

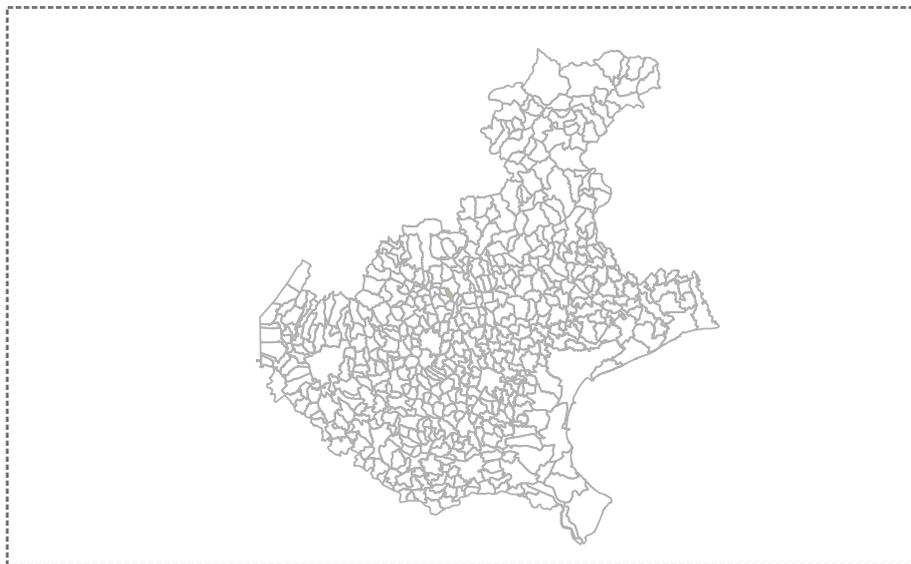


REGIONE DEL VENETO

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Veneto
Comune di Pianezze



Regione
REGIONE VENETO

Segreteria Regionale per
l'Ambiente

Soggetto realizzatore
COMUNE DI PIANEZZE

Progettista:
Dr. Geol. Matteo Collareda

Collaboratore:
Dr.ssa Geol. Claudia Tomassoli
Dr.ssa Geol. Laura Guerra
Dr. Geol. Patrizio Pacitti

Data
Marzo 2022

INDICE

1	INTRODUZIONE	1
2	GENERALITÀ	2
3	ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA	4
3.1.	Inquadramento generale	4
3.2.	Inquadramento geomorfologico	5
3.3.	Inquadramento geologico	7
3.4.	Inquadramento idrogeologico	10
4	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	13
4.1	Inquadramento sismotettonico generale	13
4.2	Caratterizzazione sismogenetica locale	15
4.3	Sismicità storica	18
4.4	Faglie capaci e sorgenti sismogenetiche	21
4.5	Zonazione sismica nazionale	24
4.6	Pericolosità sismica di riferimento	25
5	MICROZONAZIONE SISMICA. PRINCIPI FONDAMENTALI E FINALITÀ	28
5.1	Introduzione	28
5.2	La natura del problema	28
5.3	Finalità e livelli di approfondimento	30
6	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI DA INDAGINI PREGRESSE E DI NUOVA REALIZZAZIONE	32
6.1	Indagini pregresse e di nuova realizzazione	32
6.1.1	Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)	32
6.1.2	Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.)	36
6.2	Modello geosismico del sottosuolo. Interpretazione e incertezze	38
7	ELABORATI CARTOGRAFICI	39
7.1	Carta delle indagini	39
7.2	Carta geologico-tecnica	40
7.3	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	43
7.4	Carta delle frequenze	47
7.5	Carta della pericolosità sismica locale (CPSL)	50
8	APPROFONDIMENTI DI LIVELLO 3	52
8.1	Descrizione del metodo	52
8.2	Casi applicativi nel Comune di Pianezze	59
9	REDAZIONE CARTOGRAFICA E CREAZIONE BASI INFORMATIVE	69
	BIBLIOGRAFIA	72
	ALLEGATI FUORI TESTO	73

1 INTRODUZIONE

La pianificazione e programmazione di 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, sono tra i principali compiti che la Regione Veneto svolge in materia ambientale e di governo del territorio.

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, operare in modo preventivo riduce i costi di gestione in fase di emergenza, poiché agire sulla mitigazione del rischio diminuisce 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 comportamenti operativi/educativi finalizzati alla gestione dei rischi naturali, alla riduzione generale dei costi sociali e della loro ricaduta sulla popolazione.

La Regione Veneto, da diversi anni, ha attivato una serie di iniziative di tipo normativo e tecnico-operativo per conseguire efficaci progressi 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 (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 e, 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 a 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 GENERALITÀ

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 subcomunale) le condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Il presente studio riguarda contemporaneamente il livello 1 ed il livello 3 di approfondimento, secondo le modalità richieste dalle Linee Guida Regionali approvate con D.G.R.V. 1572 del 03/09/2013.

In particolare, il livello 1 è stato sviluppato su tutto il territorio Comunale mentre nel livello 3 non sono state indagate le zone collinari non urbanizzate e le aree esterne al P.I.

Infine, si evidenzia che sono state effettuate delle misurazioni sismiche su tutto il territorio comunale, al fine di aumentare la densità dei dati a disposizione e permettere una copertura più omogenea delle varie zone individuate.

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

3 ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA

Nel presente capitolo vengono illustrate le principali caratteristiche geomorfologiche, litologico-stratigrafiche ed idrogeologiche del territorio oggetto di analisi; tutte le informazioni derivano dall'analisi dei principali studi pregressi realizzati sul territorio (elencati in forma completa in bibliografia), primi tra tutti gli strumenti pianificatori comunali (PRG e PATI).

Tali informazioni, controllate con i dati delle indagini geognostiche reperite ed eventualmente integrate con un rilievo geologico e geomorfologico sul campo, hanno costituito la base per la definizione del modello geologico - tecnico del sottosuolo e delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

3.1. Inquadramento generale

Il Comune di Pianezze è situato nella parte centro orientale della Provincia di Vicenza e si estende per ca. 5 km² con orientamento circa N-NW - S-SE; conta una popolazione di 2173 abitanti (ISTAT 2020) ed è delimitato a Nord e a Nord-Est dal Comune di Marostica, mentre a Sud e ad Ovest confina con il Comune di Colceresa, istituito nel 2019 a seguito della fusione dei Comuni di Molvena e Mason Vicentino.



Inquadramento generale del territorio di Pianezze, in rosso il confine comunale - estratto da Google Earth

Nella cartografia nazionale dell'I.G.M. il comune è compreso nelle Tavole della Carta Topografica d'Italia alla scala 1:25.000 denominate Marostica (F. 37 III SE) e Conco (F. 37 III NE); inoltre è incluso nel Foglio 37 (Bassano del Grappa) alla scala 1:100.000 della Carta Geologica d'Italia..

Per quanto attiene alla cartografia tecnica regionale alla scala 1:5.000 gli elementi interessati sono i seguenti:

- 103042 Vallonara
- 103043 Laverda
- 103081 Marostica
- 103082 Villaraspa
- 103084 Molvena

Le informazioni riportate di seguito riguardanti l'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico dell'area sono desunte principalmente dalla relazione del P.A.T.I. dell'Area Colceresa - Marostica Ovest, redatta nel gennaio 2009 dallo studio "Dolomiti Studio".

3.2. Inquadramento geomorfologico

Il territorio comunale è geograficamente situato nelle Prealpi Vicentine, a loro volta parte dell'Unità delle Alpi Meridionali, e occupa per la precisione la fascia pedemontana meridionale dell'altopiano dei Sette Comuni, al limite con l'alta pianura alluvionale veneta.

Morfologicamente può essere suddiviso in tre fasce: versante collinare, fondovalle e pianura.

Le quote più elevate che si riscontrano all'interno dei confini comunali sono di ca. 360 m s.l.m., nella parte più settentrionale del comune, mentre le quote minime si rinvengono nelle aree occupate dalla pianura veneta (ca. 80 m s.l.m.).

Settore collinare:

Tutta la parte settentrionale del territorio comunale, circa un terzo del totale, è occupata dal versante collinare, avente una morfologia in larga misura dolce ed ondulata, determinata dalla estesa presenza di rocce vulcaniche di vario tipo, spesso superficialmente alterate/fratturate; dove tali litologie sono sostituite in affioramento dalla parte di substrato poco erodibile costituito da vulcaniti compatte o rocce calcaree integre, si determinano ristrette fasce di versante con pendenze maggiori e ripide scarpate.

L'analisi delle carte geomorfologiche del P.A.T.I., ha evidenziato una serie di orli di terrazzi morfologici di origine fluviale, quasi sempre con altezze comprese tra i 5 - 10 m di altezza.

Il reticolo idrografico è costituito da una rete di incisioni che raccolgono le acque di ruscellamento superficiale e le convogliano nel principale corso d'acqua di questa zona, il Torrente Valderio (che scorre nel Comune di Colceresa).

Il raccordo tra rilievo collinare e fondovalle è graduale e mascherato da una copertura uniforme di terreni argillosi di origine eluvio - colluviale di alcuni metri di spessore.

Settore di Fondovalle e pianura:

Il fondovalle è costituito dalle superfici di raccordo con l'alta pianura veneta formata dalle conoidi alluvionali dei fiumi Astico e Brenta, interdigitate e parzialmente sovrapposte tra loro, che si estendono verso sud dalle Prealpi sino alla zona di media pianura, per una larghezza variabile dai 5 ai 15 km.

Le tipologie litologiche presenti nell'area collinare e secondariamente la presenza di elementi tettonici (che contribuiscono al decadimento dei parametri geotecnici e geomeccanici dei terreni), determinano un delicato equilibrio idrogeologico, con la presenza di alcuni fenomeni di instabilità per gravità, per la maggior parte ubicate in fascia boschiva o in aree prative, ma che in alcuni casi interessano la rete viaria e alcune abitazioni.

3.3. Inquadramento geologico

Come accennato in precedenza, il territorio comunale nella parte collinare di NW è caratterizzato litologicamente dalla presenza di una grande varietà di rocce eruttive di composizione basaltica, derivanti da un'attività vulcanica che si è esplicata (a partire dall'oligoceniche) in tre fasi separate tra loro da periodi di stasi durante le quali si sono depositati sedimenti di mare basso, ricchi di fossili, che oggi costituiscono le rocce calcaree e calcareo-marnose affioranti in vari punti (Formazione di Salcedo e Formazione dei Calcari di Lonedo); l'attività magmatica si è verificata prevalentemente in ambiente sottomarino non molto profondo tuttavia alcune lave, scoriacee ed ossidate, si sono depositate in ambiente subaereo.

Tutti questi litotipi sono rinvenibili all'interno dei confini comunali e sono stati considerati per il presente lavoro, come substrato geologico dell'area.

Il fondovalle appartiene invece al contesto geografico e geologico dell'alta pianura veneta formata da una serie di conoidi alluvionali prevalentemente ghiaiose originate dai fiumi Adige, Leogra, Astico, Brenta e Piave, interdigitate e parzialmente sovrapposte tra loro, che si estendono verso sud per una larghezza variabile dai 5 ai 15 km dalle Prealpi sino alla zona di media pianura.

I depositi ghiaiosi hanno continuità laterale in senso E-O e ciò è dovuto al continuo mutamento degli alvei fluviali che hanno distribuito su di una vasta area i loro sedimenti.

Queste ampie conoidi si sono formate a seguito dello scioglimento dei ghiacciai quando il trasporto solido dei fiumi, proveniente soprattutto dalla distruzione degli apparati morenici, era di molto superiore a quello attuale. Questa ingente quantità di materiale solido è stato poi depositato allo sbocco dei corsi d'acqua in pianura.

Si rinvencono quindi depositi di origine fluviale e fluvioglaciale, composti da ghiaie, ghiaie limose sabbiose, sabbie ghiaiose; gli strati più superficiali di tali depositi presentano sedimenti più fini, argilloso limosi, argilloso ghiaiosi, limoso argillosi, con spessori che nella zona di studio ed in base ai dati in possesso non superano mai i 4 - 5 m.

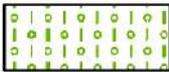
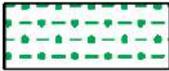
Il raccordo tra le due zone è caratterizzato da una fascia più o meno ampia costituita dall'intercalazione dei sedimenti eluvio - colluviale con quelli fini fluviali e fluvioglaciali; si tratta di limi argillosi e argilloso limosi, aventi spessori di 8 -10 m, al di sotto dei quali si rinviene il substrato geologico prima alterato poi integro.

Secondo la carta litologica del P.A.T.I., che ha privilegiato una distinzione litologica tecnica piuttosto che stratigrafica, l'insieme dei litotipi affioranti nel comune di Pianezze può essere così classificato:

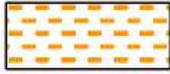
Litologia del substrato

	Rocce compatte stratificate	L-SUB-03
	Rocce superficialmente alterate e con substrato compatto	L-SUB-04
	Rocce tenere prevalenti con interstrati o bancate resistenti subordinati	L-SUB-06

Materiali alluvionali, morenici, fluvioglaciali, lacustri, palustri e litorali

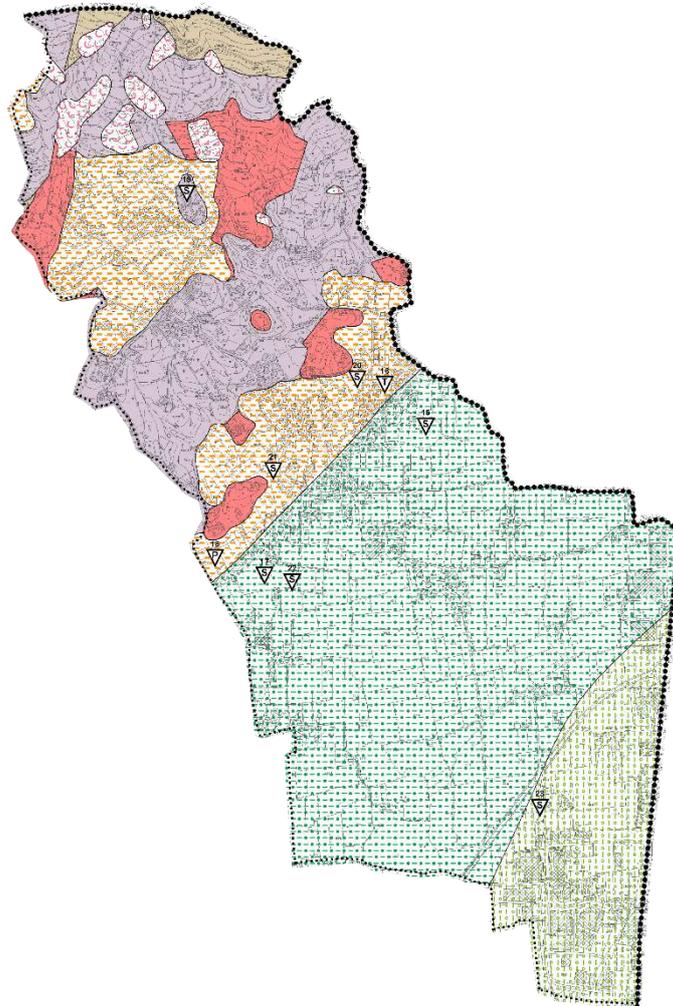
	Materiali alluvionali granulari più o meno addensati e/o fluvioglaciali antichi terrazzati a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa	L-ALL-01
	Materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente limo-argillosa	L-ALL-05

Materiali della copertura detritica colluviale ed eluviale



Materiali della copertura detritica colluviale poco consolidati e costituiti da frazione limo-argillosa prevalente con subordinate inclusioni sabbico-ghiaiose e/o di blocchi lapidei

L-DET-03



Estratto della Carta Litologica del PATI dell'Area Colceresa - Marostica Ovest (VI) riguardante il territorio comunale di Pianezze

Nel dettaglio le litologie riscontrate sono le seguenti, così come descritte nel P.A.T.I.:

LITOLOGIE DEL SUBSTRATO

Rocce compatte stratificate

In questa classe rientrano i **Calcari di Lonedo** (Oligocene - Miocene inferiore); si tratta di calcari biancastri, talora grossolani, nulliporici ad alghe e coralli; calcareniti a lepidocline e calcari di scogliera; calcari arenacei, marne arenacee ed arenarie calcaree grigio scure.

