REGIONE VENETO

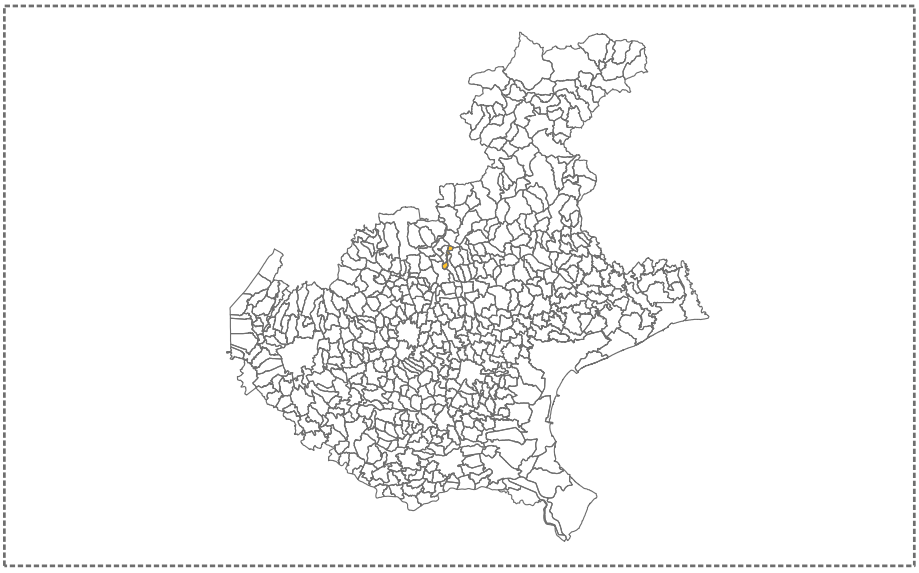
CONFERENZA DELLE REGIONI
E DELLE PROVINCE AUTONOME

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa MS3 approfondimenti

Regione Veneto

Comune di Pove del Grappa



Regione REGIONE VENETO Segreteria Regionale per l'Ambiente	Soggetto realizzatore COMUNE DI POVE DEL GRAPPA Progettista: Dr. Geol. Matteo Collareda Collaboratore: Dr.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dr.ssa Geol. Laura Guerra	Data Aprile 2021

I N D I C E

1. INTRODUZIONE 2

2. MICROZONAZIONE SISMICA. PRINCIPI FONDAMENTALI E FINALITÀ 3

2.1. La natura del problema 3

2.2. Finalità e livelli di approfondimento per il Comune di Pove del Grappa 5

3. STUDIO DI MICROZONAZIONE PRECEDENTE: CENNI RIASSUNTIVI 7

3.1. Inquadramento litologico-stratigrafico e assetto geomorfologico locale 7

3.2. Risultati e criticità evidenziate nello studio di MS di Livello 1 12

4. STUDIO DI DETTAGLIO SULLE FAGLIE ATTIVE E CAPACI 15

4.1. Premesse 15

4.2. Risultati delle indagini eseguite 16

4.2.1. Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.) 16

4.2.2. Indagine geoelettrica con inversione tomografica 24

5. DISCUSSIONE E RISULTATI OTTENUTI 30

1. INTRODUZIONE

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

I rischi naturali possono essere mitigati attraverso azioni preventive, come la corretta gestione del territorio da parte delle Amministrazioni competenti: attendere un evento sismico per intervenire in fase di emergenza, aumenta esponenzialmente il costo di gestione degli interventi e delle successive ricostruzioni. Al contrario, agire in modo preventivo, ridurrebbe i costi di gestione delle fasi successive all'evento.

Procedere in modo preventivo, significa quindi sviluppare una serie di norme, linee guida e/o comportamenti operativi e/o educativi finalizzati alla gestione dei rischi naturali, alla riduzione generale dei costi sociali e conseguentemente alla loro ricaduta sulla popolazione.

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

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

Per Microzonazione Sismica (di seguito definita MS) si intende la "valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo".

In sostanza, la MS individua e caratterizza le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità: è ormai noto che lo stesso evento sismico può provocare scuotimenti decisamente differenti in dipendenza degli spessori e delle qualità dei terreni posti a copertura del substrato roccioso, delle caratteristiche morfologiche del sito ed, inoltre, è riconosciuto che gli effetti di un terremoto variano col variare delle condizioni geologiche in cui esso si sviluppa.

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

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

2. MICROZONAZIONE SISMICA. PRINCIPI FONDAMENTALI E FINALITÀ

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

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

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

2.1. La natura del problema

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

Turchia, agosto 1999

Emilia, maggio 2012

L'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 MS, precedentemente definita.

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

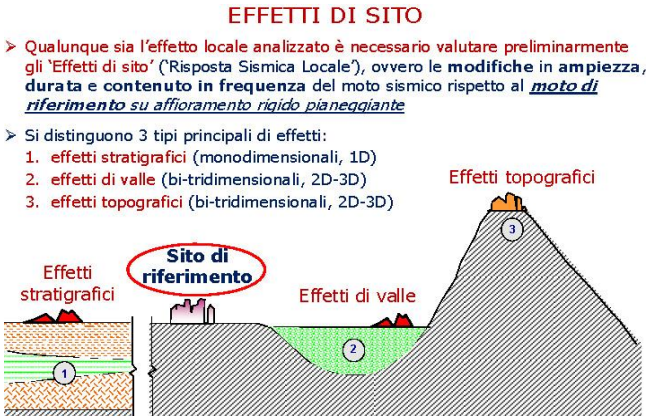
- le zone in cui il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante (Categoria A di sottosuolo secondo Eurocodice 8) e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono equiparati a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;

- le zone in cui il moto sismico viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio;

- le zone in cui sono presenti o suscettibili di attivazione fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazione, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali, ecc.).

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

- **aree sismicamente stabili**, dove possono verificarsi o meno effetti di sito (stratigrafici, di valle, topografici, ecc.);



- **aree sismicamente instabili**, dove possono verificarsi anche fenomeni di instabilità quali movimenti franosi, crolli di roccia, liquefazione, densificazione, subsidenza, spostamenti di faglia, crolli legati a cavità, ecc.

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 Pove del Grappa, 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 e alla pianificazione urbanistica e non al progetto delle strutture.*

2.2. Finalità e livelli di approfondimento per il Comune di Pove del Grappa

La MS ha lo scopo di riconoscere a una scala sufficientemente grande (comunale o subcomunale) le condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso in termini di ampiezza, durata e frequenza o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture. Essa si colloca a un livello intermedio tra la classificazione sismica a scala nazionale, che fa riferimento a un terreno ideale rigido e pianeggiante per il quale fornisce dei parametri indicativi della pericolosità di base, e la progettazione antisismica, che opera invece a scala di singolo manufatto.

L'obiettivo principale è quello di distinguere le zone il cui comportamento può essere instabile (aree critiche) dalle zone dove possono aversi o meno fenomeni di amplificazione del moto sismico (aree stabili suscettibili o non suscettibili), mentre il secondo obiettivo è quello di valutarne la risposta.

Le principali linee guida internazionali, tra cui gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile (2008), prevedono tre Livelli di approfondimento (1, 2, 3).

In sintesi:

- il **Livello 1**, propedeutico ai veri e propri studi di MS, si basa prevalentemente sulla raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone **qualitativamente** omogenee in prospettiva sismica;

- il **Livello 2** associa alle zone omogenee dei **parametri quantitativi** di interesse ingegneristico-strutturale, utilizzando allo scopo ulteriori e mirate indagini, ove necessarie, e definisce la "Carta di Microzonazione Sismica";

- il **Livello 3** quantifica numericamente l'amplificazione del moto sismico atteso in superficie tramite un'analisi monodimensionale o bidimensionale, a seconda delle condizioni geologiche/topografiche presenti nel sito d'indagine, e restituisce una "Carta di Microzonazione Sismica" con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

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

Nel caso in esame, nel mese di Novembre 2017, dallo scrivente è stato eseguito lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 su tutto il territorio comunale e il Livello superiore di approfondimento (Livello 3), a supporto del P.I. e PUA sulle parti di territorio suscettibili di amplificazione sismica individuate nello studio di Livello 1 (e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio che comportano un incremento dei carichi urbanistico/insediativi) e per il territorio compreso nel perimetro del centro abitato.

Gli studi di microzonazione eseguiti sono consistiti nella raccolta ed elaborazione dei dati di natura geologica, geomorfologica, idrogeologica, geotecnica e sismica al fine di pervenire ad una prima suddivisione del territorio comunale in zone omogenee dal punto di vista del comportamento sismico.
In particolare, come sarà possibile leggere nel paragrafo seguente, è stato dimostrato che il territorio di Pove del Grappa è da considerarsi in parte stabile suscettibile di amplificazione, in quanto il moto sismico è modificabile rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante in tutto il territorio a causa delle caratteristiche litostratigrafiche locali, ed in parte instabile per il verificarsi di crolli e/ sinkole legati ad aree con cavità sepolte e per la presenza di n°2 faglie attive e capaci che interessano il centro abitato.

Pertanto, ad oggi, il comune di Pove del Grappa, chiede al sottoscritto uno studio di Livello 3 di dettaglio, che si pone some obiettivo principale la valutazione della presenza e conseguente localizzazione precisa delle faglie attive e capaci segnalate nei precedenti livelli di MS, secondo le modalità riportate negli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica" (approvati dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome il 13/11/2008 e s.m.).

A tale scopo, sono state effettuate misurazioni geofisiche in corrispondenza delle aree in esame, che sono state cartografate e informatizzate secondo le indicazioni previste dagli "Standard di rappresentazione e Archiviazione Informatica".

Nel dettaglio, per la stesura del presente studio, sono state previste le seguenti fasi, ognuna delle quali verrà ampliamente trattata nel proseguo della relazione in oggetto:

- analisi dello studio di MS di livello 1-3;
- esecuzione di indagini geofisiche per accertare la presenza di elementi tettonici strutturali capaci de generare deformazioni superficiali;
- rilievo geologico-geomorfologico;
- informatizzazione dei nuovi dati acquisiti;
- aggiornamento e revisione delle cartografie previste, in funzione dei risultati ottenuti.

Si precisa che il presente studio rappresenta un'integrazione ai precedenti studi di MS1 e MS3 condotti nel territorio comunale, cui si rimanda per la visione completa degli elaborati non modificati in questa fase e pertanto, non allegati al presente lavoro.

3. STUDIO DI MICROZONAZIONE PRECEDENTE: CENNI RIASSUNTIVI

Nel presente capitolo vengono illustrate sinteticamente le principali caratteristiche geologico-geomorfologiche di Pove del Grappa con particolare attenzione alle caratteristiche sismogenetiche del territorio, ed i risultati e le criticità dedotte dai lavori di MS, rimandando alla relazione illustrativa e alle tavole allegate ai suddetti studi per un maggiore approfondimento.

3.1. Inquadramento litologico-stratigrafico e assetto geomorfologico locale

Il comune di Pove del Grappa si trova nella parte nordorientale della provincia di Vicenza, tra una quota di circa 100 m s.l.m. in sinistra orografica del fiume Brenta a circa 1529 m s.l.m. in cima al Massiccio del Grappa (Monte Asolone).

Il territorio così individuato si caratterizza quindi per l'importante asse vallivo del Brenta che rappresenta l'elemento morfologico principale e che separa, in senso nord–sud, gli importanti massicci pedemontani del Grappa e dell'Altopiano di Asiago.

Dal punto di vista morfologico, si ha una nettissima relazione tra geologia e geomorfologia, che si esplica soprattutto nell'erosione selettiva dei vari termini della serie geologica: maggiore erosione nei terreni più teneri (marne e argille) che diventano facile preda delle acque meteoriche, e una erosione minore, per non dire quasi assente nei terreni più duri (arenarie, calcari e conglomerati). Viene così a formarsi il tipico paesaggio "a corde" dell'alta pianura, in cui si riconoscono file di rilievi collinari intercalati da valli ad esse parallele.
La situazione geologica dell'area in esame impone, sia dal punto di vista litologico che da quello idrogeologico, una netta distinzione tra la zona montuosa la zona collinare e quella pianeggiante.

I rilevi montani e collinari si sono formati durante le fasi dell'orogenesi alpina, per piegamento e sollevamento derivante dall'attività di un complesso sistema di pieghe e di faglie. Questa struttura geologica, costituita da dolomie e calcari, che rappresentano i terreni più antichi della zona, ha favorito l'instaurarsi di un complesso sistema carsico.

Ai piedi del rilievo montuoso, allo sbocco delle valli in pianura, si aprono a ventaglio conoidi alluvionali anche di notevole estensione e spessore, dovuti ad apporto misto detritico ed alluvionale dei corsi d'acqua. I depositi alluvionali sono costituiti da alternanze di ghiaie, a volte cementate, e sabbie, con intercalati lenti limose e/o argillose.
Gran parte del territorio sub-pianeggiante è dominato dai depositi fluvioglaciali del fiume Brenta, prevalentemente ghiaioso-sabbiosi. Nell'area in esame si riscontrano dei terrazzi posti su vari livelli, originati dalla progressiva migrazione dell'asta principale del fiume, in conseguenza a variazioni del regime idrico, dal massimo glaciale alle fasi postglaciali.

