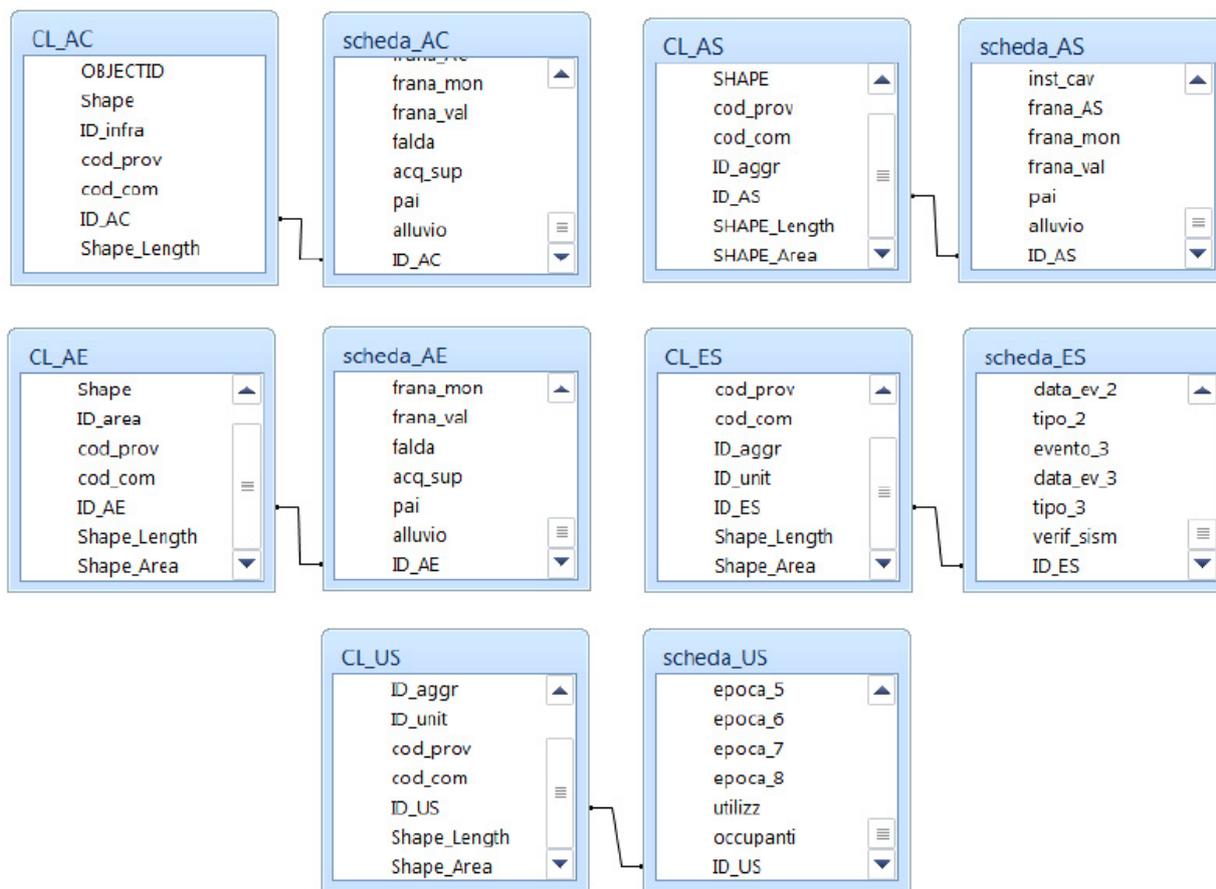
In queste specifiche vengono definite inoltre le modalità per la predisposizione della carta degli elementi per l'Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE), per la quale dovranno essere archiviati i dati alfanumerici nelle seguenti tabelle, corrispondenti alle schede precedentemente citate.



I dati cartografici dovranno essere archiviati nei seguenti shapefile:

Nome file	Tipo <i>shapefile</i>	Descrizione
<i>CL_ES</i>	Poligonale	Edifici strategici
<i>CL_AE</i>	Poligonale	Aree di emergenza
<i>CL_AC</i>	Lineare	Infrastrutture di accessibilità / connessione
<i>CL_AS</i>	Poligonale	Aggregati strutturali
<i>CL_US</i>	Poligonale	Unità strutturali

Il contenuto informativo della carta degli elementi per l'Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza si esplica attraverso la relazione tra i suddetti shapefile e le tabelle ad essi collegate. La relazione con gli shapefile è stabilita attraverso i campi ID\_ES (tabella scheda\_ES), ID\_AE (tabella scheda\_AE), ID\_AC (tabella scheda\_AC), ID\_AS (tabella scheda\_AS), ID\_US (tabella scheda\_US).



*Relazione fra le tabelle delle schede e i relativi campi degli shapefile*

La cartografia di base utilizzata per l'elaborazione dello studio è la C.T.R. del Veneto, le cui coordinate piane sono espresse in Gauss - Boaga (fuso Ovest).

Le coordinate delle tabelle (.mdb) e gli shape files allegati al progetto sono nel formato **WGS84 UTM33N**.

## 12 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.).
- ✚ C. Braitenberg, B. Grillo, I. Nagy, S. Zidarich, A. Piccin (2007) - La stazione geodetico-geofisica ipogea del Bus De La Genziana - Pian Consiglio. 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
- ✚ CERL 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. Gioiaccio (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. Hevelius Ed.
- ✚ Louie, J. N. (2001). Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, Bull. Seism. Soc. Am., 91, 347-364
- ✚ M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, 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. Eartq. Eng. And Seismol., Ginevra, 3 - 8 Sept. no 270
- ✚ Mucciarelli M (2011) - Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici - Progetto ricerca 2007PTRC4C - Aracne editrice
- ✚ 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>

## 13 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 |
| ✚ Carta dell'analisi della condizione limite per l'emergenza (CLE) | Scala 1:10.000 |
| ✚ Schede delle indagini  |                |
| ✚ CD contenente i file pdf dello studio e le basi informative      |                |