La stratificazione a volte è nodulare. Gli strati hanno uno spessore medio di alcuni cm.

Le caratteristiche geomeccaniche sono buone ma diventano mediocri dove l'ammasso roccioso risulta molto fratturato.

Rocce superficialmente alterate e con substrato compatto

In questa classe sono state accorpate tutte le diverse tipologie di rocce vulcaniche presenti nel territorio. Comprendono pertanto:

a) le vulcanoclastiti

La loro distribuzione è limitata rispetto alle lave basaltiche. Gli affioramenti sono spesso continui ed hanno una potenza di 30-35 m. Tali rocce hanno un contenuto più o meno abbondante di frammenti vulcanici di dimensioni variabili da 1 mm ad alcuni cm. La colorazione tipica è grigia con tonalità scure. La stratificazione è netta e resa ancor più evidente dall'alternanza di strati a tonalità diversa tra loro. Lo spessore medio degli strati si aggira sui 2-5 cm con rari strati di 20-25 cm di potenza.

b) le breccie vulcaniche d'esplosione intradiatremiche ed extradiatremiche

Con questo termine si vuole indicare una roccia la cui origine è legata alle varie fasi esplosive dell'attività vulcanica. La breccia vulcanica si presenta come una roccia composta da numerosi frammenti basaltici eterometrici angolosi contenuti in una matrice, sempre di origine vulcanica, di colore bruno-vinaccia, spesso alterata.

c) i basalti di colate laviche subacquee

Sono i più diffusi. Si tratta di basalti compatti, di colore nero e grigio scuro che assumono i toni del bruno-rosso se alterati. Spesso sono fratturati in blocchi delle dimensioni variabili da pochi cm al metro a seguito della contrazione della lava per raffreddamento. A volte sono visibili strutture particolari come le lave a cuscini (pillows lava); in tal caso si presentano come blocchi rotondeggianti, con dimensioni che variano da pochi centimetri fino a qualche metro. I pillow sono caratterizzati da una superficie liscia e vetrosa e da fratture concentriche e radiali; la loro frantumazione origina ialoclastiti.

d) i basalti di colate laviche subaeree

Hanno un aspetto granulare poco compatto. Le parti sommitali delle singole colate appaiono spesso bollose e vacuolari e, in alcuni punti, scoriacee. Sono particolarmente alterabili e si presentano spesso ossidate. Il colore varia dal bruno-rosso al grigio scuro.

Le caratteristiche geomeccaniche delle “*Rocce superficialmente alterate e con substrato compatto*” sono buone, diventano scadenti per la roccia molto fratturata.

Rocce tenere prevalenti con interstrati o bancate resistenti subordinati

In questa classe sono stati inseriti i membri calcarei della Formazione di Salcedo (Oligocene) mentre i membri costituiti da rocce vulcaniche sono state fatte rientrare nella classe “*Rocce superficialmente alterate e con substrato compatto*”.

La Formazione di Salcedo è formata da sette membri così ripartiti:

- 1° membro: lave basaltiche prevalentemente compatte;
- 2° membro (denominato Arenarie di Sangonini): successione eterogenea di sabbie, argille sabbiose, arenarie, calcareniti e calcari marnosi di scogliera;
- 3° membro: lave basaltiche compatte;
- 4° membro: tufiti;
- 5° membro (denominato Calcari di Chiavon): calcareniti organogene, calcari marnosi e calcari compatti bianchi;
- 6° membro: lave bollose;
- 7° membro: tufiti alternate a strati calcarei

Sul terreno affiorano in particolare gli strati compatti dei Calcari di Chiavon, mentre meno evidenti sono gli affioramenti degli strati marnosi maggiormente erodibili e degradabili ad opera degli agenti atmosferici e dell'azione della vegetazione. Lo spessore medio degli strati è in genere di pochi cm con alternanze di bancate calcaree di 30-40 cm. La stratificazione non sempre è evidente.

Le caratteristiche geotecniche/geomeccaniche delle *“Rocce tenere prevalenti con interstrati o bancate resistenti subordinati”* sono buone in caso di roccia compatta, diventano mediocri nel caso di sabbie sciolte e dove l'ammasso roccioso risulta molto fratturato o in presenza di strati marnosi e arenacei molto alterati e friabili.

DEPOSITI DI COPERTURA

Materiali della copertura detritica colluviale poco consolidati e costituiti da frazione limo-argillosa prevalente con subordinate inclusioni sabbioso-ghiaiose

Sono i terreni di alterazione del sottostante substrato vulcanico costituiti da una matrice argilloso-limosa che ingloba frammenti e blocchi prevalentemente basaltici.

Materiali granulari fluviali e/o fluvioglaciali antichi a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa più o meno addensati

Si tratta del materasso di alluvioni ghiaioso-sabbiose legate alle vicende deposizionali del fiume Brenta; sono presenti uniformemente sul fondovalle, ma il limite con le sovrastanti alluvioni fini è stato posto nella carta litologica del PATI dove lo strato di copertura superficiale di natura limoso-argillosa presenta uno spessore limitato (2-3 mt). Il grado di addensamento delle alluvioni varia da sciolto a compatto.

Materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente limo-argillosa

In questa classe sono state inserite le alluvioni fini limoso-argillose, con locali intercalazioni di argille molli, interdigitate con i depositi pedecollinari presenti sul fondovalle a ridosso del rilievo.

Lo spessore di queste alluvioni, in base ai dati ricavati dalle indagini, supera mediamente gli 7- 8 metri e può arrivare ad oltre i 10 m. La consistenza di tali materiali è in genere medio-bassa.

10

3.4. Inquadramento idrogeologico

Nell'area collinare il reticolo idrografico è ben sviluppato e caratterizzato da una buona densità di drenaggio (= rapporto tra la lunghezza totale dei corsi d'acqua e l'area della superficie sottesa).

L'elemento più importante di questa area è il Torrente Valderio, che scorre nel limitrofo Comune di Colceresa e che, attraverso l'affluente di sinistra Val Onari, drena le acque fino alla direttrice Villa di Molvena-Pianezze.

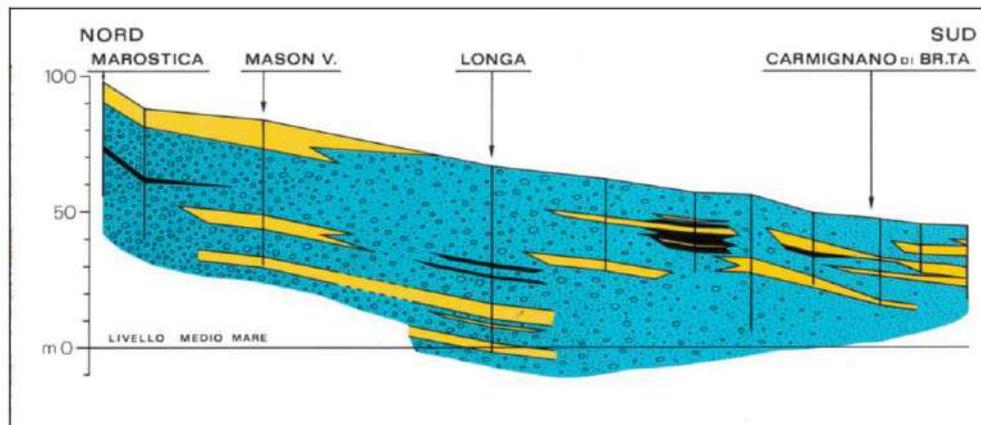
Il rimanente territorio pianeggiante è percorso da altri torrenti come il Ponterone alimentato dalle acque della Val Oldelle che scende dal territorio di Pianezze e la Roggia Marosticana che si sviluppa nel territorio comunale di Pianezze e Mason al confine con Marostica.

La circolazione sotterranea in questa parte collinare è limitata dalla permeabilità bassa dei litotipi presenti, che raggiungono un grado di permeabilità medio solo nelle parti fratturate; nel P.A.T.I. vengono riportate alcune **sorgenti**, distribuite un po' ovunque nell'area collinare; sono non perenni, in stretta relazione con il modesto bacino di alimentazione e non utilizzate a fini idropotabili.

Il fondovalle è composto dal vasto materasso alluvionale che ospita un potente acquifero indifferenziato sede di una "ricca" falda freatica (il cosiddetto acquifero freatico indifferenziato) alimentata prevalentemente dalle dispersioni dei corsi d'acqua, in particolare del Brenta che disperde una portata media di 10-12 m³/s, in secondo luogo dagli afflussi meteorici locali ed infine dalle dispersioni derivanti dalle pratiche irrigue.

Esaminando i dati presenti in letteratura (primo tra tutti il lavoro "Difesa degli acquiferi dell'alta pianura veneta - C.N.R. - Regione Veneto 1988), all'interno del materasso alluvionale sono segnalate

intercalazioni di strati argillosi con spessori anche maggiori di 10 metri, dato che però non ha trovato un riscontro diretto nel territorio analizzato nel presente lavoro a causa della scarsità di dati profondi e di dettaglio reperibili.



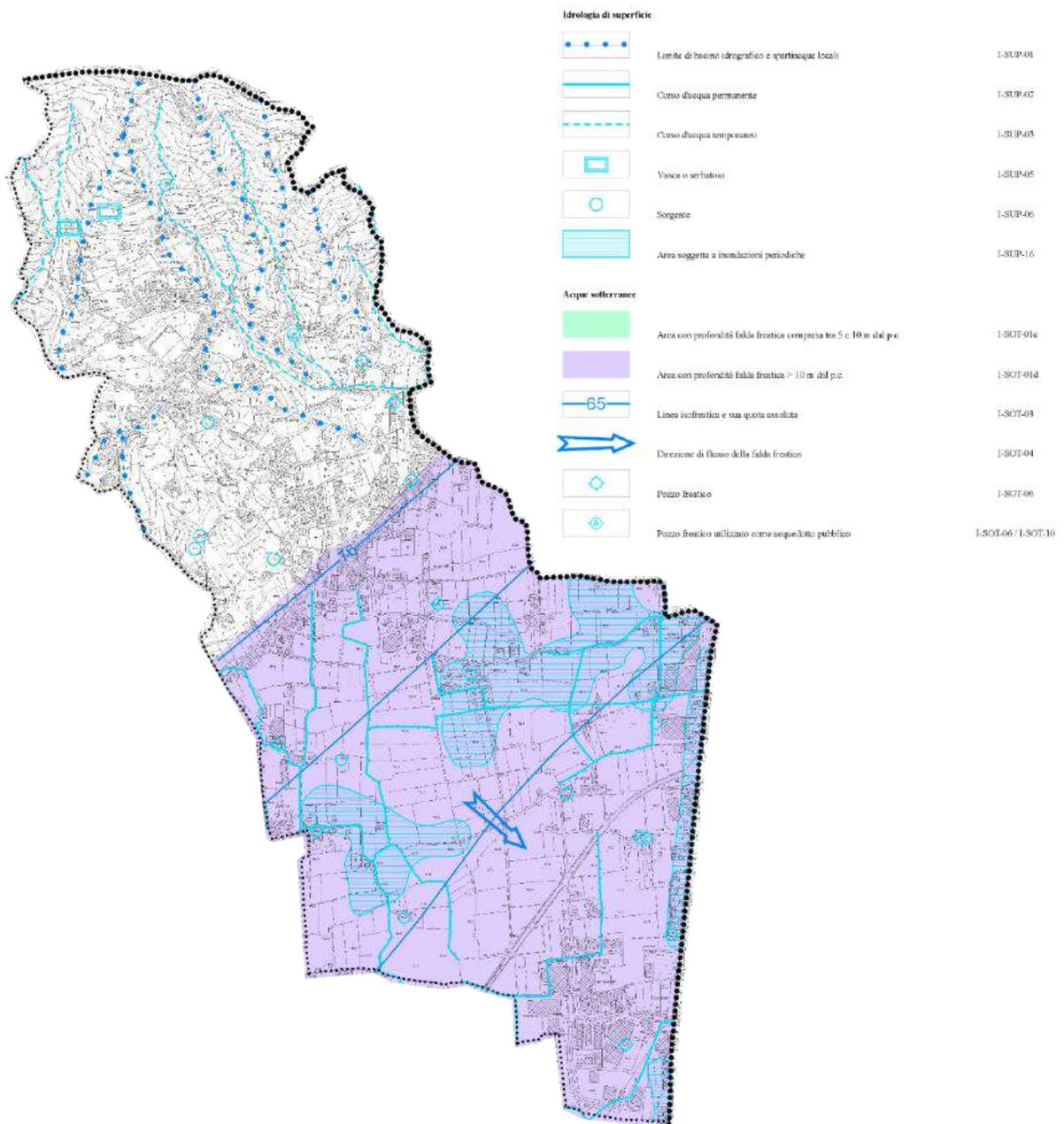
Schema idrogeologico dell'alta pianura veneta ((Estratto da Difesa degli acquiferi dell'alta pianura veneta - C.N.R. - Regione Veneto 1988)

Dall'andamento delle linee isofreatiche si ricava una direzione NNO-SSE di deflusso della falda con gradiente che tende progressivamente diminuire da Nord verso Sud passando dal 2.2 ‰ al 0.6 ‰, mentre la velocità è dell'ordine di 0.4 metri/giorno (dati ricavati dall'indagine geologica del PRG di Pianezze).