La litologia del territorio secondo il PATI si presenta, nel complesso, abbastanza semplice con la prevalenza di litotipi di carattere carbonatico sui versanti e sulle aree sommitali e la presenza di depositi sciolti quaternari concentrati soprattutto sul fondovalle del Brenta. La sequenza stratigrafica degli affioramenti del substrato, partendo dalle formazioni più antiche sino alla più recenti, viene descritta di seguito:

<u>Dolomia Principale (Trias superiore)</u>
Formazione costituita da dolomie stratificate in bancate massicce dal comportamento tenace. Affiora con continuità sui versanti laterali della valle del Brenta da quota 600 m circa per abbassarsi progressivamente spostandosi verso nord e scomparire all'altezza dell'abitato di Cismon.

<u>Calcari grigi (Giurassico inferiore)</u>
Litotipo caratterizzata da una sequenza ciclica di bancate di calcari micritici ed oolitici stratificati o affioranti in banchi molto evidenti per la loro caratteristica tenacità. Quasi tutti i versanti più acclivi o subverticali che si affacciano sulla valle del Brenta sono impostati su questa Formazione (elevata recentemente a rango di Gruppo per la classificazione di tre Formazioni distinte al suo interno). Il suo spessore complessivo è di circa 300-350 m.

Rosso ammonitico veronese (Giurassico superiore)
Formazione costituita da alternanze di calcari nodulari e sottili strati argilloso-marnosi che determinano la caratteristica struttura tanto apprezzata e conosciuta. Altro elemento caratteristico è dato dalla tipica colorazione rossastra che permette una facile individuazione della formazione se disponibile in affioramento. La stratificazione sottile e la presenza di frazioni argillose rendono questa formazione, il cui spessore totale supera raramente i 20 metri, molto meno resistente agli agenti esogeni rispetto alle formazioni precedenti.

Biancone (Cretaceo inferiore)
Formazione calcarea fittamente stratificata di colore crema–biancastro con frequenti noduli e livelli di selce e frequenti variazioni di colore, anche verdastro, nella parte media e sommitale la formazione compare nella classica colorazione biancastra. Anche in questo caso la sottile stratificazione con giunti molto spesso riempiti, anche se in modo parziale, da materiale argilloso, rendono nel complesso la formazione più facilmente aggredibile dagli agenti esogeni generando, in genere, morfologie a bassa energia.

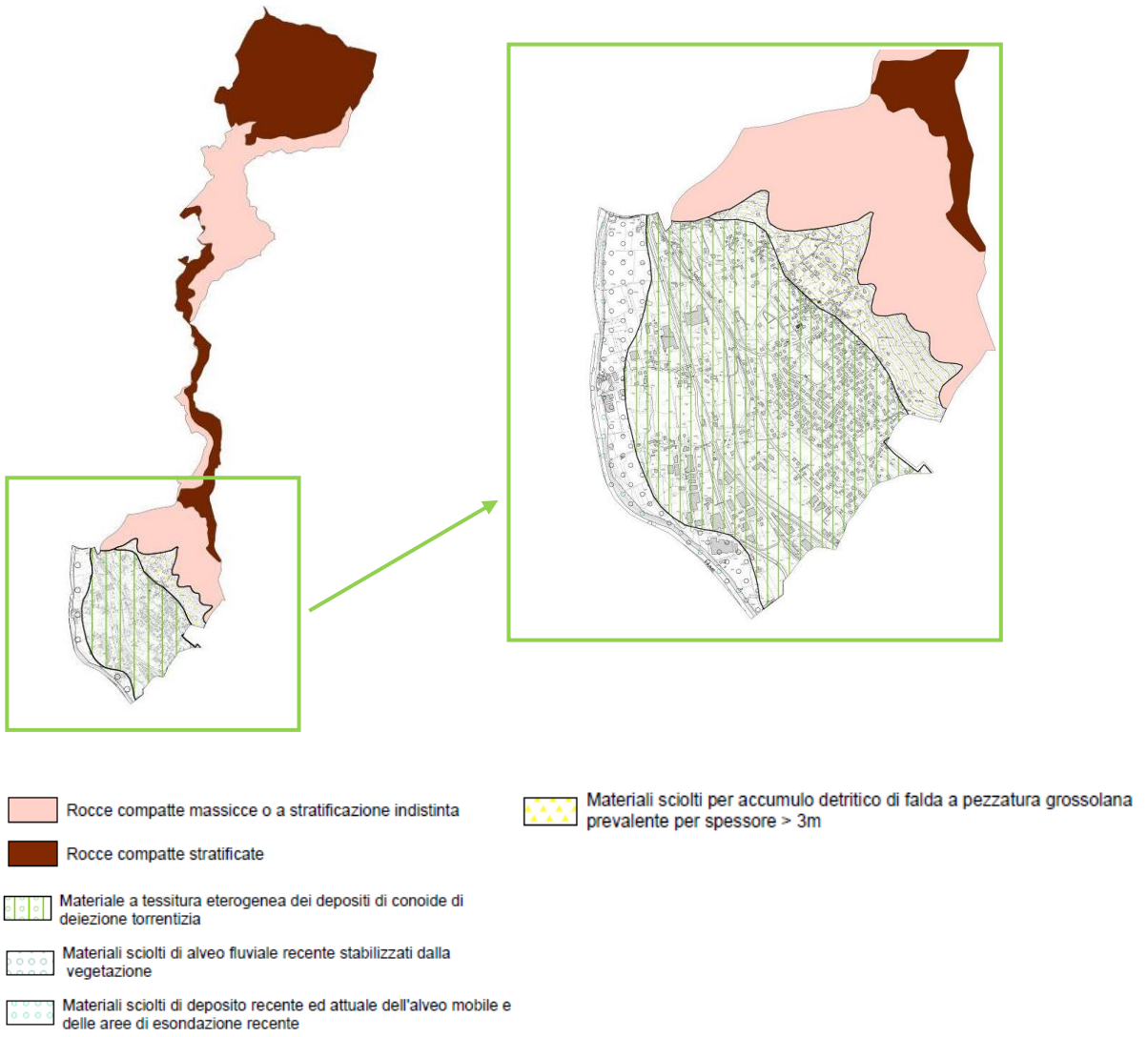
I depositi sciolti quaternari, che come accennato affiorano con particolare frequenza nel fondovalle del Brenta, derivano dalla alterazione del substrato litoide presente, con conseguente formazione di terreni molto poveri di frazione limoso argillosa e a prevalente sviluppo di forme di deposito gravitativo. Nel comune di Pove del Grappa affiorano:

- **Materiali sciolti per accumulo detritico di falda a pezzatura grossolana:** costituiscono i depositi maggiormente rappresentati, assieme ai depositi alluvionali, del fondovalle del Brenta. Sono rappresentati da depositi sciolti di materiale grossolano, con granulometria compresa tra le ghiaie ed i ciottoli, quasi sempre a spigoli vivi, con ottime caratteristiche geotecniche e permeabilità molto elevata. I depositi costituiti da questi sedimenti presentano in genere pendenze variabili, anche elevate, e ottime condizioni di stabilità intrinseche, possono essere oggetto di erosione nel caso in cui corsi d'acqua incidano il deposito stesso.

- **Materiali sciolti di deposito recente ed attuale dell'alveo mobile e delle aree di esondazione recente:** depositi di origine fluviale concentrati in corrispondenza dell'alveo attivo del Brenta, sono costituiti sa ghiaie e sabbie con modeste frazioni di materiali fini non ancora stabilizzati dalla vegetazione o da interventi antropici di regimazione; sono oggetto di erosione, trasporto e risedimentazione durante le piene di maggiore importanza del fiume.

- **Materiali sciolti di alveo fluviale recentemente stabilizzati dalla vegetazione:** si tratta di depositi analoghi ai precedenti ma non più soggetti a fenomeni di erosione e di trasporto grazie alla stabilizzazione ottenuta sia per la vegetazione sia per le opere di regimazione idraulica finalizzata alla riduzione del rischio.

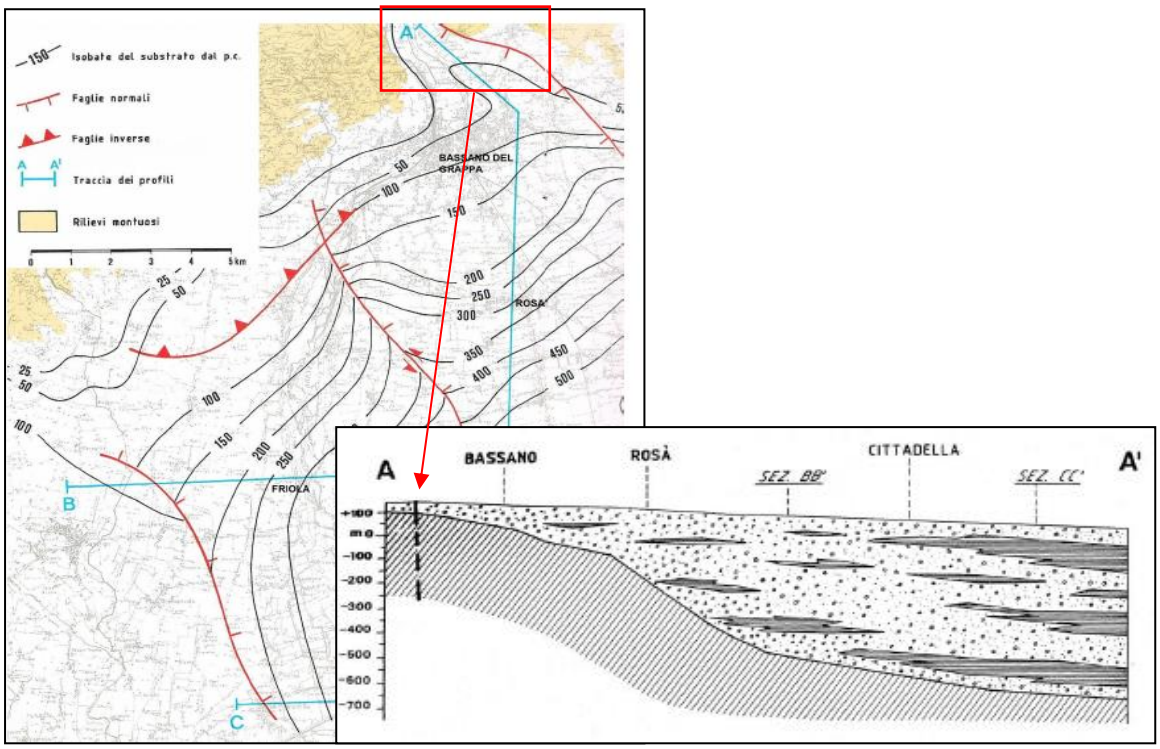
- **Materiali a tessitura eterogenea dei depositi di conoide di deiezione torrentizia:** vengono evidenziati i sedimenti nei quali il trasporto e la sedimentazione hanno avuto come elemento predominante la corrente idrica. In questi corpi di sedimentazione, inoltre, la frazione granulometrica limoso-sabbiosa presenta, in genere, una maggiore percentuale sia per le modalità deposizionali che per le aree di origine dei sedimenti.



Estratto della Carta Geolitologica del P.A.T.I.

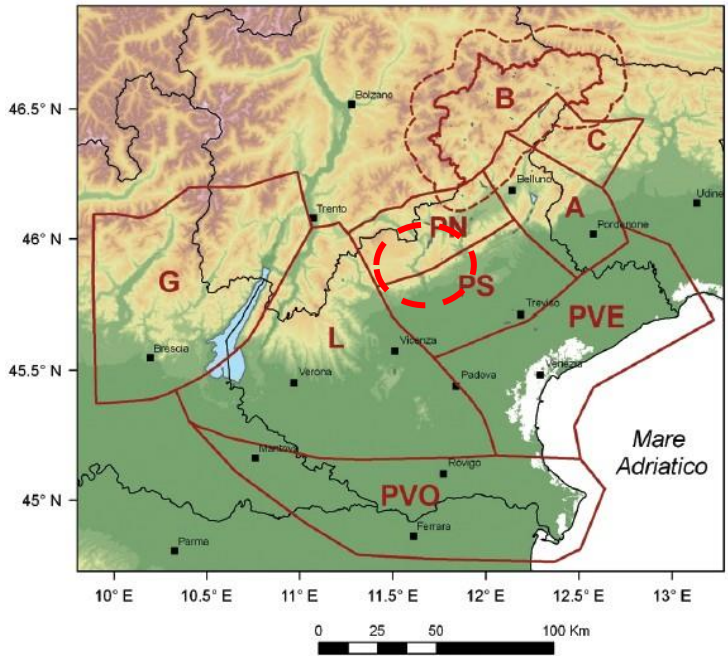
Per quanto riguarda l'area pianeggiante, essa è costituita da un materasso alluvionale formato da ghiaie grossolane a matrice sabbiosa con livelli conglomeratici, a volte con livelli limoso argillosi. Lo spessore del materasso alluvionale presenta variazioni laterali, dovute alla morfologia del basamento roccioso. I rilievi geosismici eseguiti dall'Agip Mineraria hanno infatti evidenziato uno spessore minimo in destra Brenta e un suo progressivo aumento verso SE, raggiungendo, sulla verticale di Cittadella, la potenza di circa 600 metri. Anche i letti limoso argillosi si fanno più frequenti ed aumentano di spessore procedendo da NW verso SE.
In figura seguente è rappresentata la morfologia del substrato roccioso e gli spessori del Quaternario, con la traccia delle sezioni.

Quella passante per il Comune di Pove del Grappa è la porzione iniziale della sezione "A" con andamento circa N-S, ed è rappresentata nell'immagine seguente. Dall'esame della sezione e della figura rappresentante la morfologia del substrato roccioso è riscontrabile la presenza del substrato roccioso a profondità variabile: da circa 25 metri dal p.c. nella zona sub pianeggiante settentrionale a circa 50 metri in quella meridionale del territorio comunale.