La falda freatica è posizionata ad una profondità compresa tra 80 - 60 metri s.l.m. con oscillazione media annua dei livelli freatici di 5-6 metri nella porzione settentrionale del fondovalle e di 2-3 metri nel settore meridionale, al passaggio con la media pianura. L'analisi dei dati raccolti per questo studio, ha evidenziato una sola indagine in cui è segnalata la presenza di acqua (il pozzo per acqua P41 nella Carta delle Indagini), presumibilmente contenuta in un livello ghiaioso a 50 m di profondità ed il cui livello piezometrico risale fin a 10 m dal p.c.

Sul fondovalle sono presenti numerosi **pozzi privati** utilizzati per uso irriguo.

Nella Carta Idrogeologica inserita nello studio geologico eseguito nell'ambito del P.A.T.I., il territorio di pianura di Pianezze è caratterizzato dalla presenza della falda freatica ad una profondità maggiore di 10 metri dal p.c..

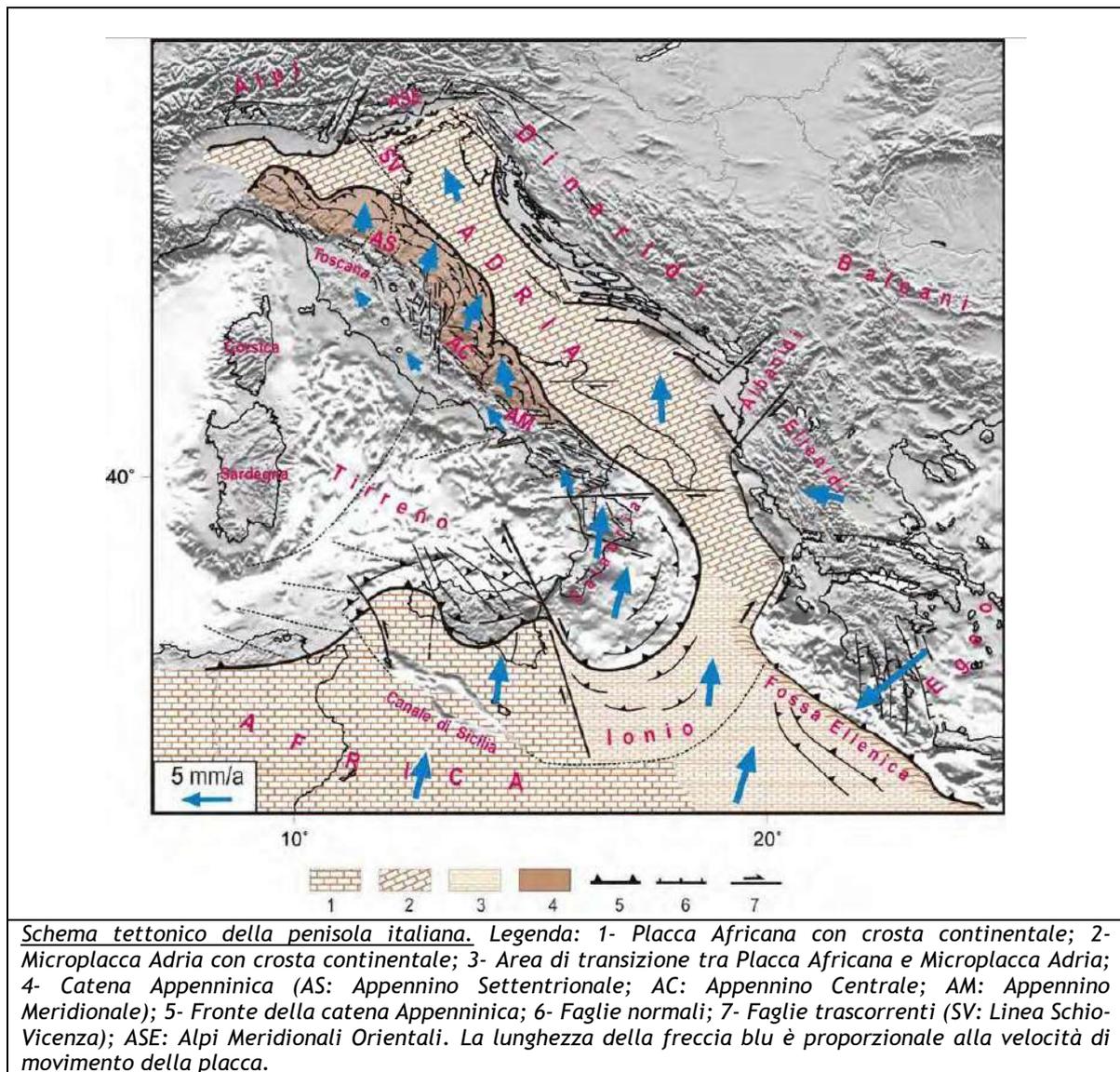


Estratto della Carta Idrogeologica del PATI dell'Area Colceresa - Marostica Ovest (VI) riguardante il territorio comunale di Pianezze

4 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

4.1 Inquadramento sismotettonico generale

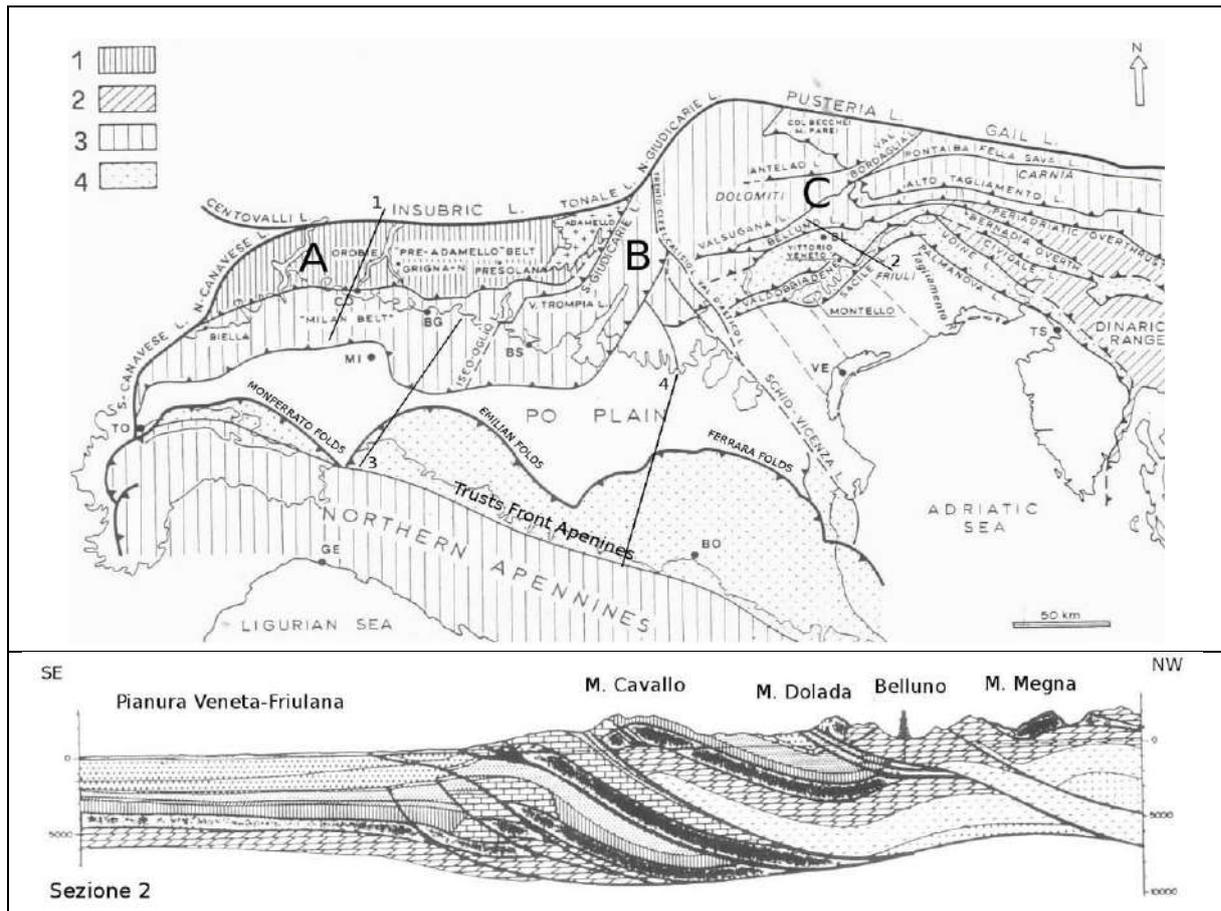
Dal punto di vista strutturale, il territorio di Pianezze si colloca a cavallo tra l'alta pianura veneta e la grande unità litologica delle Alpi meridionali. Quest'ultima è stata interessata dal *rifting* giurassico con l'individuazione di una piattaforma carbonatica bordata dal bacino carnico, bacino bellunese, bacino di Tolmino e dal *plateau* carnico-giulio. La placca Adria, che tettonicamente rappresenta un promontorio della placca africana (Channell, 1996) collocata lungo la pianura padana veneta e lungo il mare Adriatico, interagisce attivamente con la placca europea determinando il corrugamento alpino e appenninico e, conseguentemente, lo *stress* tettonico attuale.



L'Adria è costituita da crosta continentale che, nella porzione più settentrionale, è rappresentata dal substrato della pianura padana interagente con il fronte della catena appenninica a sud e con il sud-alpino a nord. La collisione continentale tra la parte più settentrionale della placca Adria e quella europea ha portato alla formazione della catena alpina. La conseguente subduzione verso sud della placca europea e il sovrascorrimento della placca Adria (subduzione continentale, Bally et 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 et al., 2002): una faglia trascorrente sinistra (Plio-Quaternaria) che mette le Alpi meridionali a contatto con quelle centro-occidentali.

Il blocco veneto-friulano (figura seguente) è caratterizzato da strutture tettoniche con direzioni variabili (Dogliosi et al., 1987; Castellarin et al., 1992; Pontron et 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 e il fronte della catena dinnarica a est (Merlini et al., 2002).



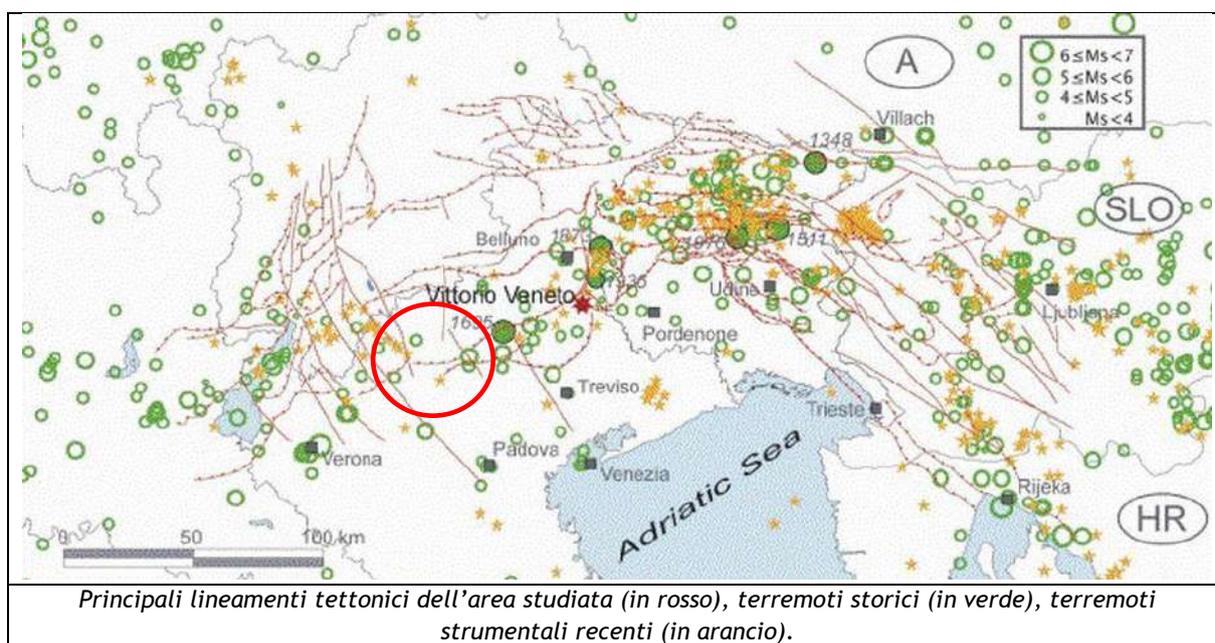
Schema strutturale della Pianura Padana (microplacca Adria) e delle aree adiacenti (modificato da: CASTELLARIN e al., 1982). Legenda: Il sud-alpino è tettonizzato in età eolpina (Cretaceo-Paleocenica) (1) e in età Eocene inf. e medio (2). L'area Appenninica è coeva al settore più occidentale delle Alpi (3) di età Messiniana e Plio-Pleistocenica. L'area Appenninica e Veneto-Friulana (4), in forte accorciamento, è caratterizzata dalle strutture sepolte sotto i depositi di pianura. Il sud-alpino è diviso in A) Blocco Lombardo, B) Blocco Trentino-Lessineo e C) Blocco Veneto-Friulano.

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 et 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.

4.2 Caratterizzazione sismogenetica locale

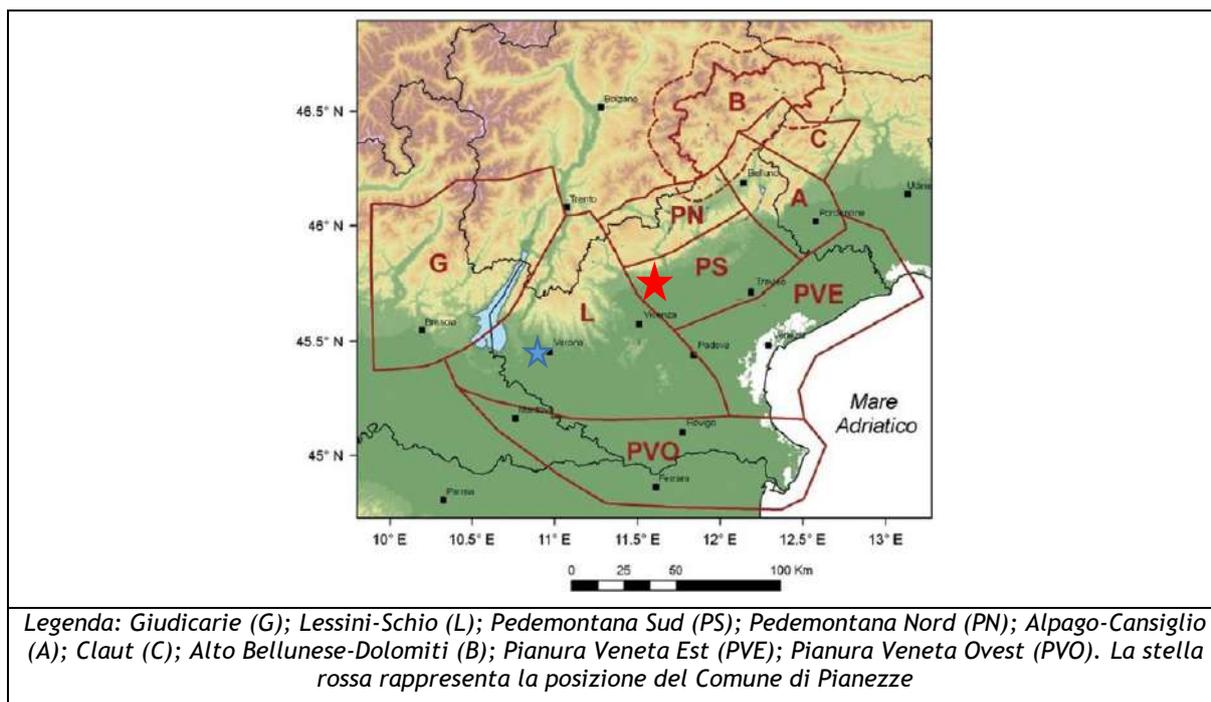
Il risultato finale dei movimenti tettonici crostali è rappresentato da un'attività sismica nelle regioni delle Alpi orientali (Slejko et al., 1989) considerata tra le più elevate del nostro paese. Cinque terremoti con magnitudo di superficie (MS) superiore a 6 sono infatti avvenuti nell'ultimo millennio: 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 centro-orientale sono rappresentate da sovrascorrimenti con orientazione nord est-sud ovest, tagliati talvolta da faglie trascorrenti.

Nel lavoro "Distretti sismici del Veneto" (M. SUGAN E L.PERUZZA, 2011) 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.

Il territorio comunale di Pianezze è ubicato all'interno del "Distretto Pedemontana Sud (PS)", come è possibile osservare dall'immagine seguente.



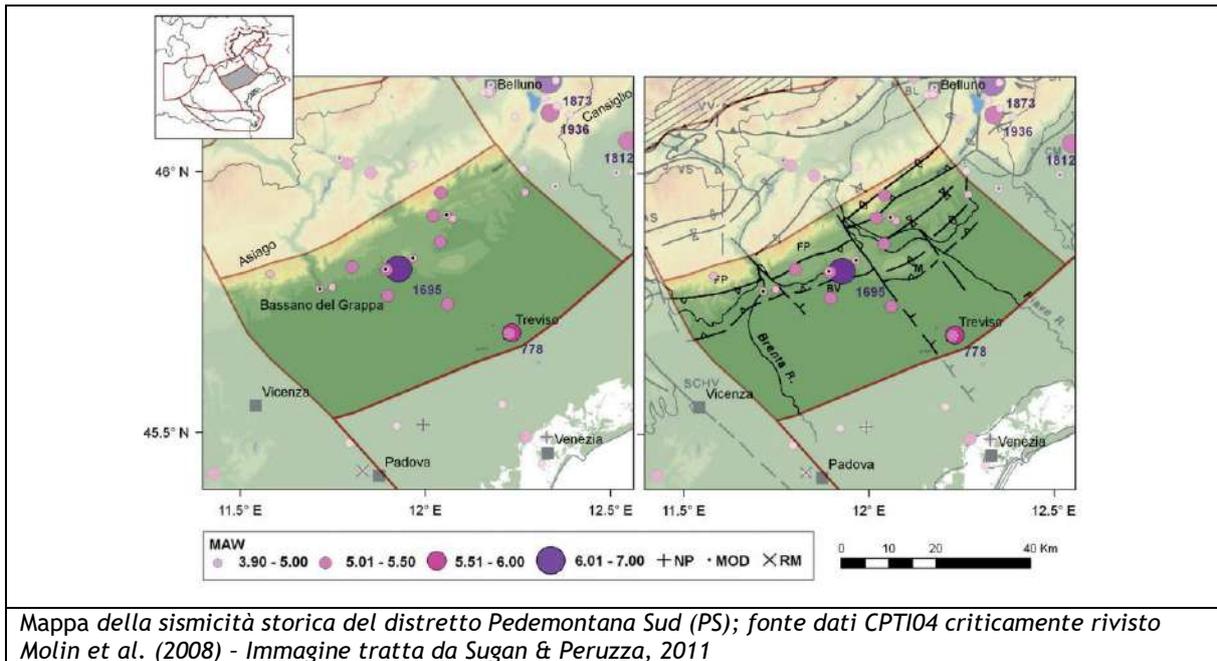
Questa regione comprende parte del fronte esterno Plio-Quaternario della Catena Sudalpina orientale, e si estende dall’altopiano di Asiago fino alla zona pedemontana del margine del Cansiglio. In questo settore è presente la “Flessura Pedemontana”, una importante anticlinale di rampa a sviluppo bloccato dai condotti vulcanici, dal quale prendono il nome sia questo distretto, sia il contiguo elemento (Pedemontana Nord) a NO; la loro distinzione si basa sul fatto che si ritiene che le strutture verso nord abbiano raggiunto una configurazione tettonica quasi definitiva mentre quelle nella porzione meridionale possano essere le potenziali sorgenti di terremoti distruttivi.

Il distretto Pedemontana Sud si estende a SE alla zona di pianura, approssimativamente ad includere la fascia delle risorgive; lungo la catena, il sistema strutturale è troncato bruscamente ad ovest dagli allineamenti disposti NO-SE del Sistema Schio-Vicenza, verso est da elementi paleogeografici riconducibili alla strutturazione della Piattaforma Friulana (margine occidentale del massiccio del Cansiglio).

L’area è caratterizzata da pieghe e sovrascorrimenti ad andamento ENE-OSO, prevalentemente vergenti a S-SE e tutt’ora presenta un’attività tettonica rilevante, con una compressione attiva la cui velocità è stimata nell’ordine di qualche mm/a.

La stretta di Quero e il rilievo del Montello sono gli elementi geologici e morfologici del distretto attorno ai quali si sono maggiormente concentrati studi per il riconoscimento di faglie attive (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.

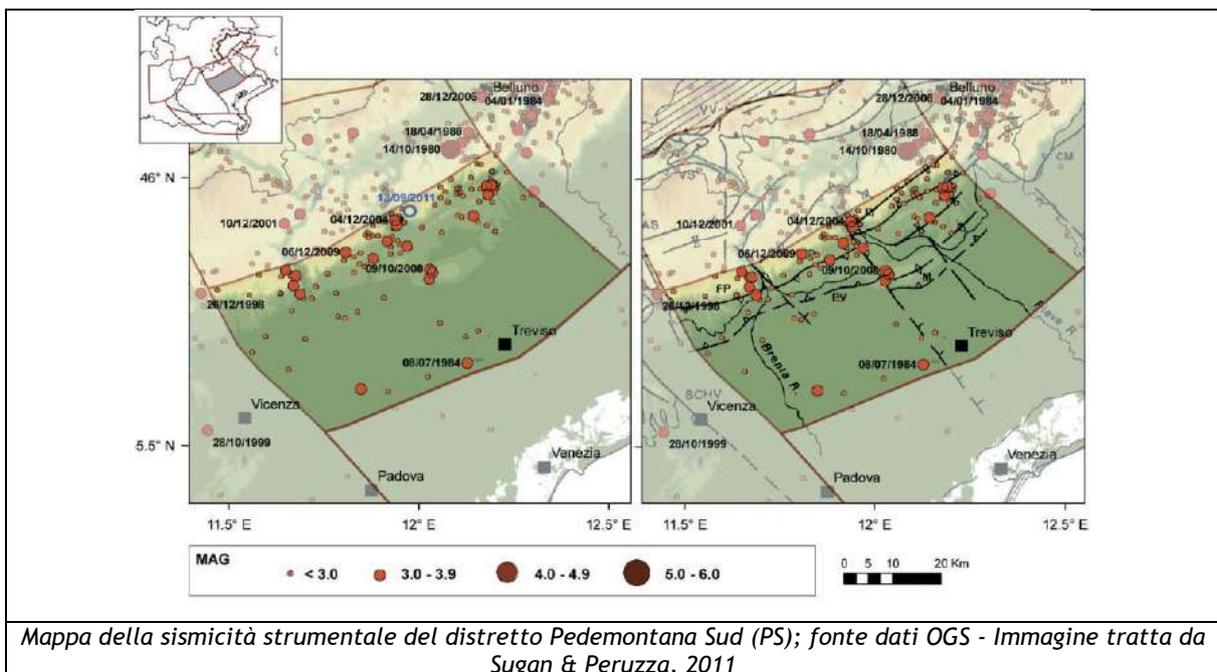
Storicamente la zona è interessata da un evento distruttivo e numerosi eventi che hanno superato la soglia del danno ($I_0=VI$ MCS), documentati in modo abbastanza affidabile sin dal XIII secolo (vedi la successiva mappa di sismicità storica); danni significativi dovuti ad eventi più antichi vengono invece attribuiti esclusivamente o prevalentemente alla città di Treviso (778, $I_0=VIII-IX$, $MW=5,84$; 1268, $I_0=VII-VIII$, $MW=5,37$), per questi eventi è oggi impossibile risolvere la vera localizzazione, data la scarsità di fonti storiografiche che documentano danni.



Negli ultimi due secoli, l'evento maggiore è stato quello del 12 giugno 1836, localizzato nell'area di Bassano, che ha raggiunto la soglia del danno significativo (I_0 =VII-VIII MCS, $MW=5,48$), e una serie di eventi dannosi, prevalentemente documentati nella seconda metà del XIX secolo. Da oltre un secolo, quindi, nell'area non si verificano eventi di energia significativa.

La sismicità registrata strumentalmente dal 1977 si presenta da bassa a moderata, con diversi eventi di magnitudo maggiore di 3, limite teorico della soglia di percezione, localizzati lungo la fascia esterna della catena alpina, nella zona della Flessura Pedemontana (FP) e del Montello (M). La magnitudo massima registrata nell'area fino al 2010 è $MD=3,3$, relativa agli eventi marcati con la data nella seguente mappa di sismicità strumentale.

17



Il 13 settembre 2011, è avvenuto un evento di $ML=3,7$, percepito particolarmente nella località di Moriago della Battaglia; esso risulterebbe l'evento più energetico in epoca strumentale, nonostante effetti di stazione abbiano portato ad una possibile sovrastima della magnitudo di 2-3 decimi di grado. Altri eventi di $M>3.0$ sono avvenuti lungo il corso del Brenta nel 2002 (maggio, luglio e settembre) e nel 2006; il 6 dicembre 2009 sono stati registrati nella zona del Monte Grappa due eventi rispettivamente di MD 2,7 e 3,3. All'area del Montello sono invece riferiti gli eventi del 9 ottobre 2008 ($MD=3,3$) e del 23 giugno 2010 ($MD=3,23$). Si ritiene utile ricordare che nell'adiacente distretto Pedemontana Nord, al confine con la PS, nel comune di Mel, è localizzato l'epicentro del terremoto del 14 ottobre 1980 di $MD=4,0$ (Slejko *et al.*, 1989). Anche questo evento, ad oggi il terremoto più forte occorso in tempi recenti nel distretto Pedemontana in senso lato, presenta una prevalente componente trascorrente.

Dal punto di vista della neotettonica è in atto un processo di sollevamento causato da compressione con forte raccorciamento crostale che raggiunge valori massimi nel Friuli centrale.

Le strutture neotettoniche più importanti sono rappresentate in primo luogo dai sovrascorrimenti orientati ENE-OSO e subordinatamente da back-thrust e faglie subverticali con componenti più o meno rilevanti di trascorrenza orientate NO-SE (Zanferrari *et al.*, 1982). Modelli cinematici del movimento della microplacca Adria, basati su misure geodetiche, stimano una convergenza in quest'area di 2-3 mm/a (Serpelloni *et al.*, 2005; Bechtold *et al.*, 2009). Sulla base di datazioni di terrazzi fluviali, Benedetti *et al.* (2000) attribuiscono un tasso costante di scorrimento di 1,8-2 mm/a alla sola faglia del Montello negli ultimi 300.000 anni; pur in presenza di ulteriori indicatori di movimento nell'area (ad es. Balestri *et al.*, 1988; Mozzi, 2005) tali stime sono dibattute, e hanno motivato la realizzazione di campagne di misure specifiche (Serpelloni e Cavaliere, 2010) i cui risultati non sono ancora disponibili.