Morfologia del substrato roccioso e spessori del Quaternario (da CNR – Regione Veneto-ULSS5/9 "Difesa degli acquiferi dell'alta pianura veneta – stato d'inquinamento e vulnerabilità delle acque sotterranee del bacino del F. Brenta" -1988)

Dal punto di vista sismogenetico, il territorio regionale del Veneto è stato suddiviso in distretti sismici: ogni distretto rappresenta un'area all'interno della quale si ritiene che i terremoti possano essere identificati da alcuni elementi sismogenetici comuni, con la consapevolezza comunque che le schematizzazioni in tal senso sono sempre riduttive e devono essere opportunamente contestualizzate nell'interpretazione dello specifico evento sismico. Sulla base di dati sismologici, elementi geologico-strutturali e informazioni relative alla cinematica e alla tettonica attiva, sono stati identificati 9 distretti sismici come visibile nella figura sotto riportata.



Legenda: Giudicarie (G); Lessini-Schio (L); Pedemontana Sud (PS); Pedemontana Nord (PN); Alpago-Cansiglio (A); Claut (C); Alto Bellunese-Dolomiti (B); Pianura Veneta Est (PVE); Pianura Veneta Ovest (PVO).

Il territorio comunale di Pove del Grappa ricade a cavallo tra i distretti della **Pedemontana Sud (PS)** e della **Pedemontana Nord (PN)**.

Il **distretto PS** comprende parte del fronte esterno plio-quaternario della catena sud-alpina orientale, e si estende dall'altopiano di Asiago fino alla zona pedemontana del margine del Cansiglio. In questo settore è presente la Flessura Pedemontana, elemento dal quale prendono il nome sia questo distretto, sia il contiguo elemento (Pedemontana Nord) a nord-ovest. Essi sono stati analizzati separatamente, privilegiando le interpretazioni che ritengono che le strutture verso nord abbiano raggiunto una configurazione tettonica quasi definitiva (Zanferrari et al., 1982), e individuano invece nella porzione meridionale le potenziali sorgenti di terremoti distruttivi (Galadini et al., 2005; Burrato et al., 2008, 2009; Poli et al., 2008). Il distretto Pedemontana Sud si estende a sud-est della zona di pianura, approssimativamente a includere la fascia delle risorgive. Lungo la catena, il sistema strutturale è troncato bruscamente a ovest dagli allineamenti disposti nord ovest-sud est del sistema Schio-Vicenza mentre verso est da elementi paleogeografici riconducibili alla strutturazione della piattaforma friulana.

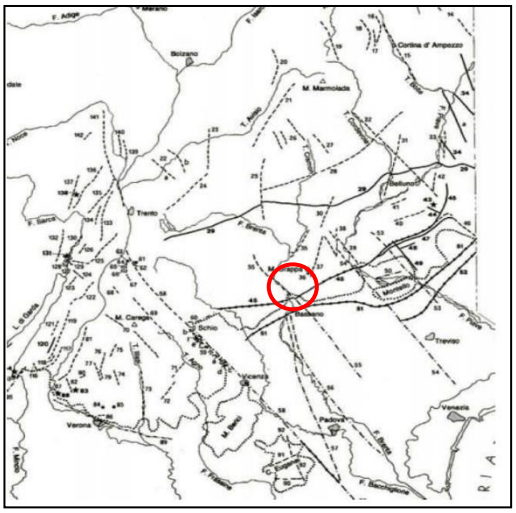
L'area è caratterizzata da pieghe e sovrascorrimenti ad andamento ENE-OSO, prevalentemente vergenti a sud-sud est (Poli et al., 2008). La strutturazione della attuale fascia pedemontana, estesa dal Bassanese fino al fiume Tagliamento trae le sue origini nell'evento compressivo del Messiniano-Pliocene, ampiamente propagatosi all'interno della catena entro sistemi già strutturati (Castellarin et al., 1998b). Tuttora l'area presenta un'attività tettonica rilevante, con una compressione attiva la cui velocità è stimata nell'ordine di qualche mm/a (D'Agostino et al., 2005). Negli ultimi 15 anni circa, le ipotesi cilindriste, che identificano come potenzialmente sismogenici alcuni sovrascorrimenti subparalleli, sono state riviste alla luce di nuovi dati e di più moderni criteri di segmentazione; oltre a ridurre il numero di potenziali faglie attive rispetto ai precedenti studi, le analisi geomorfologiche delle deformazioni quaternarie, in particolare, si sono dimostrate adatte per quantificare l'attività di sovrascorrimenti ciechi, o pieghe-faglie di crescita (Galadini et al., 2005). La stretta di Quero e il rilievo del Montello sono gli elementi geologici e morfologici del distretto Pedemontana Sud attorno ai quali si sono maggiormente concentrati studi per il riconoscimento di faglie attive (p. es. Benedetti et al., 2000; Ferrarese e Sauro, 2005; Anselmi et al., 2007, 2011; Burrato et al., 2009). Nonostante ciò, il potenziale sismico dell'area resta ancora piuttosto controverso, e si moltiplicano gli studi per comprendere la relativa assenza di sismicità su faglie ritenute capaci di generare forti terremoti. Per questo, si attendono i risultati di monitoraggi specifici, attualmente in corso per caratterizzare la deformazione geodetica e la microsismicità (p. es. Serpelloni e Cavaliere, 2010; OMBRA Project Group, 2011).

Per quanto riguarda il **distretto PN** ha come limite settentrionale il sovrascorrimento della Valsugana che nel suo *hangingwall* (tetto) coinvolge ampiamente il basamento metamorfico e come limite meridionale la Flessura Pedemontana. La suddivisione del distretto della Pedemontana, in due porzioni distinte riprende l'idea che nella porzione settentrionale le strutture abbiano raggiunto una configurazione tettonica pressoché definita (Zanferrari et al.,1982), analogamente, in direzione longitudinale alla catena, i caratteri di sismicità variano con gradualità.

L'area è caratterizzata da pieghe, faglie/pieghe e sovrascorrimenti ad andamento ENE-WSW, vergenti a SSE. L'assetto strutturale ha le sue origini nell'evento compressivo della fase valsuganese (Miocene Medio e sup.) successivamente ri-arrangiato dall'evento compressionale del Messiniano- Pliocene (Castellarin et al., 1998a). Due fasce di svincolo di rilievo regionale interrompono lateralmente la continuità del *thrust* della Valsugana. Ad ovest l'allineamento Trento-Cles-Calisio-Schio-Vicenza, che rappresenta la separazione fra il Sistema delle Gudicarie dalle strutture valsuganesi e ad est dalla Valle del Cordevole–Val Medon, a NO di Belluno, separa le Dolomiti occidentali da quelle orientali; a cavallo di questo lineamento il *thrust* della Valsugana si sfrangia in numerose strutture minori, mentre fra Trento ed Agordo resta una struttura singola ben definita (Castellarin et al.,2004).Il distretto non include questi elementi di svincolo.

Inoltre, dal punto di vista tettonico il territorio di Pove del Grappa, come già accennato in precedenza, risulta abbastanza semplice. Si assiste infatti ad una leggera vergenza della stratificazione verso nord con inclinazioni che di rado superano i 10° e l'assenza di strutture plicative importanti. Locali disturbi sono invece da ricollegarsi alle numerose strutture disgiuntive di direzione scledense che interessano con particolare frequenza i massicci carbonatici con faglie dirette e faglie a componente trascorrente molto elevata.

Rilevanti strutture tettoniche sono rappresentate da faglie di importanza regionale che interessano marginalmente la parte meridionale del territorio indagato.
Una prima posta in direzione scledense NW-S che sembra interessare, in maniera certa, una porzione del territorio del comune di Pove e sulla quale sembra essersi impostata anche la parte terminale del Canale del Brenta (faglia di Bassano), ed una ad essa ortogonale, definita come Sovrascorrimento Periadriatico, posta immediatamente a sud del territorio di Pove e delle prime propaggini collinari.
Alcuni dei caratteri geomorfologici del territorio sono infatti da ricollegarsi con lineamenti tettonici soprattutto nel tratto di valle del Brenta posta a valle del centro abitato di Valstagna o come alcune valli laterali poste in zona degli altopiani. Lungo le lineazioni tettoniche trovano inoltre maggiore incidenza i fenomeni carsici di dissoluzione poiché vie preferenziali per la percolazione delle acque sia superficiali che sotterranee.



Carta generale delle faglie attive del Sud-alpino centro-orientale (da Castaldini-Panizza – 1991)

3.2. Risultati e criticità evidenziate nello studio di MS di Livello 1

Durante la realizzazione dello studio di MS sono state messe a disposizione, dagli uffici comunali di competenza, alcune indagini geotecniche a supporto della progettazione di opere civili e sono state analizzati i pozzi presenti nel Geo-portale dell'ISPRA. Inoltre, sempre durante lo studio di MS, per la ricostruzione del modello del sottosuolo sono state condotte alcune misure geofisiche in prossimità dei punti ritenuti più significativi comprendendo anche le Zone SIC e ZPS che, nel territorio in esame, occupano la maggior parte del territorio comunale. In particolare, sono state effettuate:

- **n°30 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°30 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.

Le misurazioni effettuate hanno permesso di ricostruire modelli sismo – stratigrafici accurati e precisi, in quanto i segnali si presentano chiari, nonostante la frequente presenza di artefatti, e con una elevata coerenza. Inoltre, la presenza di un rumore di fondo caratterizzato da un ricco spettro frequenziale ha permesso di ottenere, nella maggior parte dei casi, un'elevata profondità di penetrazione per quanto riguarda le misure in *array*.

I risultati hanno evidenziato un **modello sismo-stratigrafico del sottosuolo moderatamente regolare**, soprattutto per quanto riguarda la profondità del substrato roccioso all'interno dei diversi ambiti e per i valori di rigidità misurati nelle varie tipologie deposizionali presenti nel territorio comunale a copertura del substrato stesso. Tale modello sismo-stratigrafico risulta compatibile con l'area in oggetto di indagine, caratterizzata da un assetto tettonico-stratigrafico tipico delle zone vallive-montuose.

Buona parte delle misure condotte nella porzione pianeggiante e valliva del comune, hanno evidenziato condizioni stratigrafiche (copertura ghiaiosa di origine fluviale - sovrastante il substrato) tali da poter

ipotizzare amplificazioni del moto sismico in superficie. Infatti, è presente una risonanza alle basse frequenze associabile al contatto stratigrafico tra la copertura sedimentaria, caratterizzata da una velocità di propagazione delle onde S variabile da 180 m/s a 300 m/s e la sottostante formazione rocciosa più o meno alterata.

Per quanto riguarda i depositi presenti nella porzione di raccordo pianura-collina, dove sono presenti i maggiori insediamenti abitativi, la copertura sedimentaria di origine eluvio-colluviale e/o di conoide è caratterizzata prevalentemente da ghiaie in matrice argillosa; si presenta moderatamente rigida già nell'immediato sottosuolo (Vs comprese tra 160 – 250 m/s) e con spessori modesti a copertura del substrato roccioso (10 – 40 m da p.c.).

Le misure condotte in corrispondenza del substrato geologico hanno rilevato una disomogeneità nelle rigidità a seconda dei litotipi indagati e del grado di fratturazione e/o alterazione del *bedrock* sismico. In particolare, le formazioni del Biancone e del Rosso Ammonitico hanno mostrato un elevato grado di alterazione superficiale caratterizzato da una rigidità di circa 400-600 m/s, mentre le formazioni calcareo - dolomitiche non presentano contrasti sismici tali da generare importanti amplificazioni del moto sismico di base ed hanno mostrato velocità delle onde S > di ≈700 m/s.

Sulla base dei dati repertati ed interpretati, è stata realizzata la Carta Geologico-Tecnica: 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 e idrogeologici contenuti nel P.A.T.I. inter-comunale. Quindi, sono state analizzate le informazioni di carattere geologico disponibili e, sulla base delle caratteristiche meccaniche e degli ambienti genetico-deposizionali dei terreni, le varie unità litologiche sono state accorpate in classi distinte e rappresentative dei depositi costituenti Pove del Grappa.

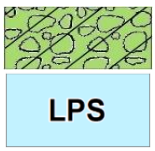
Di seguito si riporta una tabella riassuntiva contenete la correlazione tra le litologie presenti nella Cartografia di partenza, e le unità geologico-tecniche e genetico deposizionali, secondo gli standard della MS:

Carta Geolitologica del P.A.T.I. (parzialmente modificata)	*Carta geologico-tecnica per la Microzonazione Sismica*	*Simbolo riportato in carta*
Rocce compatte o massicce a stratificazione indistinta (L-SUB-01) (Dolomia Principale, Calcari grigi)	LP	LP
Rocce compatte stratificate (Rosso Ammonitico, Biancone)	LPS	LPS
Materiali a tessitura eterogenea dei depositi di conoide di deiezione torrentizia	GW_tf	GW
Materiali sciolti di alveo fluviale recente stabilizzati dalla vegetazione		
Materiali sciolti di deposito recente ed attuale dell'alveo mobile e delle aree di esondazione recente	GW_es	GW
Materiale sciolto per accumulo detritico di falda a pezzatura grossolana prevalente con spessore > 3 m	GC_ec + GC_cd	GC

A partire dalla Carta Geologico-tecnica è stata redatta la carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) che costituisce il risultato finale delle indagini di 1° livello, derivante dalla sintesi di tutti i dati raccolti ed esplicitati negli elaborati precedentemente descritti.
La carta si prefigge la finalità di suddividere il territorio studiato in unità omogenee dal punto di vista delle caratteristiche geologico-stratigrafico-geomorfologiche e geotecnico-geomeccaniche per le quali è possibile ipotizzare un'analoga suscettibilità a fenomeni di amplificazione locale indotti dal sisma (amplificazione

del moto, induzione e riattivazione di frane e altri dissesti, liquefazioni dei terreni, cedimenti differenziali, ecc.).