4.3 Sismicità storica

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

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

Tra i terremoti storici più rilevanti con epicentro in Veneto si possono ricordare:

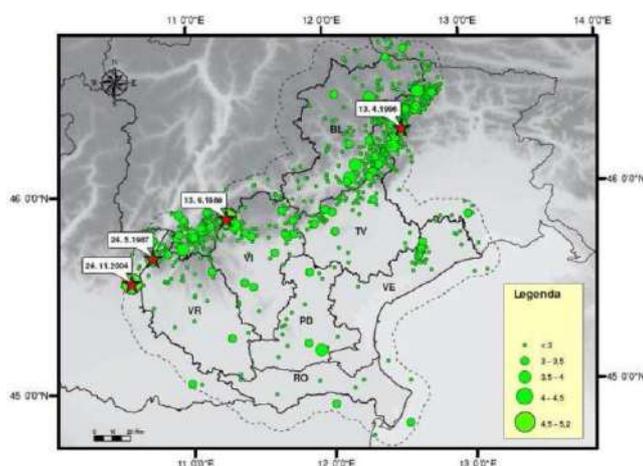
Data	Area epicentrale	I MCS MAGNITUDO	Descrizione
03/01/1117	veronese	IX-X Mw=6.7	I danni maggiori si registrarono a Verona, ma interessarono anche la valle dell'Adige e, verso sud, il territorio fino ai primi rilievi emiliani.
04/11/1268	trevigiano	VII-VIII Mw=5.4	Colpita la provincia di Treviso. Danni gravi a Treviso, Feltre, Asolo. La scossa fu fortemente risentita a Padova.
25/02/1695	asolano	X Mw=6.5	Gravi danni in larga parte del Veneto in particolare nell'alto trevigiano, a sud del monte Grappa. Colpita la città di Asolo. Centinaia le vittime.
12/06/1836	Bassano	VIII Mw=5.5	Le località più danneggiate furono Liedolo, Fonte, Sant'Eulalia: Complessivamente crollarono un centinaio di case. Sentita fortemente anche a Venezia.

11/08/1866	monte Baldo	VII Mw=4.9	Danni nelle località poste sulla riva orientale del Lago di Garda, in particolare ad Assenza, Cassone, Castelletto, Malcesine.
29/06/1873	bellunese	IX-X Mw=6.3	L'area più colpita dalla scossa fu il bellunese, ma gravi danni subirono gli edifici dei paesi compresi tra Belluno, Pordenone e Conegliano Veneto (TV). Il centro più danneggiato fu Belluno e si osservarono lesioni anche a Gorizia, Pordenone, Trieste, Udine, Verona e Vicenza. 80 le vittime.
29/04/1876	monte Baldo	VII Mw=4.9	La scossa provocò danni a Cassone, Malcesine, Ferrara di Monte Baldo.
18/09/1882	monte Baldo	VII Mw=5.0	Interessati i paesi della costa orientale del Lago di Garda, con danni lievi nei paesi di Cassone e Castelletto di Brenzone. Risentita a Verona.
07/06/1891	valle d'Illasi	VIII-IX Mw=5.9	I danni più gravi a Castelvero, Badia Calavena, Marzemigo. Una ventina i paesi danneggiati in modo significativo (superiore o pari al VII MCS). La scossa fu risentita fino a Trieste, Auronzo, Bormio, Chiavenna, Domodossola, Torino, Asti, Genova.
19/02/1932	monte Baldo	VII-VIII Mw=5.0	La scossa provocò danni a diverse località della sponda veronese del Lago di Garda, tra le quali Albisano, S. Zeno, Garda.
18/10/1936	Alpago-Cansiglio (BL-PN)	IX Mw=6.1	Colpita la zona di confine fra le attuali province di Belluno, Treviso e Pordenone con i massimi effetti a sud dell'altopiano del Cansiglio nei paesi di Fiaschetti, Stevenà e Villa di Villa. Gravissimi danni anche a nord del Cansiglio, nella conca d'Alpago in particolare nelle località di Puos d'Alpago, Cornei e Villa.

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 e i 15 km di profondità. Solo l'11% degli eventi si colloca a profondità maggiore (fino a 22 km).

Nella figura seguente è riportata la distribuzione di tutti i terremoti registrati da OGS distinti per classi di magnitudo di durata M_D ¹. Gli eventi con $M_D > 4$, i cui epicentri ricadono nel territorio regionale o in prossimità di esso, sono identificati con una stella rossa.



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

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

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 Pianezze è stata fatta utilizzando il database macrosismico italiano DBMI15 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (a cura di *Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>); rispetto al precedente DBMI11, raccomandato nelle linee guida della Regione Veneto per la realizzazione dello studio della compatibilità sismica, il DBMI15 ne rappresenta l'integrazione e l'aggiornamento, per cui è stato consultato per estrarre le seguenti informazioni.*

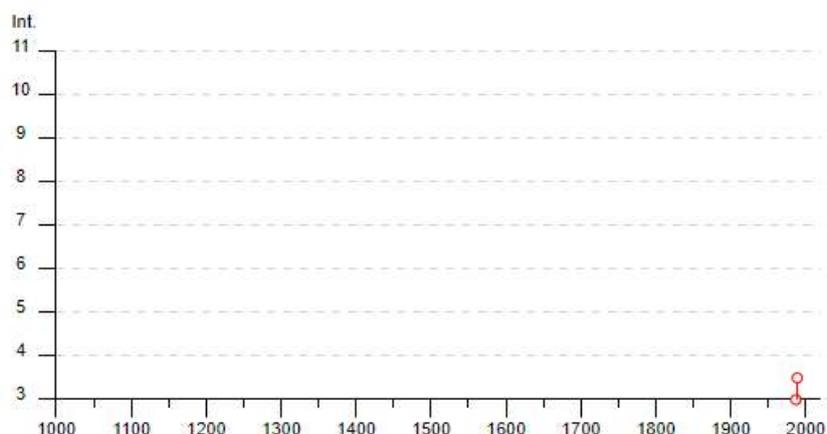
Nello specifico, il comune di Pianezze appare 4 volte nel Database sopra citato con intensità registrata superiore o uguale a 4. Nella tabella seguente sono stati elencati i vari eventi registrati, con indicati, oltre all'intensità in scala MCS al sito in esame (I), la data (anno, mese, giorno, ora, minuto) in cui si è verificato l'evento Ax, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Pianezze

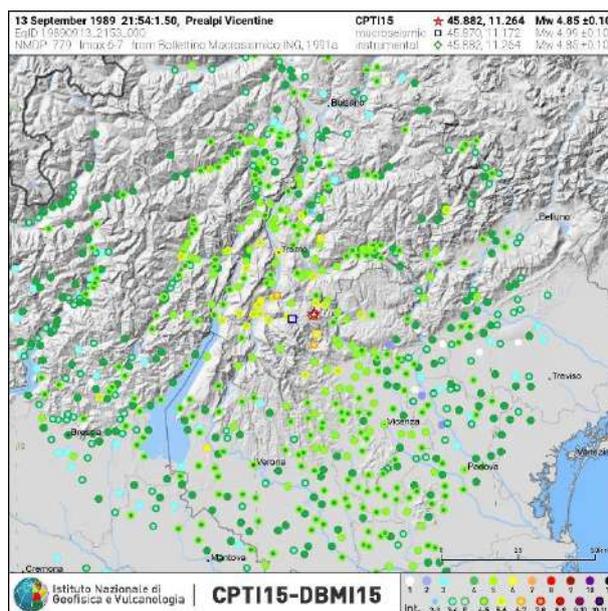
PlaceID IT_24975
 Coordinate (lat, lon) 45.739, 11.626
 Comune (ISTAT 2015) Pianezze
 Provincia Vicenza
 Regione Veneto
 Numero di eventi riportati 4

Effetti		In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw	
NF	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27	
3	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71	
3-4	1989	09	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85	
NF	2001	07	17	15	06	1	Val Venosta	657	5-6	4.78	

Il grafico seguente ricostruisce la storia sismica di Pianezze (per terremoti con intensità al sito superiore o uguale a 3) tra gli anni 1000 e fino al 2020.



L'evento registrato il giorno 13 settembre 1989 è stato quello di maggiore intensità rilevato nel territorio di Pianezze. Secondo i cataloghi oggi disponibili (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., Antonucci A., 2022. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>) la magnitudo Mw dell'evento del 1989 sarebbe stata pari a 4,85 e, a Pianezze, si sarebbe avvertito con un'intensità MCS di 3-4.



4.4 Faglie capaci e sorgenti sismogenetiche

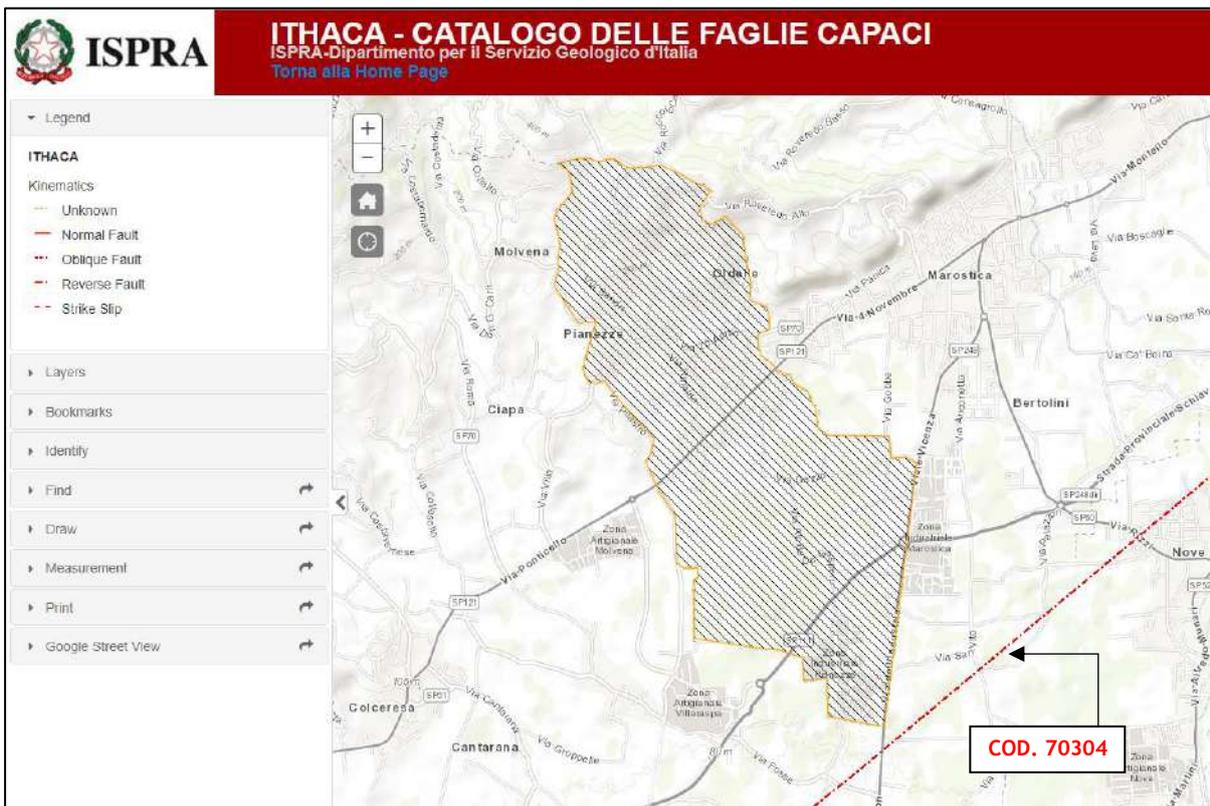
Per quanto riguarda il tema delle faglie capaci (faglie che si sono rotte almeno una volta negli ultimi 40.000 anni, raggiungendo la superficie e producendo una rottura del terreno) e l'inquadramento delle sorgenti sismogenetiche più prossime all'area di Pianezze, si è fatto riferimento agli studi condotti dagli esperti scientifici e riportate nei cataloghi ITHACA e DISS 3.3.0.

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

ITHACA (ITHACA Working Group (2019). ITHACA (ITaly HAZard from CApable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019. ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal (<http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>) 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.

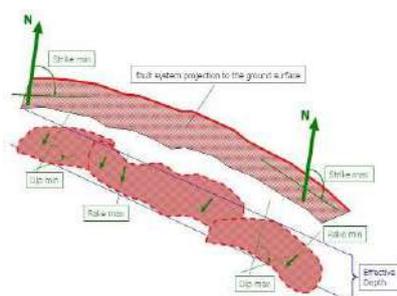
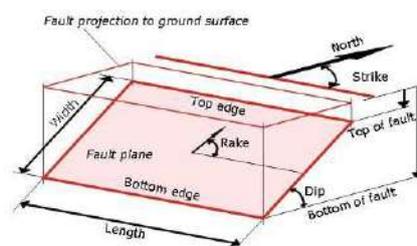
Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie: dalla sua consultazione è stato possibile evidenziare la presenza di una faglia attiva e capace nelle immediate vicinanze del territorio in esame.

Nome faglia	Thiene - Bassano
Codice faglia	70304
Regione	Veneto
Sistema	Linea di Aviano
Cinematismo	Inversa
Ordine	Primaria
Direzione media	240
Direzione di inclinazione	NW
Lunghezza (km)	24.8
Scala di rilevamento	1:500.000
Evidenze in superficie	Sottomarine (taglia il pavimento marino)
Ultima attività	Storica (<3000 anni)
Evidenze della capacità	Deformazioni nei depositi del Pleistocene – Olocene



La mappa dell'INGV riportata di seguito, ricavata dal DISS 3.3.0 (DISS Working Group (2021). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>*), 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.



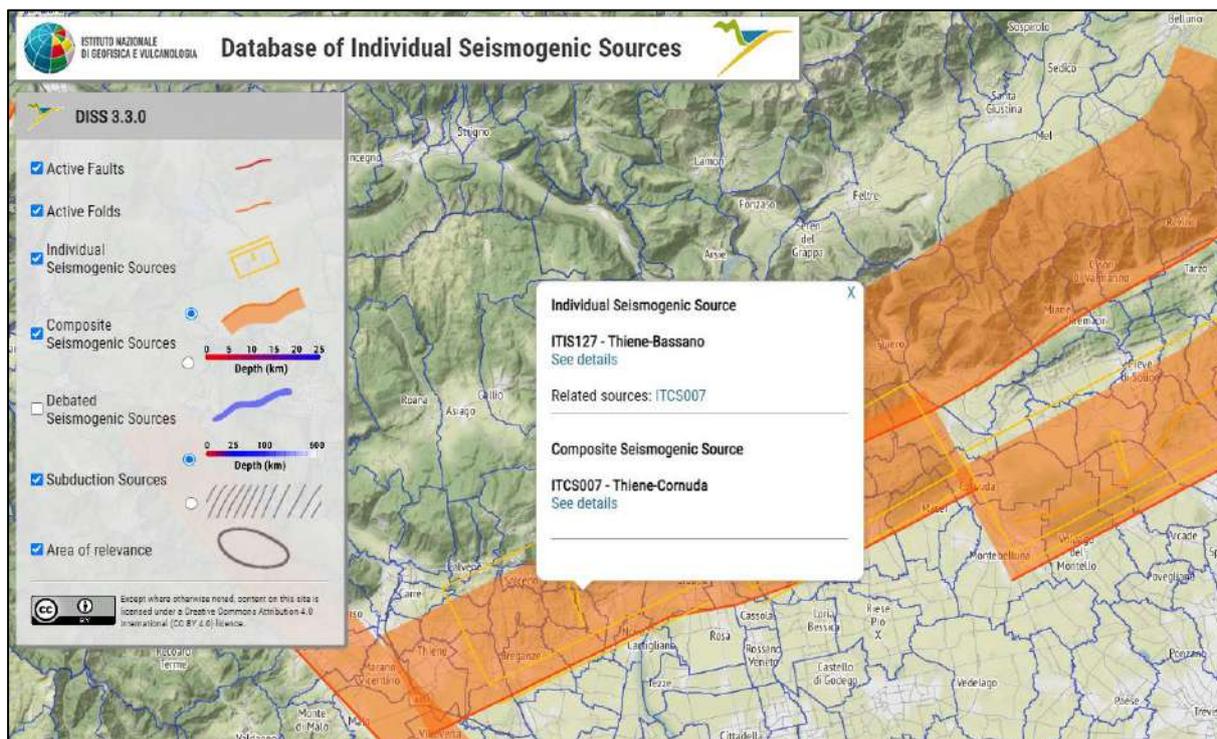
Sorgenti composite (CS):

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

Sorgenti dibattute (DS):

sono zone proposte in letteratura come potenziali sorgenti, ma considerate ancora non sufficientemente attendibili per entrare nel database.