Nel comune di Pove del Grappa, non sono state individuate "**zone stabili**" in quanto manca un substrato geologico con Vs≥800 m/s.
Per quanto riguarda le "**zone stabili suscettibili di amplificazione locale**" sono state complessivamente distinte n. 2 MOPS di seguito descritte ed i cui rapporti litostratigrafici più significativi vengono schematizzati nell'immagine seguente:

Zona 2001 – GC_ec + GW (tf + es + cd). Materiale della copertura eluvio-colluviale, dei terrazzi fluviali e dell'alveo recente con spessore inferiore a 40 m dal p.c. locale e dei depositi di conoide detritica situati a ridosso dei rilievi collinari di Pove del Grappa. Sovrastano i substrati geologici LPS ed LP.				
Zona 2002. GW (tf + es). Materiali a tessitura eterogenea a prevalente competente ghiaiosa derivanti dai depositi di terrazzi fluviali e di esondazione dell'attuale alveo fluviale; si trovano nella porzione valliva meridionale del comune. Presentano spessori >di 40 m dal p.c. locale e sovrastano i substrati geologici LPS ed LP.				

Infine, in merito alle "**zone suscettibili di instabilità**", nel comune di Pove del Grappa, sono state definite le seguenti instabilità:

- nella gran parte del territorio collinare e montuoso sono state rilevate strutture carsiche rilevanti (grotte, doline, ecc..) ricadenti nella litologia LPS – lapideo, stratificato ed LP - lapideo. Per tale motivo, si è ritenuto necessario assegnare ad entrambi i substrati geologici la presenza di possibili cavità sepolte e identificare tali aree come "Zone di attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee/*sinkhole*";

- relativamente ai lineamenti tettonico-strutturali, la consultazione del catalogo ITHACA ha permesso di ubicare all'interno del territorio comunale n°2 faglie attive capaci. In accordo con quanto stabilito negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), è considerata attiva una faglia che si è movimentata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene) ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno; questa definizione si riferisce al piano di rottura principale della faglia (piano su cui avviene la maggiore dislocazione).
  Le condizioni preliminari affinché si debbano eseguire studi di dettaglio sulle faglie attive e capaci sono:

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

  Nel caso di Pove del Grappa, i primi due indicatori sono confermati mentre non ci sono indizi superficiali della recente attività sismica né dalla consultazione di ortofoto né da rilievi sul campo effettuati dallo scrivente. Pertanto, dalle considerazioni effettuate, i lineamenti sismicamente attivi (rotture in superficie per riattivazione di faglia capace) riportati nella "Carta geologico-tecnica" sono stati trasferiti nella Carta MOPS inserendo, come previsto dalle "linee guida per la

gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC)" approvate dalla commissione tecnica per la microzonazione sismica, la zona di attenzione tramite un *buffer* di 200 m rispetto alla linea di faglia individuata.

- le aree caratterizzate da entrambe le instabilità suddette, sono state inserite in "zone di instabilità per sovrapposizione di instabilità differenti".

4. STUDIO DI DETTAGLIO SULLE FAGLIE ATTIVE E CAPACI

4.1. Premesse

Per fagliazione di superficie si intende la dislocazione istantanea (cosismica) verticale e/o orizzontale dei terreni lungo uno o più piani di taglio. Tale dislocazione deve essere riconducibile a un intervallo temporale relativo agli ultimi 40.000 anni, periodo per il quale una faglia può essere considerata verosimilmente attiva in Italia.

Nel caso del comune di Pove del Grappa, la consultazione del database ITHACA, ha consentito l'individuazione di n°2 faglie attive e capaci che attraversano il territorio comunale, le cui caratteristiche vengono descritte a seguire:

1. **Faglia BassanoValdobbiadena2 - 77543**: dislocazione di ordine primaria, di tipo inverso, la cui ultima attività è riconducibile al Pleistocene generico. Secondo quanto riportato nel database, le evidenze della capacità della faglia sono ben espresse nelle deformazioni di depositi del Quaternario e nella morfologia del terreno. Rispetto all'anno 2017 in cui è stato fatto lo studio di MS, il database ITHACA ha subito un aggiornamento, in seguito al quale questa faglia è stata spostata più verso nord di circa 550 m. Nella tabella seguente vengono riportate le caratteristiche dell'allineamento:

Nome faglia	BassanoValdobbiadena2
Tipo Faglia	Inversa
Codice faglia	77543
Macrozona	0
Regione	Veneto
Sistema	BassanoValdobbiadena
Ordine	Primaria
Direzione media	240
Direzione di inclinazione	NW
Lunghezza (km)	22.3
Profondità (km)	0
Affidabilità sull'attivazione	-
Scala di rilevamento	1:200.000
Evidenze in superficie	Ben espresse
Ultima attività	Pleistocene generico
Evidenze della capacità	Deformazioni nei depositi del Quaternario e/o morfologia del terreno

2. **Faglia Bassano - 72400**: dislocazione di ordine secondario, la cui ultima attività è riconducibile al Pleistocene generico. Secondo quanto riportato nel database, non sono disponibili informazioni sulle evidenze di capacità della faglia e le informazioni su questo lineamento sono poco dettagliate. Anche in questo caso la faglia ha subito uno spostamento in seguito all'aggiornamento del database, di circa 100 metri verso nord.
   Nella tabella seguente vengono riportate le caratteristiche dell'allineamento:

Nome faglia	Bassano
Tipo Faglia	Non definita
Codice faglia	72400
Macrozona	2

Regione	Veneto
Sistema	Bassano
Ordine	-
Direzione media	140
Immersione	0
Lunghezza (km)	20
Profondità (km)	0
Affidabilità sull'attivazione	-
Scala di rilevamento	-
Intervallo ricorrente (anni)	0
Evidenze in superficie	Non disponibili
Ultima attività	Pleistocene generico
Evidenze della capacità	Non disponibili

Secondo quanto riportato negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", nel caso la zona soggetta agli studi di microzonazione ricada in area epicentrale di terremoti con Mw > 5.5 e/o la letteratura disponibile riporti la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo pleistoceniche, è necessario condurre uno studio geologico di dettaglio (es. interpretazione aero-fotogeologica, rilievo di terreno, analisi geofisiche) finalizzato all'individuazione dell'eventuale traccia superficiale di faglie capaci.
Gli elementi generalmente indicativi dell'attività recente di una faglia sono di ordine sia morfologico (anomalie nelle forme del paesaggio, diversione di corsi d'acqua o di altri elementi lineari, scarpate di faglia) sia, ovviamente, tettonico (faglie visibili in terreni tardo pleistocenici).
Una volta individuato l'eventuale andamento della faglia in superficie, al fine di accertarne l'attività recente e di delineare la traccia planoaltimentrica certa, è necessario utilizzare un approccio paleosismologico (McCalpin, 1996).

In merito a rilievi di dettaglio, durante il lavoro di MS, **la consultazione di ortofoto e i rilievi sul campo effettuati dallo scrivente non hanno permesso di confermare la presenza di indizi superficiali della recente attività delle faglie in esame**, perciò in questa fase si è ritenuto opportuno predisporre un piano di indagini geofisiche di dettaglio, di cui si riportano i risultati nel paragrafo successivo. In particolare, sono state eseguite:

- **n°6 prospezioni geo-elettriche con inversione tomografica 2D** con numero massimo di 43 elettrodi, effettuate perpendicolarmente rispetto alla traccia del piano di faglia, per misurare la resistività dei terreni oggetto di indagine tramite l'inversione tomografica in configurazione Polo-Dipolo e Wenner;
- **n°23 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 e la profondità di eventuali contrasti di impedenza; le indagini HVSR sono state condotte in allineamento con le linee elettriche.

Si precisa che le indagini sono state concentrate sulla faglia con codice 77543, in quanto è quella per cui dalle informazioni di ITHACA sembra più plausibile presumere un'attività e, soprattutto perché interessa e attraversa il centro urbano, quindi è associale ad un maggiore rischio sismico.

4.2. Risultati delle indagini eseguite

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

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

- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito,** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nel costruire edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di *doppia risonanza*, estremamente pericoloso per la stabilità degli stessi;
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito, sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito *(free field)* e capire se, in caso di sisma, la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **velocità media delle onde di taglio V_s** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. Sarà quindi possibile calcolare la Vs,30 e la relativa Categoria di sottosuolo come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 17/01/2018;
- la **stratigrafia del sottosuolo** con un *range* di indagine compreso tra 0,5 m e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 m. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostante per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e la densità del mezzo stesso.

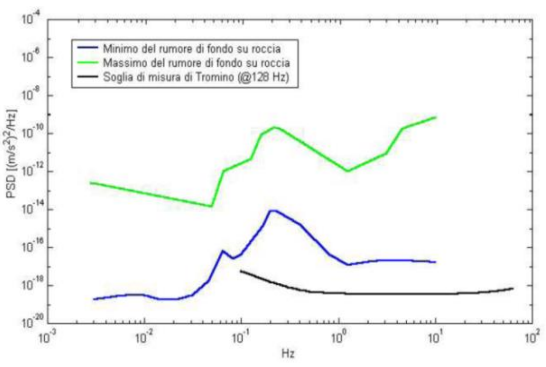
Le basi teoriche della tecnica H.V.S.R. si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito *x* da uno strumento dipende:

- 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:

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

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche *microtremore* poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi, poiché il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nel tragitto dalla sorgente *s* al sito *x* le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che, se da un lato l'informazione riguardante la sorgente è persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni concernenti il percorso del segnale e, in particolare, relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però sepolta all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o semplicemente H.V.S.R., che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali del sottosuolo, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta Moho Srl modello *Tromino® ENGY-Plus* che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-



compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0,1 Hz e 256 Hz. 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.

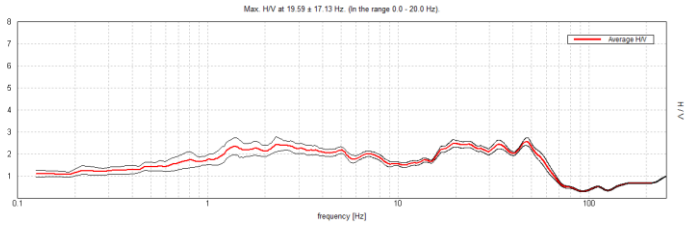
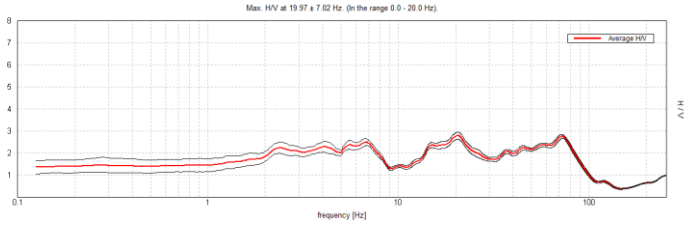
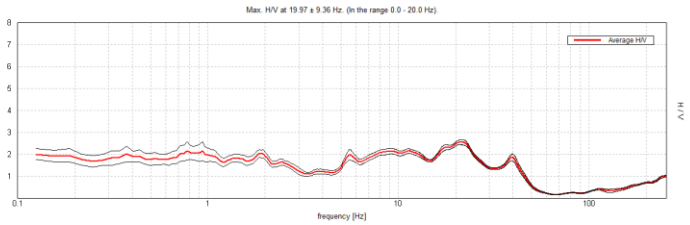
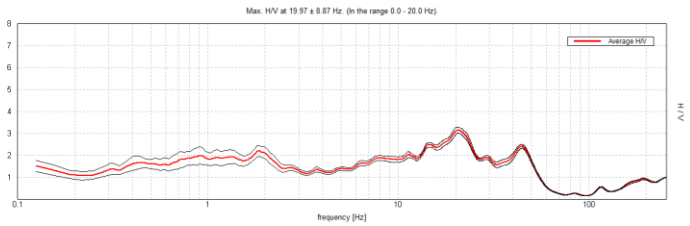
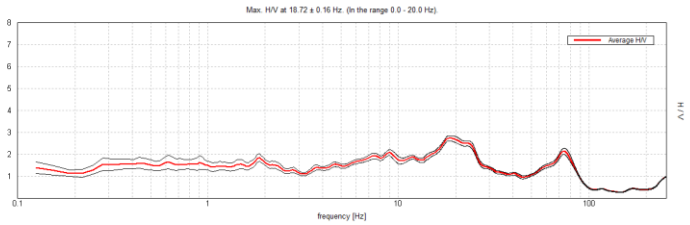
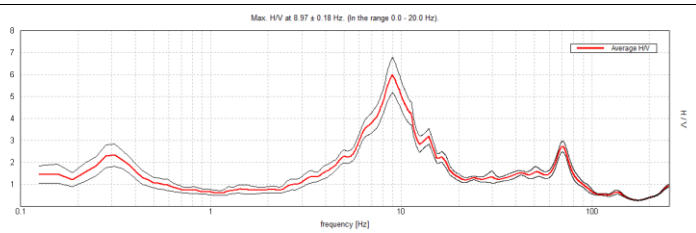
Sintesi dei risultati

Le frequenze 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.