La mappa del DISS include tutto il territorio di Pianezze all'interno della Sorgente composita (CS) ITCS 007 "Thiene-Cornuda", di cui fa parte la Sorgente individuale (IS) ITIS127 "Thiene - Bassano", già riscontrata all'interno del database ITHACA.



Mapa DISS 3.3.0.

Questa sorgente composta si trova lungo le pendici sud-occidentali del Veneto e appartiene al sistema di thrust che borda la pianura veneto-friulana nell'Italia nord-orientale. Questo fronte è un sistema di faglie convergenti da S a SE della catena sudalpina orientale e si pensa che ospiti la Convergenza ca. N-S tra Africa (qui la microplacca adriatica) ed Europa.

Il ruolo e la geometria complessiva di questa sorgente si basa sul sistema di thrust (di cui fa parte la sorgente individuale “Thiene - Bassano”) che bordano la pianura veneta e friulana per oltre 100 km (“Linea di Aviano” secondo Castaldini e Panizza, 1991). L'attività dei thrust è stata dimostrata da terrazze sollevate, valli fluviali abbandonate e aree di cedimento tettonica studiate da Galadini et al. (2005). Si ritiene che questo settore della catena delle Alpi Meridionali nord-orientali sia caratterizzato da terremoti di grande magnitudo (Mw 6+, come l'evento del 1695) che sono generati da segmenti del thrust frontale, vergente da S a SE, mentre eventi di minore entità (Mw 5+), ma potenzialmente distruttivi, possono essere generati da strutture secondarie, come la back-thrust del Monte Grappa.

Questa sorgente è tagliata al centro da strutture trasversali che fungono da svincoli tra le porzioni sud-occidentali e nord-orientali del thrust.

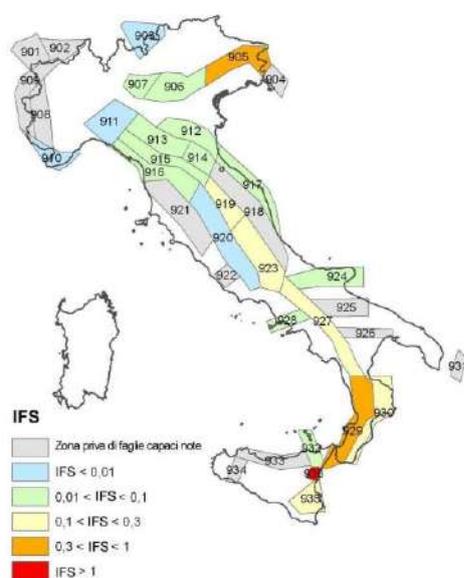
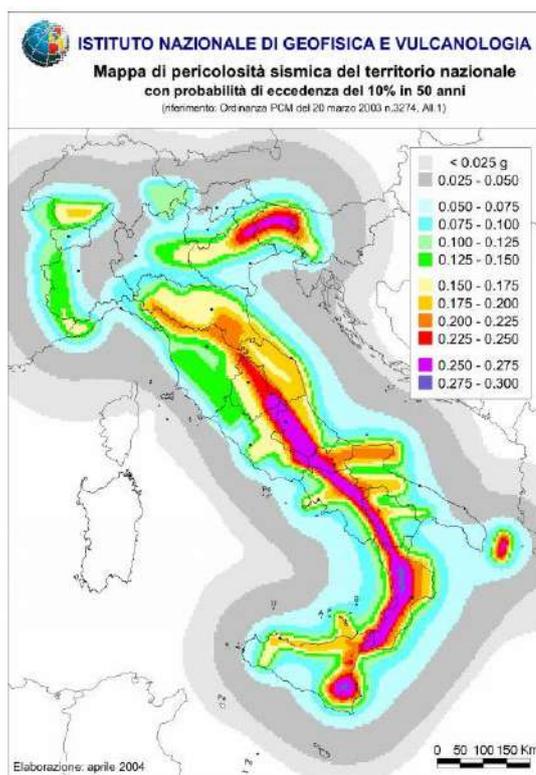
Alcuni segmenti di questa sorgente sono stati associati ai principali terremoti che hanno colpito questa regione.

Minima profondità (km)	0.5
Massima profondità (km)	6.5
Direzione (°)	240 - 245
Inclinazione(°)	30 - 40
Rake (°)	80 -100
Velocità di movimento (mm/anno)	0,68 - 0,96
Magnitudo massima	6,5

4.5 Zonazione sismica nazionale

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

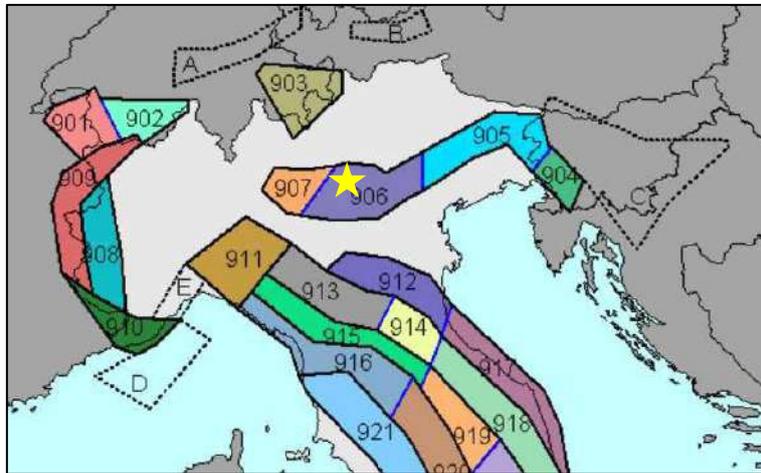
All'interno della ricerca eseguita per tale redazione, è stata elaborata una nuova zonazione sismogenetica, denominata ZS9 che divide tutto il territorio italiano in 36 zone. Tale zonizzazione è stata condotta tramite l'analisi cinematica degli elementi geologici (cenozoici e quaternari) coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale; essa, pur basandosi ampiamente sull'impianto generale e sul *background* informativo della precedente zonazione ZS4 (Scandone e Stucchi, 1996), rappresenta un suo sostanziale ripensamento, alla luce delle evidenze di tettonica attiva, delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite nei primi anni del decennio (con i fondamentali contributi del *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS), che, combinando dati geologici, storici e strumentali, censisce le sorgenti in grado di produrre terremoti di magnitudo 5.5 e superiore) e del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (all'epoca della redazione della mappa CPTI2, ora arrivato alla versione CPTI11). Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la Carta delle Zone Sismogenetiche del territorio nazionale.



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

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

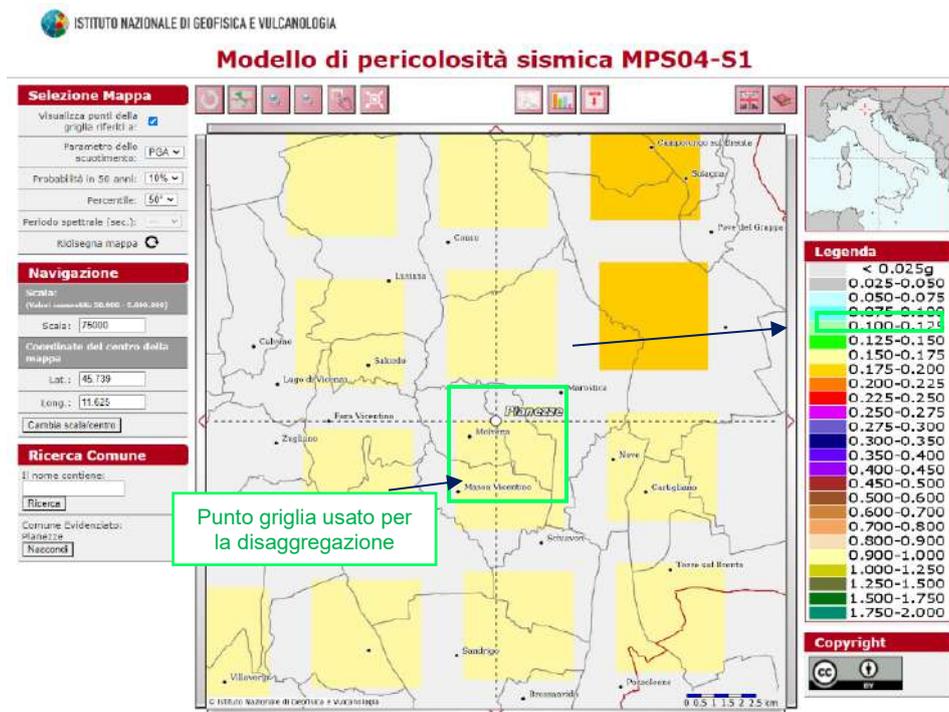
Il comune di Pianezze si posiziona all'interno della zona sismogenetica n. 906 della figura seguente che comprende la fascia pedemontana che da Bassano prosegue fino al lago di Garda. Il meccanismo di fagliazione responsabile dei terremoti che si verificano in questa zona è di tipo faglia inversa, con una profondità ipocentrale media stimata di 5÷8 km.



Dettaglio della Carta delle zone sismogenetiche ZS9 (Meletti e Valensise, marzo 2004).

4.6 Pericolosità sismica di riferimento

La distribuzione e la caratterizzazione delle zone sismogenetiche finora riconosciute e descritte in precedenza è stata tradotta in una Carta di Pericolosità Sismica, valida su tutto il territorio nazionale ed entrata in vigore con l'O.P.C.M. n° 3519 del 28/04/2006. Nella carta, della quale la figura seguente rappresenta l'estratto per il comune di Pianezze, 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 subpianeggianti 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) subpianeggianti (categoria topografica T1 da N.T.C. 2018)

Pertanto, secondo l'O.P.C.M. n° 3519 del 28/04/2006, la cui applicazione è stata definita dalla Regione Veneto con D.G.R.V. n° 71 del 22/01/2008, il territorio oggetto del presente studio di Microzonazione Sismica è inseribile nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s compreso tra 0,150g e 0,175 (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni - mappa 50° percentile), ovvero in Zona 2, come classifica la tabella riportata sotto, estratta dall'O.P.C.M. n° 3519 stessa.

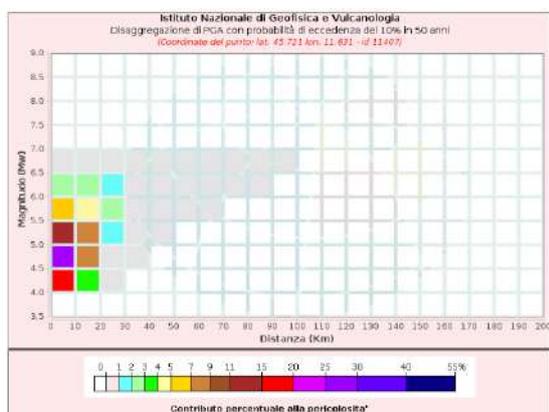
a) Ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s, secondo lo schema seguente:

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

Infatti, con la nuova D.G.R. n.244 del 09 marzo 2021, con cui è stato aggiornato l'elenco delle zone sismiche del Veneto, il Comune di Pianezze è passato dalla zona sismica 3 alla zona sismica 2.

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'INGV e sono relativi al punto della griglia definito nella figura precedente (Carta di Pericolosità Sismica dell'INGV).

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



Distanza (Km)	Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 45.721 lon. 11.631 - id 11467)										
	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	0.0000	15.7000	26.4000	12.9000	5.4300	2.0000	0.1990	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	3.3100	8.8900	7.3200	4.8700	2.6300	0.3200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0794	0.9140	1.7800	2.0500	1.8300	0.2080	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0142	0.3280	0.7330	0.9180	0.1850	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9191	0.2190	0.4080	0.0946	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0383	0.1600	0.0433	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021	0.0565	0.0196	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0153	0.0087	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026	0.0033	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Valori Medi											
Magnitudo	Distanza					EpiBos					
5.05	10.0					0.776					

Si fa comunque presente che, come tutte le zone sismogenetiche del territorio italiano, anche quella contrassegnata dal n° 906 e precedentemente descritta viene considerata omogenea ai fini della

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

Secondo il paragrafo 2.8 degli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”, la magnitudo massima attesa nella Zona n° 906 vale $M_{wmax} = 6,60$.

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

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

5 MICROZONAZIONE SISMICA. PRINCIPI FONDAMENTALI E FINALITÀ

5.1 Introduzione

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

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

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

5.2 La natura del problema

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



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

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

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

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

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

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

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 Negrar, 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.

5.3 Finalità e livelli di approfondimento

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

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

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

In sintesi:

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

Va sottolineato che l'adozione di tre livelli consente una grande flessibilità nelle applicazioni, in quanto permette di adeguare il livello di approfondimento alle risorse e ai tempi disponibili, nonché al tipo di utilizzo. Si ritiene che, 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 territorio comunale di Pianezze è stato eseguito uno studio di MS di Livello 1 su tutto il territorio comunale secondo le modalità riportate negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome il 13/11/2008 e s.m.i..