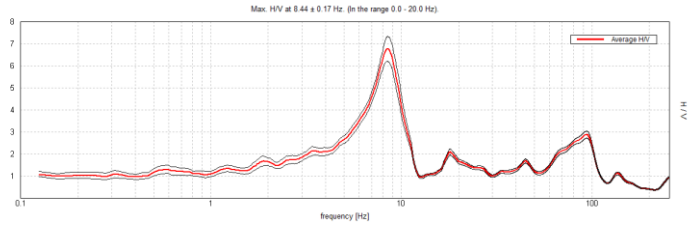
Nella tabella seguente è riportata esclusivamente la sintesi dei risultati delle misure H.V.S.R. eseguite in questa fase mediante Tromino® mentre in allegato fuori testo sono riportate le schede riassuntive dei risultati di tali prove. Le valutazioni sulle condizioni di amplificazione di sito sono state effettuate considerando la finestra frequenziale di 0,1-20 Hz, che risulta essere quella di normale interesse ingegneristico-strutturale.

Inoltre, poiché alcune registrazioni hanno rilevato, all'interno della stessa misura, più valori di risonanza, durante le fasi interpretative si è cercato di distinguere la frequenza **"fondamentale"** (f_0) da quella **"caratteristica"** (f_{caratt}). Nello specifico, la prima frequenza (f_0) corrisponde a quella con il valore più basso mentre la frequenza caratteristica (f_{caratt}) corrisponde a quella con il rapporto H/V più elevato.

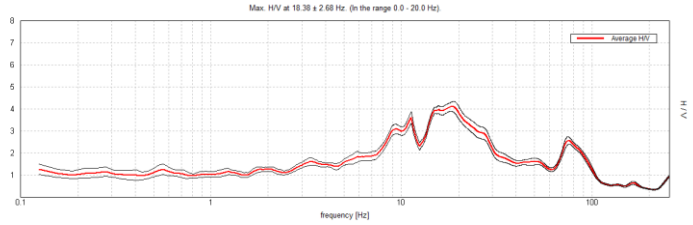
CODICE PROVA	FREQUENZA DI RISONANZA F CARATTERISTICA [HZ] (INTERVALLO 0,1 – 20 HZ)	FREQUENZA DI RISONANZA F FONDAMENTALE[HZ] (INTERVALLO 0,1 – 20 HZ)	CONDIZIONE DI AMPLIFICAZIONE (INTERVALLO 0,1–20 HZ)
T31	19,59	≈2,5	SI
T32	19,97	≈7,0	SI
T33	MISURA DISTURBATA		
T34	MISURA DISTURBATA		
T35	19,97	19,97	SI
T36	19,97	19,97	SI
T37	18,72	18,72	SI
T38	MISURA DISTURBATA		
T39	8,97	8,97	SI
T40	8,44	8,44	SI
T41	18,38	18,38	SI
T42	10,0	10,0	SI
T43	2,44	2,44	SI
T44	19,88	19,88	SI
T45	15,88	2,0	SI
T46	18,34	5,5	SI
T47	6,09	6,09	SI
T48	6,22	6,22	SI
T49	19,97	Misura disturbata alle basse frequenze	SI
T50	15,94	Misura disturbata alle basse frequenze	SI
T51	1,81	1,81	SI
T52	-	-	NP
T53	14,69	14,69	SI

T31

T32

T33
MISURA DISTURBATA
T34
MISURA DISTURBATA
T35

T36

T37

T38
MISURA DISTURBATA
T39


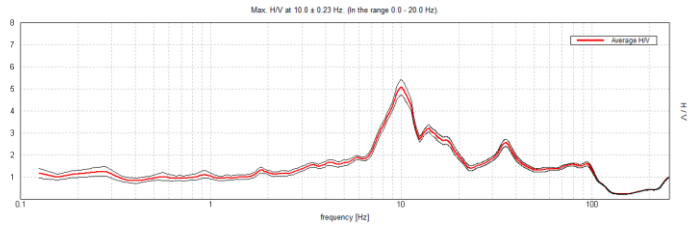
T40



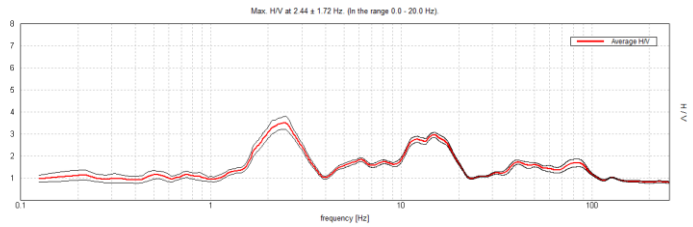
T41



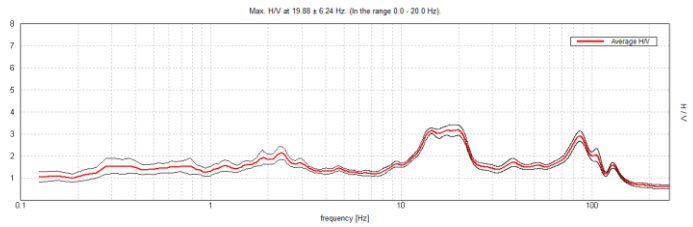
T42



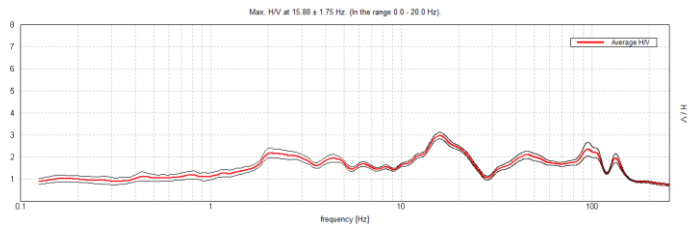
T43



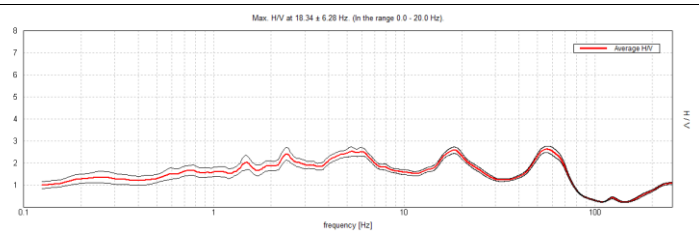
T44



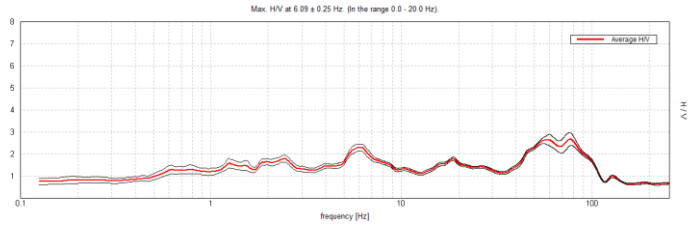
T45



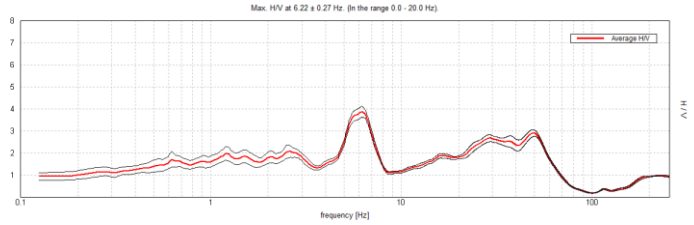
T46



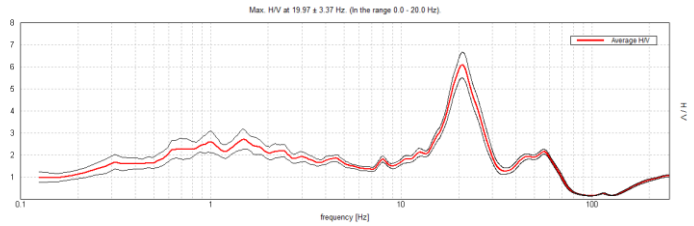
T47



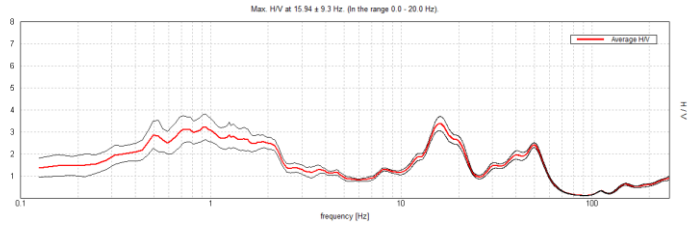
T48



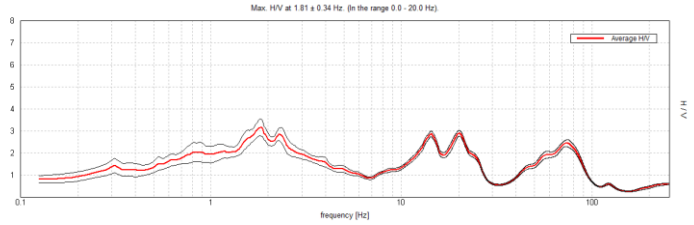
T49



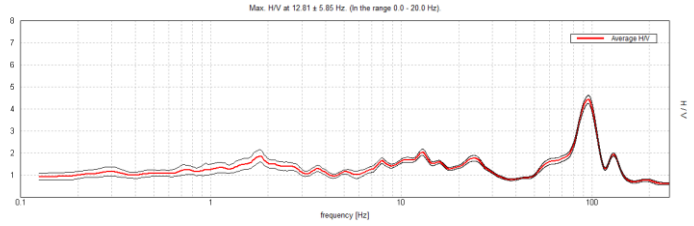
T50



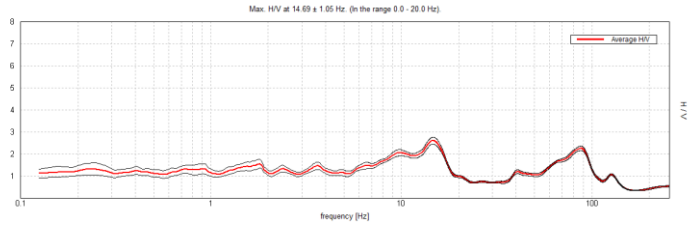
T51



T52



T53



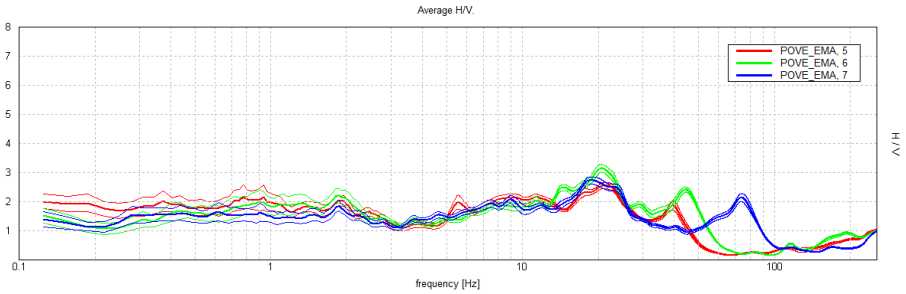
Come spiegato precedentemente, le misura HVSR sono state effettuate lungo un allineamento parallelo alle linee elettriche e quindi perpendicolarmente alla faglia, in modo da poter evidenziare eventuali contrasti di impedenza significativi e correlabili a dislocazioni tettoniche da fagliazione.
Nelle immagini seguenti sono stati sovrapposte le misure HVSR effettuate lungo alcune linee elettriche e disposte a destra e sinistra dell'eventuale traccia del piano di faglia secondo ITHACA.
Come è possibile osservare, l'andamento delle curve H/V è pressoché identico in tutti i casi mostrati e non sono rilevabili contrasti di impedenza imputabili a variazioni litologiche di origine tettonica.