Lo studio di microzonazione sismica (MS) di Livello 1 è consistito nella raccolta ed elaborazione dei dati esistenti di natura geologica, geomorfologica, idrogeologica, geotecnica e sismica al fine di

pervenire ad una prima suddivisione del territorio comunale studiato in zone omogenee dal punto di vista del comportamento sismico.

In particolare, come sarà possibile leggere nei paragrafi seguenti, nello studio di MS1 è stato dimostrato che tutto il territorio di Pianezze è da considerarsi suscettibile di amplificazione sismica, in quanto il moto sismico di base è modificabile rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, con alcune zone instabili per instabilità di versante.

Successivamente, è stato eseguito uno studio di approfondimento operante al Livello 3 su tutte le aree urbanizzate e urbanizzabili, che si è posto come obiettivo principale di valutare e quantificare in modo approfondito la risposta sismica locale stimando i fattori di amplificazione FA tramite modellazioni numeriche di risposta sismica locale.

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

6.1 Indagini pregresse e di nuova realizzazione

Le ricerche, finalizzate alla raccolta di indagini pregresse, sono state condotte attraverso la consultazione del catalogo ISPRA, del PATI comunale, del database personale degli scriventi e presso gli archivi dell'ufficio tecnico. In particolare, seppur sono state recuperate indagini significative sia dal punto di vista geologico che geofisico, al fine di caratterizzare opportunamente tutti i litotipi presenti nel comune di Pianezze sono state condotte alcune misure sismiche in prossimità dei punti ritenuti più significativi; le indagini condotte sono state schedate e riportate in allegato. In particolare, sono state effettuate e recuperate:

- 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;
- n° 17 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (*Refraction Microtremor*) sviluppate in array lineari con geofoni ad asse verticale per la ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo tramite la misura della velocità di propagazione delle onde S.

6.1.1 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 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 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.

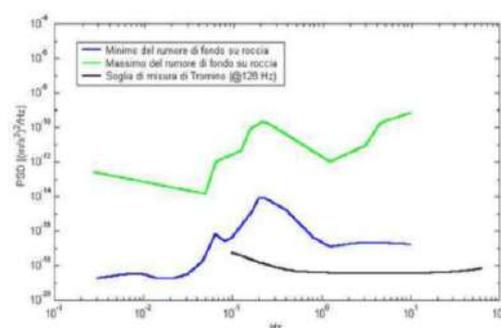
Possiamo scrivere questo come:

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 S.r.l. 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.



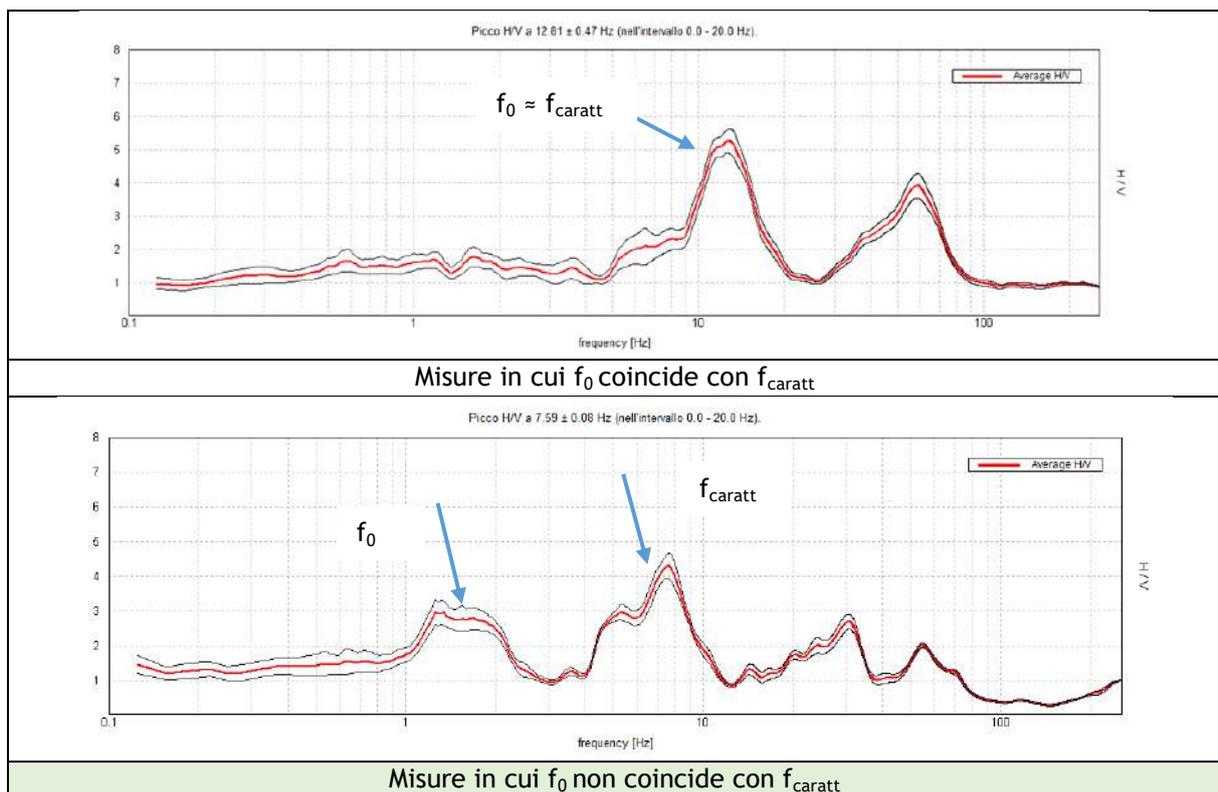
Sintesi dei risultati

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.

Analizzando la “Carta delle frequenze” e la “Carta delle indagini” successivamente descritte, si vede come sia stato indagato integralmente il territorio previsto dall’incarico e come le n° 30 misure H.V.S.R. eseguite in questa fase, unite alle pregresse recuperate dall’archivio del sottoscritto, siano state distribuite in modo da interessare completamente le località da microzonare del comune di Pianezze: la distribuzione delle prove è stata ottimizzata per vedere il “modo” di rispondere dei vari depositi alle sollecitazioni sismiche.

Durante le fasi interpretative delle misure H.V.S.R. si è cercato di individuare la frequenza “fondamentale” e quella “caratteristica” considerando la finestra frequenziale di 0,1-20 Hz, che risulta essere quella di normale interesse ingegneristico-strutturale. Nello specifico, la prima frequenza corrisponde a quella con il valore più basso (f_0) mentre la seconda a quella con il rapporto H/V più alto. Nella tabella seguente è riportata esclusivamente la sintesi dei risultati delle misure H.V.S.R. eseguite in questa fase mediante Tromino®.

Nel comune di Pianezze, è stato possibile osservare un comportamento differenziato tra la zona nord in cui affiora prevalentemente il substrato geologico e quella a sud nei depositi fluvioglaciali. In particolare, all’interno della stessa misura, nella zona settentrionale è visibile quasi sempre una sola frequenza di risonanza, quindi c’è coincidenza tra frequenza fondamentale e frequenza caratteristica, mentre nella zona a sud si identifica una risonanza alle medio-alte frequenze (f_{caratt}), associabile a contrasti superficiali che si differenzia dalla frequenza fondamentale (f_0).



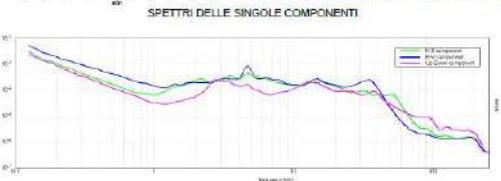
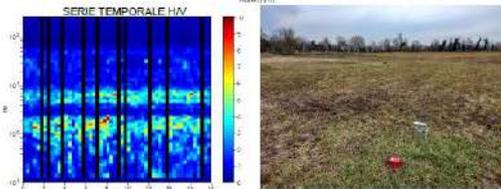
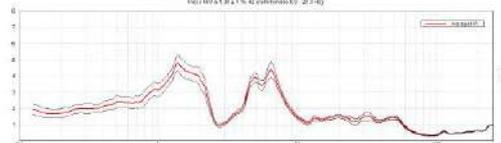
In allegato fuori testo sono invece riportati i report dei risultati di tali prove. In particolare, come è possibile osservare da un estratto riportato a seguire, per ogni misura sono stati indicati:

- i grafici rappresentanti il rapporto spettrale H/V registrato e l’andamento delle tre componenti spettrali;
- la time history del segnale e la documentazione fotografica;
- la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (*Linee guida 2005*).

CODICE PROVA	F ₀ "FONDAMENTALE" [Hz] (INTERVALLO 0,1 - 20 Hz)	FREQUENZA "CARATTERISTICA" [Hz] (INTERVALLO 0,1 - 20 Hz)	CONDIZIONE DI AMPLIFICAZIONE (INTERVALLO 0,1-20 Hz)
024077P17	2.8	2.8	si
024077P18	8.5	8.5	si
024077P19	0.9	7.5	si
024077P35	1.7	5.3	si
024077P21	1.2	7.7	si
024077P20	4.7	4.7	si
024077P22	1.3	10.6	si
024077P23	1.4	6.4	si
024077P24	1.3	7.6	si
024077P26	7.8	7.8	si
024077P27	2.9	2.9	si
024077P28	12.3	12.3	si
024077P25	1.4	6.5	si
024077P42	Misura non interpretabile		
024077P29	11.4	11.4	si
024077P43	5.5	17.9	si
024077P30	1.4	8.9	si
024077P44	1.4	6.0	si
024077P31	4.3	4.3	si
024077P32	6.6	6.6	si
024077P33	5.0	5.0	si
024077P34	3.7	3.7	si
024077P45	1.2	5.6	si
024077P2	3.75	3.75	si
024077P4	4.9	4.9	si
024077P46	6.5	6.5	si
024077P9	7.5	7.5	si
024077P11	1.5	6.2	si
024077P13	0.9	7.5	si
024077P15	-	-	no

MS PIANEZZE, PIANE6
 Strumento: TE3-0005/01-13
 Formato dati: 16 bit
 Fondo scala (mV): 51
 Inizio registrazione: 16/02/2022 14:22:32 Fine registrazione: 16/02/2022 14:40:32
 Nom canali: NORTH SOUTH, EAST WEST, UP DOWN; north south, east west; up down
 Posizione GPS: 011°38.4577' E, 46°44.1646' N (93.4 m)
 Tempo UTC avanzato al primo campione di registrazione: non disponibile in questo modo di acquisizione a 0 + 0 campioni
 Num. satelliti: 05
 Durata registrazione: 0h 18'00"
 Freq. campionamento: 512 Hz
 Lunghezza finestra: 20 s
 Tipo di licciamento: Triangular window
 Licciamento: 10%
 Analizzato 81% tracciato (selezione manuale)

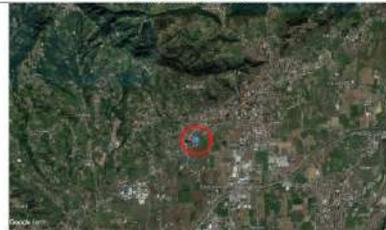
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *GeoG* prima di interpretare la tabella seguente].
 Picco HVV a 1.38 ± 1.16 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile					
[Tab. 3 dovrebbe essere sostituita]					
$f_0 > 10 / L_w$	1.38 > 0.50	OK			
$R_{H/V} > 20/3$	12.10 > 20/3	OK			
$\sigma_{H/V} < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$, se $f_0 > 0.5$ Hz	Superiore: 0 volte su 67	OK			
$\sigma_{H/V} < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$, se $f_0 < 0.5$ Hz					
Criteri per un picco H/V chiaro					
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]					
Esiste f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_{H/V} / 2$	0.710 Hz	OK			
Esiste f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_{H/V} / 2$	2.313 Hz	OK			
$A_0 > 2$	4.82 > 2	OK			
$f_{max}(A_{H/V}(f) \pm \sigma_{H/V}(f)) = f_0 \pm 5\%$	0.5458 < 0.55	OK	NO		
$\sigma_{H/V} < 8(f_0)$	1.16208 < 0.1375	OK	NO		
$\sigma_{H/V} < 9(f_0)$	0.6619 < 1.75	OK			
L_w	lunghezza della finestra				
$n_c = L_w \cdot n_w \cdot f_0$	numero di finestre usate nell'analisi				
f	frequenza attuale				
f_0	frequenza del picco H/V				
$\sigma_{H/V}$	deviazione standard della frequenza del picco H/V				
$\sigma_{H/V}(f)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_{H/V} < 8(f_0)$				
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0				
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f				
f^*	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^*) < A_{H/V} / 2$				
f_{max}	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f) = A_{H/V} / 2$				
$\sigma_{H/V}(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_{H/V}(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa				
$\sigma_{H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$				
$\sigma_{H/V}(f)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_{H/V} < 8(f_0)$				
Valori di soglia per $\sigma_{H/V}(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\sigma_{H/V}(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\sigma_{H/V}(f_0)$ per $\sigma_{H/V}(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.75	1.58
$\log \sigma_{H/V}(f_0)$ per $\sigma_{H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

UBICAZIONE INDAGINI



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

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità, ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste lunghezze d'onda interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche che sono variabili, appunto, con la profondità. Questo comportamento viene definito *dispersione in frequenza* ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente, le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario, le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico-matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati con caratteristiche elastiche lineari.

La procedura Re.Mi. è un metodo di prospezione sismica sviluppato presso l'Università di Reno in Nevada (Louie, 2001) e viene classificato come *metodo passivo* in quanto utilizza il rumore ambientale. I vantaggi derivanti da questo metodo sono molteplici poiché è veloce e semplice da usare in fase di acquisizione, raggiunge una buona profondità e risoluzione d'indagine ma, soprattutto, permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati. La fase di acquisizione deve essere effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni da adottare in sito e nella pianificazione della registrazione. Tutto è finalizzato alla registrazione di dati contenenti la miglior informazione possibile riguardo alla propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale-rumore.

Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, rappresenta nel caso Re.Mi. la fonte del segnale utile che si vuole registrare. I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh dai modi superiori e dall'*aliasing* spaziale: risulta quindi necessario soddisfare la condizione di *omnidirezionalità* delle sorgenti, cioè si suppone che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni.