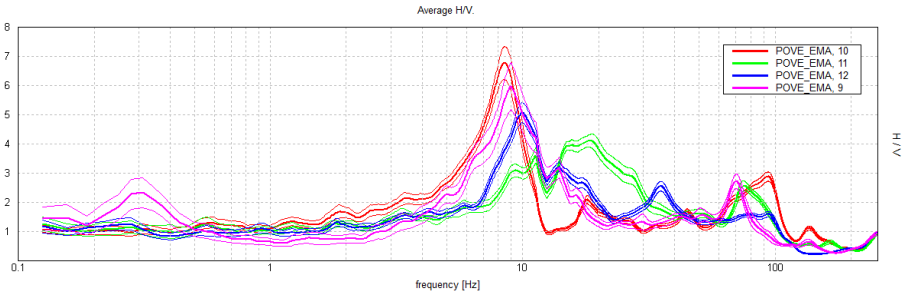
Legenda

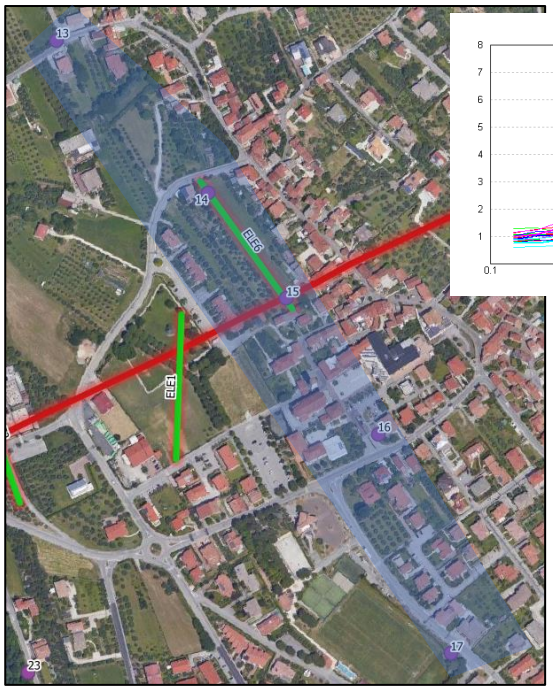
Traccia del piano di faglia da ITHACA

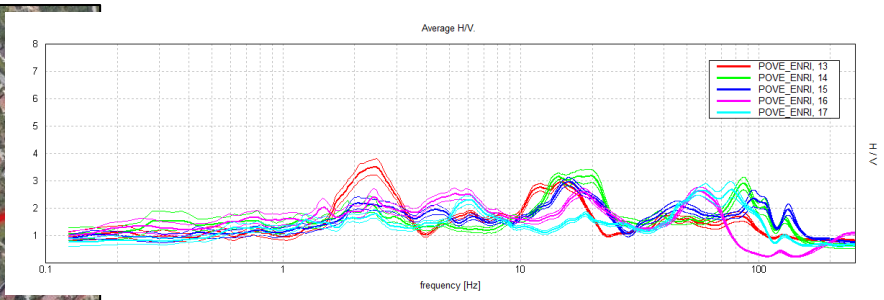
Misura HVSR

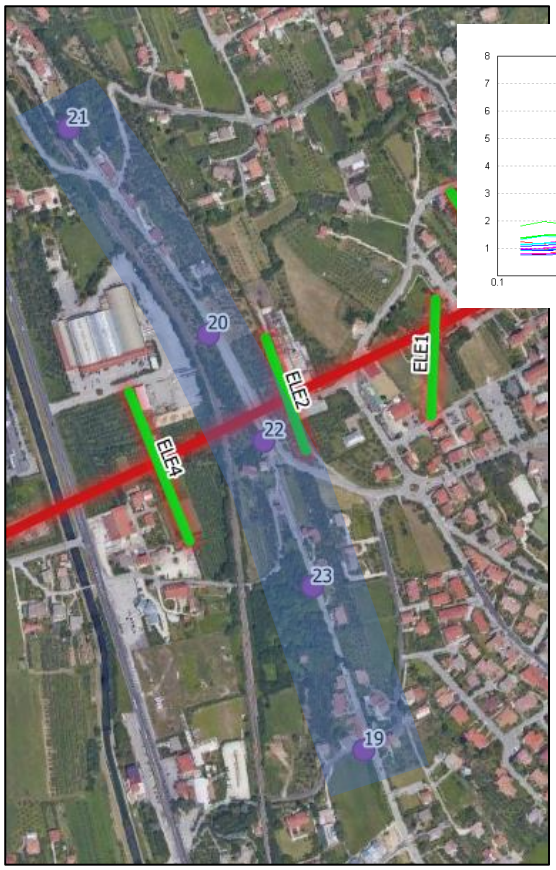
Linea elettrica ELE2

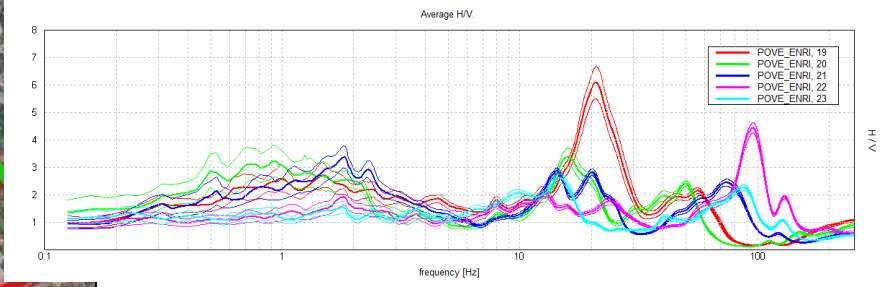





13
14
15
16
17
23
ELE1
ELE6


Average H/V.
POVE_ENRI, 13
POVE_ENRI, 14
POVE_ENRI, 15
POVE_ENRI, 16
POVE_ENRI, 17
H/V
frequency [Hz]


21
20
22
23
19
ELE1
ELE2
ELE4


Average H/V.
POVE_ENRI, 19
POVE_ENRI, 20
POVE_ENRI, 21
POVE_ENRI, 22
POVE_ENRI, 23
H/V
frequency [Hz]

4.2.2. Indagine geoelettrica con inversione tomografica

La tecnica *dell'imaging* elettrico (o tomografia elettrica) adotta una procedura automatizzata sia per l'acquisizione che per l'elaborazione delle misure, e consente di raccogliere dati elettrici del sottosuolo con una densità elevata impiegando cavi *multicore* con spaziatura interelettrodica variabile (generalmente da 1-2 m a 10 m).

L'unità di misura è costituita da un georesistivimetro assistito da un computer che, mediante un software dedicato, gestisce la configurazione geometrica e la sequenza del grande numero di letture che vengono effettuate. Gli elettrodi da controllare sono molte decine, spesso qualche centinaio, e i vari cavi impiegati vengono tra loro connessi e collegati all'unità di misura.

Le caratteristiche tecniche principali del sistema di misurazione utilizzato (georesistivimetro modello *ELECTRA* della MoHo S.r.l.) sono riportate nel box seguente.

ALCUNE CARATTERISTICHE TECNICHE

ALIMENTAZIONE	batteria interna, inclusa nell'unità centrale 12 V, ricaricabile
CONVERSIONE A/D	sincrona su tutti i moduli di energizzazione e misura
NUM. MAX CANALI	255 (nominali) a gruppi di 24 o 32
UNITA' CENTRALE	
DIMENSIONI	24 x 20 x 8 cm, peso 2,3 kg
FORMA D'ONDA	convertitore D/A dalla continua all'alternata con controllo continuo di corrente e voltaggio (feedback)
CORRENTE	±200 mA valori d'uso in condizioni tipiche ±10 mA
FREQ. IMPOSTABILI	1-32 Hz
OUTPUT	selezionabile su 4 porte o su cavo
TENSIONI DI USCITA	regolazione automatica fino a 400 V p.p.
MODULI DI MISURA	
DIMENSIONI	5 x 6 x 2 cm
INGRESSO	commutabile automaticamente tra 4 diverse funzioni (stimolo positivo e negativo, riferimento, ingresso)
IMPEDENZA DI INGRESSO	100 MΩ su 6 V di dinamica 100 kΩ su 12 V di dinamica
CAMPIONAMENTO	sincrono su tutti i moduli a 256-512 Hz
TRASMISSIONE	continua e in tempo reale dei dati di conversione al modulo centrale e PC

In pratica, il rilievo consiste nel posizionare gli elettrodi nel terreno secondo *arrays* 2D o 3D e, quindi, nell'effettuare il collegamento ai *take-out* dei cavi che portano il segnale (di *input* ed *output*) all'unità di misura. Dal software vengono poi impostate la configurazione prescelta e i relativi parametri geometrici (passo di misura, numero di misure, ecc.).

Le misure sono ciclicamente ripetute fino a un massimo di 4-6 volte, qualora non si raggiungesse prima una stabilizzazione della lettura (indicata da un basso scarto percentuale compreso tra il 2% e il 6 %). Le misure non soddisfacenti, comunque salvate nel *data set*, potranno essere eliminate in sede di analisi. Per ottenere una densità di valori idonea alla costruzione di una pseudosezione di resistività, è necessario che il passo di misura non superi la distanza interelettrodica.

Il primo risultato dell'analisi è costituito da una pseudosezione che è solo rappresentativa della sezione reale. Infatti, essa ritrae l'andamento della resistività apparente calcolata con semplici considerazioni geometriche: ogni misura viene posta convenzionalmente al centro del quadripolo attivo e alla pseudoprofondità che gli compete.

I dati acquisiti in campagna e rappresentati secondo pseudosezioni (2D) o pseudopiani (3D) vengono successivamente elaborati per risalire alla elettrostratigrafia reale (resistività vera) del volume indagato, che si ottiene utilizzando una tecnica di inversione. Il sistema è interfacciato a un PC su cui è installato un software dedicato che lavora su piattaforma Windows, per gestire sia l'attivazione successiva e programmata di 2 elettrodi di immissione, sia i rimanenti elettrodi di ricezione.

Le misure vengono effettuate in corrente alternata con periodo di misura che può essere compreso tra 0,8 s e 0,12 s con cicli di alcuni secondi; i voltaggi variano da un minimo di 0,2 mV ad un massimo di 400 V picco–picco, mentre l'intensità di corrente varia da minimi di 0,005 mA a massimi di 200 mA.

Nelle indagini geoelettriche è possibile scegliere diversi tipi di configurazioni in base a criteri che considerano, ad esempio, il tipo di *target* da individuare, la profondità massima da raggiungere o la sensibilità delle misurazioni condotte. Le configurazioni si distinguono in base alla distribuzione geometrica della programmazione di attivazione delle coppie di elettrodi attivati per l'acquisizione.

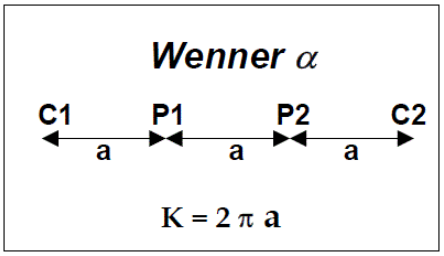
Nel caso in questione sono state utilizzate sia la configurazione Wenner che polo-dipolo, con i seguenti *array* geometrici:

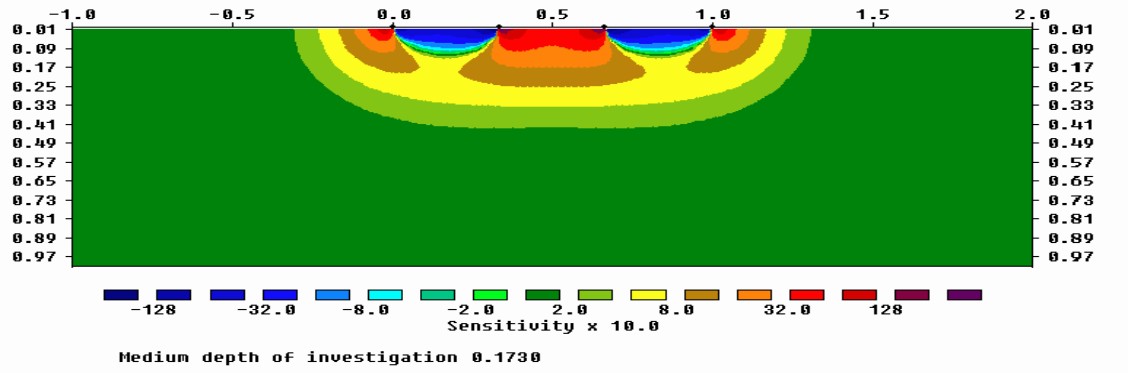
Linea	Lunghezza [m]	N° elettrodi	Interdistanza degli elettrodi [m]
A31	152 m	39	4 m
A32	156 m	40	4 m
A33	136 m	35	4 m
A34	210 m	43	5 m
A35	210 m	43	5 m
A36	165 m	34	5 m

Configurazione Wenner

Questo tipo di arrangiamento è caratterizzato dal fatto che gli elettrodi di potenziale sono posti al centro degli elettrodi di corrente e la distanza tra i vari elettrodi (distanza interelettrodica) è sempre la stessa ed è pari ad **a**.

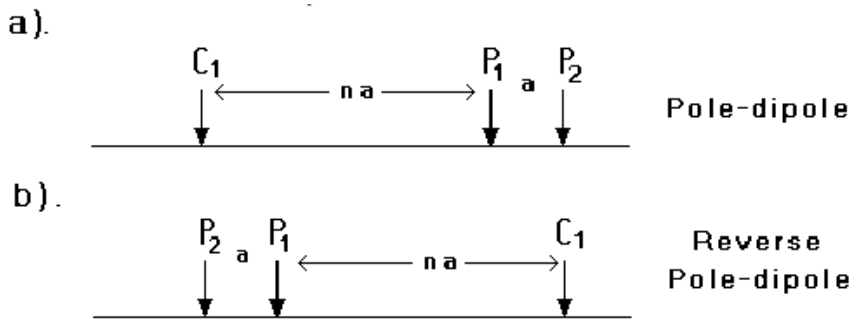
Il valore del fattore geometrico relativo a tale dispositivo è pari a 2πa e quindi il fattore geometrico del Wenner risulta essere il più basso tra i dispositivi più comunemente utilizzati. Pertanto è il tipo di *array* che consente di ottenere la massima intensità del segnale e i dati che si misurano con questo dispositivo risultano essere poco rumorosi.
La funzione *sensitivity* per un dispositivo Wenner presenta un andamento quasi orizzontale al di sotto del centro del dispositivo (figura seguente); ne consegue che questa tipologia di *array* è relativamente sensibile ai cambiamenti verticali di resistività al di sotto del centro dello stendimento, ma è meno sensibile alle variazioni orizzontali della resistività.





Configurazione Polo - Dipolo

L'array polo-dipolo presenta una buona copertura orizzontale, l'intensità del segnale è maggiore rispetto al dipolo-dipolo, e non è sensitivo al noise come l'array polo-polo. Essendo asimmetrico produce anomalie asimmetriche anche su strutture simmetriche. Per eliminare questo effetto le misure vengono ripetute secondo una disposizione inversa, quindi combinate.



Misure normale ed inversa eseguite con l'array polo-dipolo.

L'elettrodo C2 è necessario ma va posto sufficientemente lontano dal profilo, e la sua influenza è proporzionale a (C1-P1/C2-P1)1/2. Questa geometria risulta meno affetta dall'elettrodo remoto rispetto all'array polo-polo, e quando C2 > 5 C1-P1, l'errore è inferiore al 5%.

L'intensità del segnale decresce con (n)1/2, ma la spaziatura P1-P2 può essere incrementata.

La pseudo-sezione di resistività (o tomografia di prima specie) fornisce un'immagine approssimativa e immediata della distribuzione di resistività lungo la sezione verticale di sottosuolo sottesa al profilo di misura; può essere quindi considerata come un'immagine sfocata della configurazione elettrica del sottosuolo. La tomografia geoelettrica vera e propria si ottiene mettendo a fuoco l'immagine di resistività apparente in modo da definire meglio le geometrie dei corpi sepolti. È possibile risolvere questo problema (cioè passare da una pseudo-sezione a una tomografia) applicando la tecnica d'inversione di Loke e Barker implementata nel software Res2Dinv v4.01 prodotto dalla Geotomo (Malesia) e impiegato nel presente lavoro.

Di seguito viene esposto il procedimento utilizzato comunemente per l'analisi.

1. Il procedimento di calcolo prevede la suddivisione iniziale del volume in una griglia di regolarizzazione (analoga a quella impiegata nelle computazioni a elementi finiti). Ad ogni cella della griglia viene attribuito un valore di resistività sulla base dei dati misurati e alle celle di confine viene imposta una resistività pari alla media delle letture eseguite.

2. Il modello iniziale viene quindi sottoposto ad un processo di inversione che utilizza una routine conosciuta con il nome di *smoothness-constrained least-square method* (De Groot-Hedlin e Constable 1990, Sasaki 1992) implementata con una tecnica di ottimizzazione quasi-newtoniana (Loke e Barker 1996) che la velocizza notevolmente. Le elaborazioni considerano in blocco tutti i dati acquisiti e ottimizzano un modello a celle di resistività. Questo modello è meno viziato dalla assunzione di una elettrostratigrafia piana valida per il monodimensionale e risulta, quindi, più adattabile alle complesse geometrie che si incontrano nella realtà.

3. L'inversione ha termine nel momento in cui si ottiene una buona coincidenza, in senso statistico (scarto quadratico medio), tra i dati sperimentali e quelli teorici (confronto tra pseudosezioni misurate e calcolate).

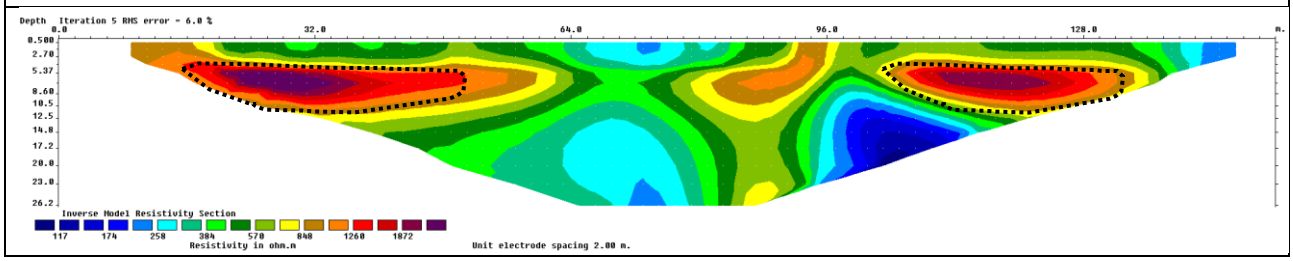
4. Disponendo di una taratura (sondaggio meccanico o dati desunti da scavi) il modello geoelettrico del sottosuolo proposto al termine dell'analisi può essere ricondotto a quello geolitologico.

Sintesi dei risultati

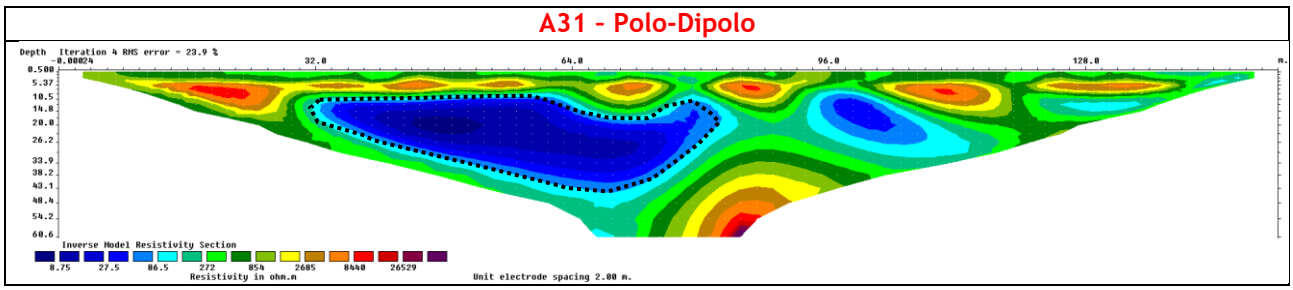
Le sezioni tomografiche (riportate nelle figure seguenti) espongono l'andamento della resistività nel sottosuolo attraverso una scala cromatica di colori che parte dal blu e incrementa verso il viola. Lo spessore delle unità geoelettriche può essere stimato attraverso la scala metrica posta sulle ordinate del grafico.

La stabilità delle misure e, quindi, la loro qualità, si presenta elevata poiché è stato possibile mantenere scarti inferiori al 30% nelle elaborazioni polo-dipolo e minori del 10% nel caso delle interpretazioni Wenner.

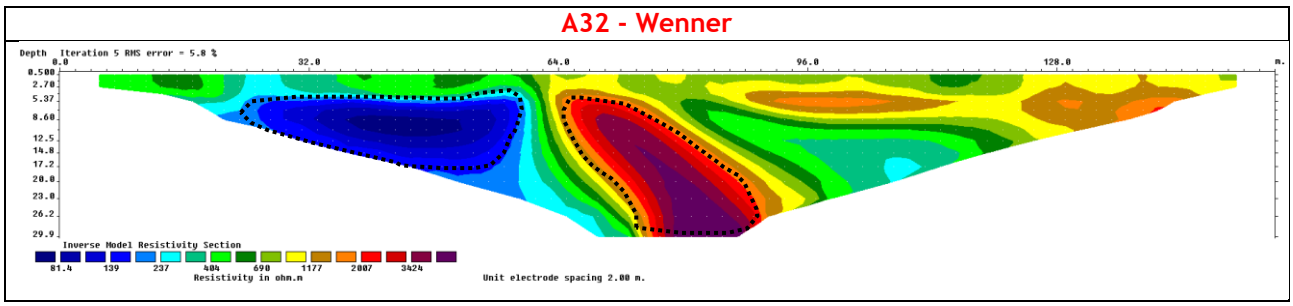
A31 - Wenner



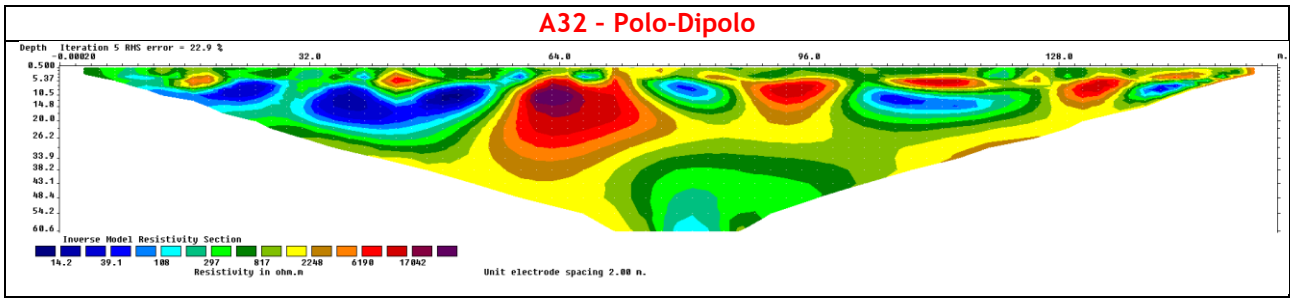
A31 - Polo-Dipolo



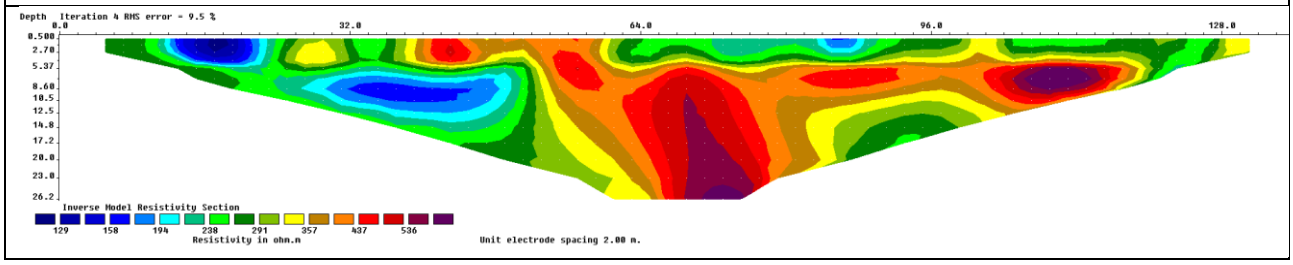
A32 - Wenner



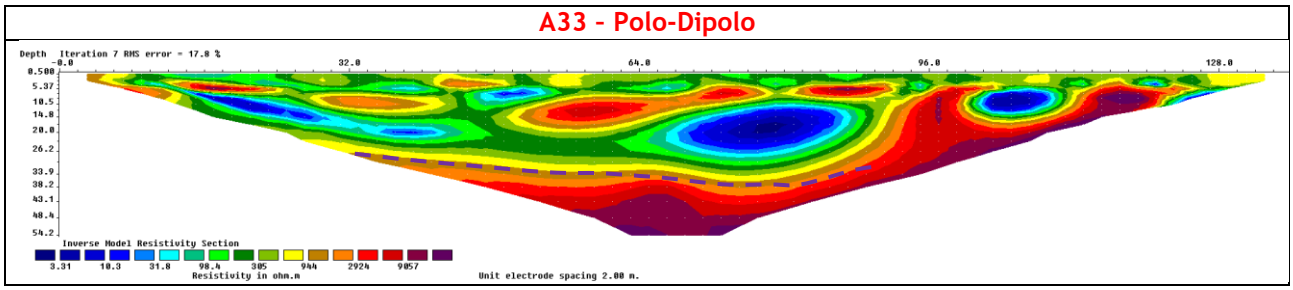
A32 - Polo-Dipolo



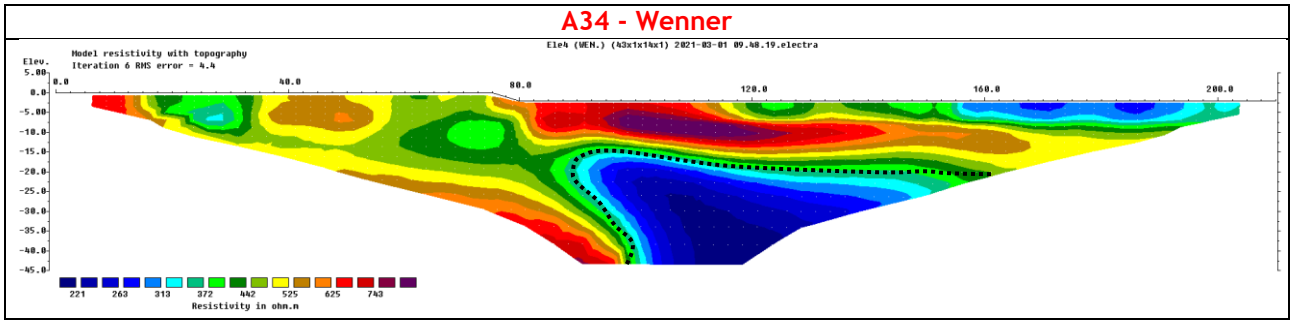
A33 - Wenner



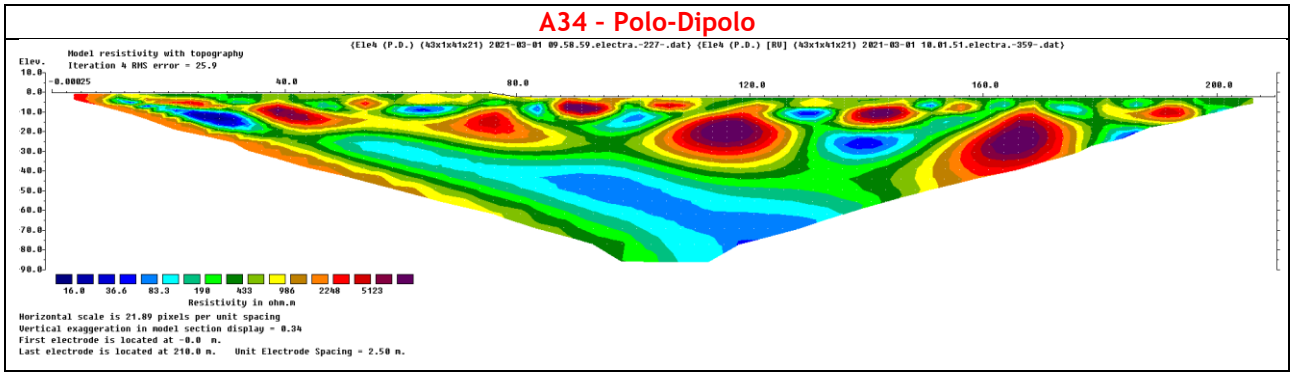
A33 - Polo-Dipolo



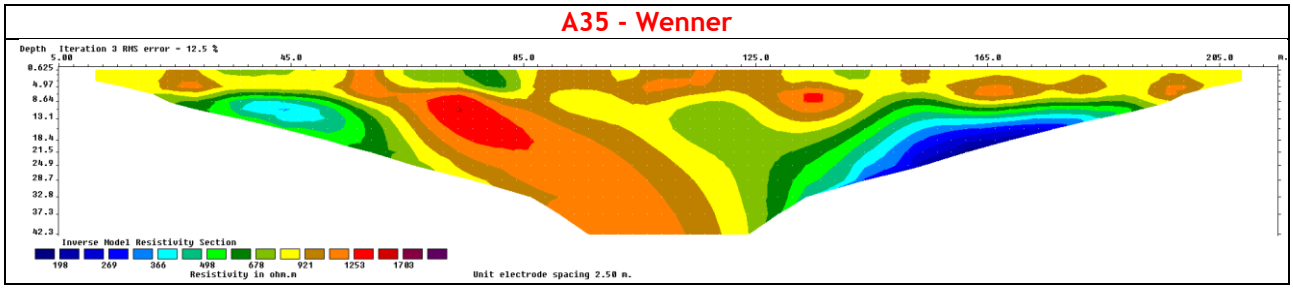
A34 - Wenner



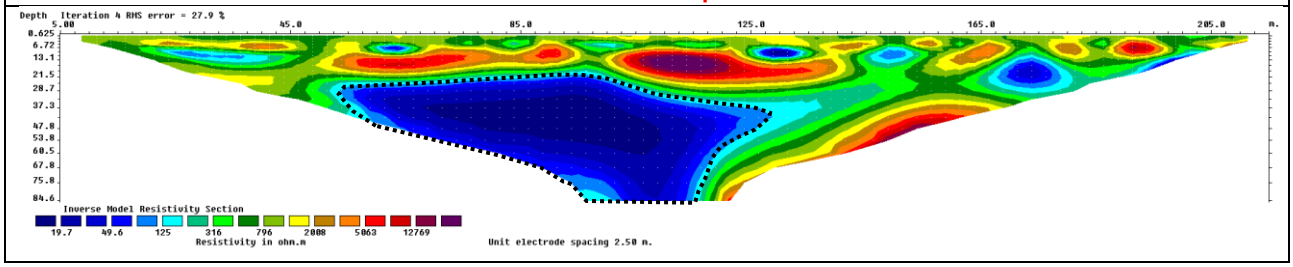
A34 - Polo-Dipolo



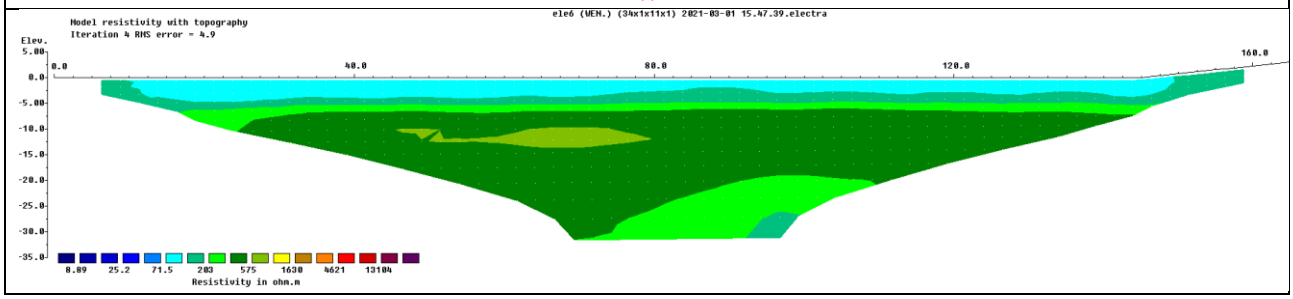
A35 - Wenner



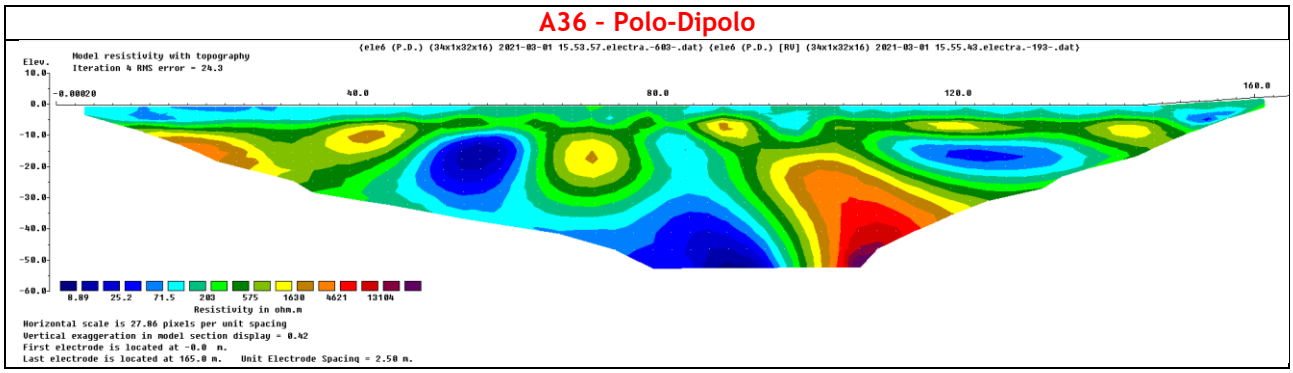
A35 - Polo-Dipolo



A36 - Wenner



A36 - Polo-Dipolo



Di seguito si riportano alcune considerazioni sulle indagini elettriche ottenute:

- in linea generale, le misure mostrano valori di resistività molto variabili, principalmente a causa della natura incoerente dei depositi investigati, in cui le condizioni di saturazione e/o la presenza di matrice fine è molto variabile;
- in alcune delle linee ottenute (A35-A34-A31), sono state evidenziate con delle linee di colore nero tratteggiato le principali anomalie elettriche di natura conduttiva che si presentano molto estese e probabilmente associabili alla presenza di circolazione idrica sotterranea;
- nella linea A33, è stato possibile ipotizzare con una linea tratteggiata viola, il contatto con il probabile substrato roccioso a profondità di circa 36-30 m dal p.c. locale;
- nella linea elettrica A32, nella configurazione Wenner è visibile una anomalia resistiva con andamento subverticale che però non trovano continuità con la profondità, come visibile nella misura polo-dipolo;
- infine, le misure geo-elettriche condotte non hanno evidenziato particolari situazioni associabili, in modo univoco, a contesti tettonici e/o a zone fortemente tettonizzate.

5. DISCUSSIONE E RISULTATI OTTENUTI

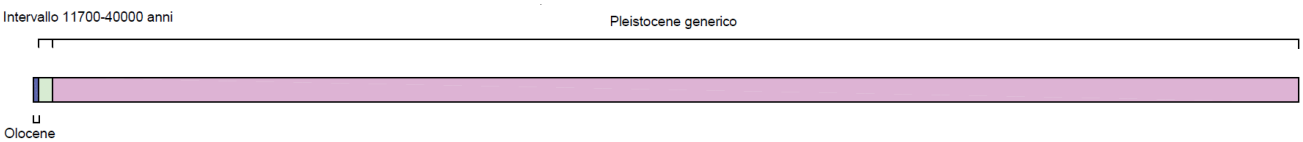
Come anticipato nei paragrafi precedenti, nei precedenti studi di MS1 e MS3, effettuati nel comune di Pove del Grappa, sono state indicate due zone di instabilità legate alla presenza di faglie attive e capaci individuate nel Database ITHACA.

Dal momento che, in accordo con quanto stabilito negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), l'area oggetto di studi di MS ricade in area epicentrale di terremoti storici con Mw>5.5 e la letteratura scientifica disponibile riporta la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche, il sottoscritto è stato incaricato di eseguire una serie di rilievi e di indagini finalizzati a stabilire l'esistenza e l'eventuale ubicazione del tracciato di faglia ipotizzato da ITHACA.

Si precisa che le indagini effettuate sono state concentrate sulla faglia con codice 77543 che, attraversando il centro comunale, risulta associata ad una maggiore vulnerabilità; inoltre, ITHACA, abbina una buona affidabilità alle informazioni e alla sua posizione ed eventuale capacità.

A seguire si riportano le considerazioni conclusive che è possibile trarre:

- per la determinazione delle faglie suddette, il portale ITHACA fa riferimento allo studio di D. Castaldini e M. Panizza del 1991 "Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e il lago di Como (Italia settentrionale)". La qualità di tale studio, viene definita da ITHACA stesso "basso", in quanto, la cartografia di riferimento è stata redatta ad una scala 1:500.000 e sono state cartografate 144 faglie di cui 24 considerate "Attive" e 120 "Ritenute Attive"; per nessuna di queste se ne attribuisce la "capacità" di creare deformazioni in superficie. Inoltre, la ricerca è stata condotta interamente sulla base del materiale bibliografico disponibile e non sono state fatte, in alcun modo, verifiche sul territorio.
- gli elementi generalmente indicativi dell'attività recente di una faglia sono di ordine sia geomorfologico (anomalie nelle forme del paesaggio, diversione di corsi d'acqua o di altri elementi lineari, scarpate di faglia) sia, ovviamente, tettonico (faglie che dislocano terreni tardo pleistocenici-olocenici). Nel caso del comune di Pove del Grappa, sia durante la stesura degli studi di Livello 1 e 3 di MS, che durante la stesura del presente lavoro, sono stati effettuati rilievi sul campo che non hanno individuato in nessun caso, per entrambe le faglie, la presenza di indizi superficiali di una recente attività sismica.
- in accordo con quanto stabilito negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), è considerata attiva una faglia che si è movimentata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene) ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno; questa definizione si riferisce al piano di rottura principale della faglia (piano su cui avviene la maggiore dislocazione). Nel caso delle due faglie ricadenti nel comune di Pove del Grappa, le età riportate nel database ITHACA sono riferibili al "**Pleistocene generico**". Dal momento che il Pleistocene generico è un'epoca geologica con durata da 2.58 milioni di anni a circa 11.700 anni fa, l'arco temporale in cui è collocabile l'ultima attività delle faglie, affinché possano ritenersi attive e capaci, è infinitamente piccolo (rettangolo verde nella scala temporale sottostante), rispetto all'intervallo temporale in anni con cui vengono datate tali faglie. Pertanto, la probabilità che i lineamenti siano da considerarsi "attivi e capaci" secondo la definizione degli ICMS, è da ritenersi estremamente bassa.



- le prospezioni geoelettriche sono state utilizzate allo scopo di ricostruire il modello di distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo e quindi, valutare la presenza di contatti laterali nel sottosuolo tra materiali a composizione diversa. Come è stato possibile notare negli estratti riportati in relazione, tutte le anomalie di resistività segnalate sono riconducibili a effetti litologici

locali e/o presenza di circolazione idrica. Non sono evidenti, in nessun caso, contatti laterali riconducibili ad attività tettoniche e/o aree di intensa fratturazione.

- La campagna di acquisizione di rumore sismico si prefigge, di solito, due scopi: la ricostruzione della profondità dei principali contrasti di impedenza acustica nel sottosuolo e l'individuazione di particolari frequenze di risonanza dei suoli. Nel caso specifico, questa tecnica è stata utilizzata a supporto delle altre indagini geofisiche, per verificare se significative variazioni della frequenza di risonanza tra stazioni di misura relativamente vicine, potevano essere correlate a differenze della struttura del sottosuolo. In particolare, sono state effettuate delle misurazioni lungo precisi allineamenti che attraversano la traccia del piano di faglia disegnato da ITHACA. La sovrapposizione delle indagini eseguite lungo ciascun allineamento non ha evidenziato alcun tipo di contrasto correlabile ad un contesto tettonico e/o alla presenza di bruschi cambi/variazioni litologiche.

In conclusione, in virtù di tutte le considerazioni sopra riportate, non è possibile affermare che nell'area indagata siano presenti evidenze di una recente (entro 40000 anni) attività tettonica e tantomeno assegnare una ubicazione certa poiché non ci sono evidenze morfologiche in superficie. Pertanto, si ritiene opportuno inserire, in via cautelativa, le faglie indicate negli studi di MS1 e MS3, come faglie "potenzialmente attive e capaci - incerte".

Infine, in virtù dei risultati ottenuti, delle nuove indagini eseguite, e delle decisioni prese in merito alle definizioni delle faglie nel comune di Pove del Grappa, è stato necessario aggiornare e revisionare i seguenti elaborati, redatti nei precedenti studi di MS:

1. Carta delle indagini: sono state inserite le misure HVSR e le nuove linee elettriche;
2. Carte Geologico—Tecnica: è stata assegnata la nuova simbologia alle faglie studiate;
3. Carta MOPS: è stata assegnata la nuova simbologia alle faglie studiate e sono stati eliminati i buffer di 200 m a destra e sinistra della traccia del piano di faglia;
4. Carta delle frequenze: sono stati inseriti i valori di frequenza di risonanza ottenuti dalle misure HVSR eseguite.

ALLEGATI FUORI TESTO

1. Carta delle indagini — Scala 1:10.000
2. Carta geologico-tecnica — Scala 1:10.000
3. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica — Scala 1:10.000
4. Carta delle frequenze — Scala 1:10.000
5. Schede delle indagini di nuova realizzazione