I tempi di registrazione dei microtremori sono decisamente più elevati rispetto alle indagini di tipo attivo. La registrazione viene analizzata in finestre temporali che variano dai 10 ai 30 secondi. Sono da considerare la lunghezza dello stendimento L e la distanza intergeofonica Δx , che agisce sul segnale come una specie di filtro in frequenza; supponendo, infatti, che il segnale arrivi da tutte le direzioni, maggiore è la spaziatura, minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa: se la frequenza è più bassa, aumenta la profondità d'indagine. La fase più delicata è quella del *data processing*, che consiste nel trattamento dei dati acquisiti con l'obiettivo di stimare la velocità di fase delle onde di Rayleigh (V_r), che sono correlabili con le velocità V_s di propagazione delle onde S ($V_s \approx 1,1 V_r$). Le varie tecniche di processing trasformano l'informazione registrata nel dominio $x-t$ (spazio tempo), in un dominio dove l'energia associata all'evento è funzione della frequenza e di altre variabili. Tutto questo allo scopo di localizzare attraverso lo spettro la densità di energia maggiore, alla quale sono di solito associate le onde di Rayleigh. Con procedura manuale vengono selezionati dei punti sullo spettro, che andranno a formare la curva di dispersione sperimentale.

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

Per ottenere un elevato dettaglio del segnale, il *sampling rate* utilizzato è stato di 512 Hz. La durata (lunghezza temporale) del segnale registrato per ogni misura è stato di circa 6 minuti. Il software utilizzato per l'analisi spettrale è [Grilla v.9.7.0 release 2021](#).

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



Sintesi dei risultati

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.

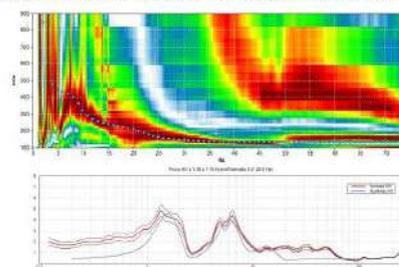
L'interpretazione degli *array* è stata eseguita in modo congiunto con le misure H.V.S.R. accoppiate ad esse. L'utilizzo incrociato delle due tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismo-stratigrafico del sottosuolo robusto e affidabile in corrispondenza della zona d'interesse. L'indagine Re.Mi. ha individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle onde S mentre la prospezione passiva a stazione singola (H.V.S.R.), ha stimato il grado di rigidità della copertura e del substrato di riferimento.

A seguire si riporta un esempio di profilo verticale delle onde di taglio (V_s) e di grafico delle curve di dispersione rappresentativa del comune di Pianezze. Infatti, le indagini eseguite sono risultate coerenti tra loro, mostrando un modello sismo-stratigrafico omogeneo nei vari litotipi investigati. Si rimanda all'allegato fuori testo per la lettura completa delle schede con i risultati di ogni singola prova.

TROMINO® *Grilla*
www.tromino.eu

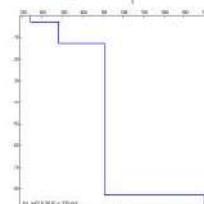
Misura sismica ReMi 6 – Comune di Pianezze (VI) – INVERSIONE CONGIUNTA	
Coordinate in WGS 84 – 33N	
Inizio Linea	Fine Linea
Latitudine: 45.736070°	Latitudine: 45.736133°
Longitudine: 11.640780°	Longitudine: 11.641381°
Start recording: 16/02/2022 14:22:32	End recording: 16/02/2022 14:40:32
Trace length: 0h18'00"	Sampling rate: 512 Hz
Array geometry (x): 0.0 4.0 8.0 12.0 16.0 20.0 24.0 28.0 32.0 36.0	

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
2.80	2.80	140
12.80	10.00	280
82.80	70.00	510
inf.	inf.	1000

$V_{s_eq}(0.0-30.0) = 335\text{m/s}$



UBICAZIONE INDAGINI



REPORT FOTOGRAFICO



6.2 Modello geosismico del sottosuolo. Interpretazione e incertezze

La valutazione della risposta sismica locale, sia con approccio semplificato sia con modellazioni avanzate, non può prescindere da un'accurata ricostruzione del modello geosismico del sottosuolo tramite l'utilizzo di indagini geofisiche specifiche. Le misurazioni effettuate in array (Re.Mi.) ed a stazione singola (H.V.S.R.), hanno permesso di ricostruire con una certa precisione i modelli sismo-stratigrafici locali. Da una parte, i segnali si presentano con un'elevata coerenza nel modo fondamentale nelle misure Re.Mi. e, dall'altra, privi di rumore di fondo nelle misure a stazione singola. Inoltre, la presenza di un segnale 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.

La profondità del *bedrock* sismico ed il grado di rigidità della copertura, come ben noto, contribuiscono in maniera determinante nella valutazione della risposta sismica locale, amplificando gli effetti in modo considerevole. Tali amplificazioni saranno tanto più marcate quanto più elevati sono i contrasti di rigidità tra i vari sismo-strati.

I risultati hanno evidenziato un modello geologico del sottosuolo generalmente diversificato, soprattutto per quanto riguarda le rigidità dei litotipi investigati e gli spessori della copertura più superficiale che, come ben noto, contribuisce in maniera determinante nella valutazione della risposta sismica locale, amplificando gli effetti in modo considerevole. Tali amplificazioni saranno tanto più marcate quanto più elevati sono i contrasti di rigidità tra i vari sismostrati.

L'integrazione di tutte le informazioni tratte dalla geologia di superficie e dai dati di sottosuolo provenienti dai sondaggi e dalle indagini HVSR realizzate nell'ambito del presente studio hanno permesso la ricostruzione di un modello geologico-tecnico del sottosuolo presente al di sotto del centro urbano di Pianezze.

Nella zona settentrionale del territorio comunale affiorano i substrati geologici definiti dalle formazioni di Salcedo, Calcare di Lonedo e formazioni vulcanoclastiche. In linea generale le velocità registrate variano nei primi metri tra 300-400 m/s per i litotipi meno competenti (Salcedo e vulcaniti) e > di 500 m/s per quelli più competenti (calcarei di Lonedo). Il substrato sismico è riscontrato a profondità variabili tra 20-40 m dal p.c. locale. Nel caso delle formazioni vulcaniche, si presentano fratturate/alterate nella parte superiore (< di 20 m dal p.c. locale) per poi diventare maggiormente competenti in profondità. Inoltre, tutti i substrati, possono presentare una copertura eluvio-colluviale per spessori minori di 3 m.

Procedendo verso la zona meridionale del territorio, i substrati sono progressivamente celati da una copertura eluvio colluviale, che passa gradualmente ai depositi ghiaiosi-limosi di origine fluvioglaciale.

I dati litostratigrafici censiti indicano che le perforazioni non hanno mai raggiunto il substrato roccioso, per cui le valutazioni sullo spessore dei depositi alluvionali derivano unicamente dall'elaborazione delle indagini geofisiche. L'elaborazione congiunta degli spettri ottenuti con le onde di superficie e dei diagrammi H.V.S.R., ha consentito di valutare spessori complessivi della copertura alluvionale, a copertura del substrato sismico, variabili tra un minimo di 50 m circa e, nella zona meridionale del comune, un massimo di 100-110 metri. Dal punto di vista sismostratigrafico, spesso è presente un primo strato, avente spessore variabile tra 10 e 20 m e velocità delle onde di taglio inferiore a 300 m/s, mentre i sismostrati sottostanti, sono caratterizzati da Vs comprese tra 400 m/s e 550 m/s.

7 ELABORATI CARTOGRAFICI

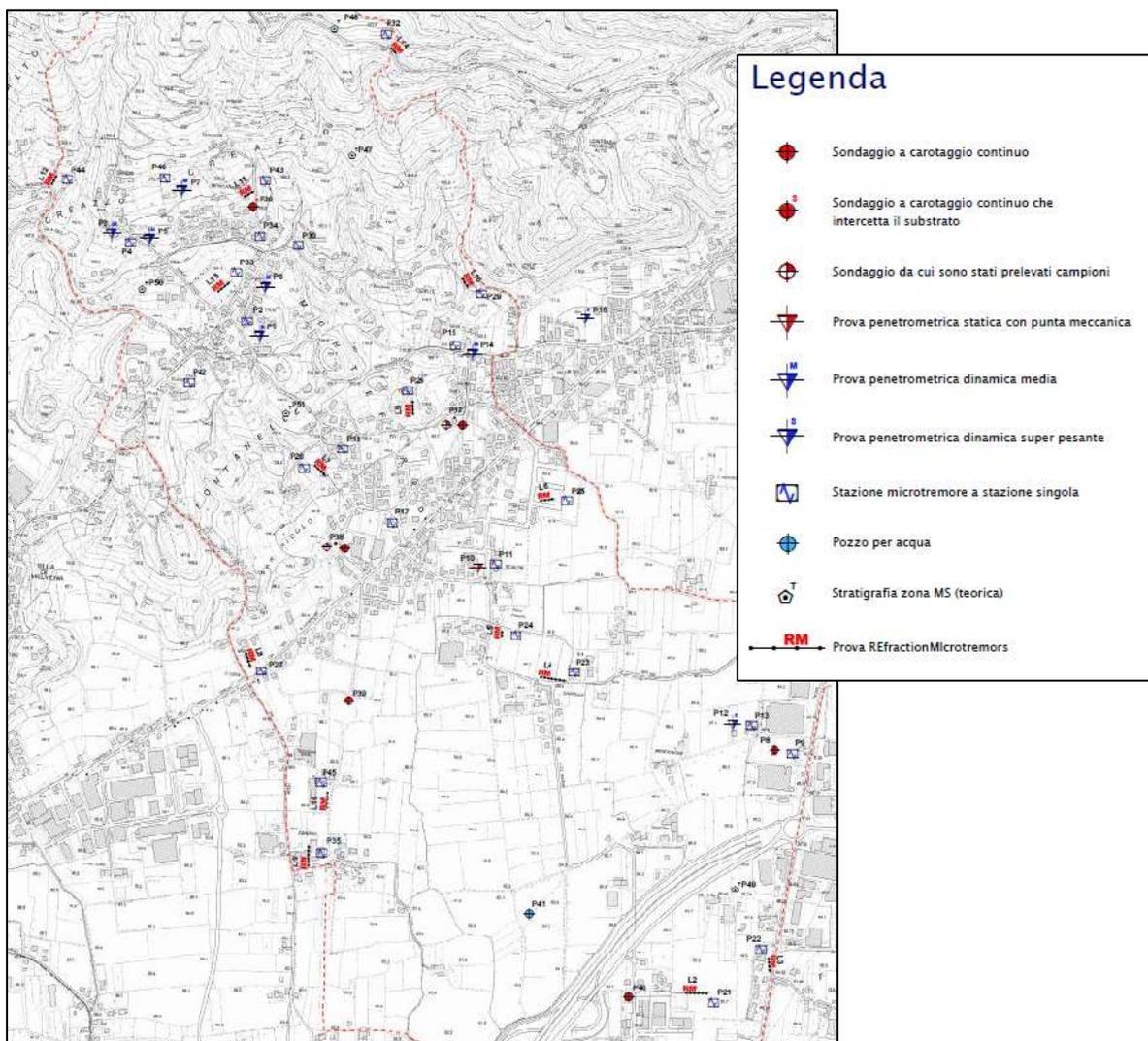
Nel presente capitolo si riportano gli elaborati cartografici relativi al Livello 1 di Microzonazione sismica che sono stati prodotti in virtù dei risultati delle indagini geognostiche eseguite e dei rilievi di dettaglio condotti nel comune di Pianezze, durante il presente lavoro.

7.1 Carta delle indagini

Si tratta della cartografia elaborata sulla base della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000, con ubicate le indagini eseguite in questa fase e quelle desunte da lavori pregressi eseguiti nel comune di Pianezze. In particolare sono state ubicate le indagini provenienti da:

- Catalogo ISPRA
- Studi geologici pregressi raccolti presso l'Ufficio Tecnico Comunale;
- Indagini geognostiche di nuova realizzazione;
- Indagini pregresse dall'archivio dello scrivente.

Nella figura seguente si riporta un estratto della “Carta delle indagini” prodotta per il presente lavoro che dimostra come siano state indagate, in modo dettagliato, le aree oggetto del presente studio; le indagini di nuova realizzazione sono state schedate, informatizzate e allegate fuori testo mentre quelle pregresse inserite nel supporto informatico allegato.



7.2 Carta geologico-tecnica

La “Carta geologico-tecnica” (CGT) per la microzonazione sismica serve per individuare gli elementi geologici che, in prospettiva sismica, potrebbero assumere un ruolo rilevante nell’esaltazione degli effetti di un terremoto.

Questa carta, elaborata sulla base della Carta litologica del P.A.T.I. del comune di Pianezze, riguarda l’integrazione e la rivisitazione in **chiave sismologica** dei contenuti geolitologici, geomorfologici e idrogeologici. Sono stati comunque eseguiti verifiche geologiche di superficie che hanno integrato e in parte modificato i contenuti stessi, alla luce anche dei risultati ottenuti dalle prove geofisiche effettuate e di quelle pregresse consultate.

Per l’elaborazione della CGT sono state quindi 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 modo da rappresentare, in ottica sismica, i depositi presenti nel comune di Pianezze.

Alla fine, sono state create due unità principali (“Terreni di copertura” e “Substrato geologico”) che contengono una serie di unità litologiche derivate dalla selezione e, talora, dall’accorpamento delle litologie locali.

Per evidenziare i possibili effetti di amplificazione stratigrafica (contrasto di impedenza tra mezzi geologici differenti) e predisporre le informazioni utili per la MOPS (Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica), sulla base degli studi specifici di carattere geofisico, sono stati individuati i contatti tra litologie che possono rispondere in modo differente alla sollecitazione sismica: le indagini hanno verificato che sono presenti risposte sismiche variabili in relazione ai differenti ambienti geomorfologici (orli di scarpate morfologiche, creste e picchi isolati).

In sostanza, per riconoscere, in via preliminare, le aree soggette o non soggette ad amplificazione sismica e quelle di attenzione per instabilità, in questa carta sono state indicate le seguenti situazioni:

- delimitazione del substrato geologico (roccia) dai terreni di copertura. Le unità litologiche individuate dal P.A.T.I. sono state riviste sulla base delle conoscenze dei luoghi, delle prove eseguite, ed uniformate alle indicazioni delle linee guida della Protezione Civile;
- irregolarità del rilievo marcate: orli di scarpata, creste e picchi isolati che possono esaltare gli effetti di amplificazione topografica;
- elementi tettonici strutturali ricavati da informazioni bibliografiche e/o dal P.A.T.I.;
- informazioni sulla profondità di pozzi o sondaggi pregressi che hanno raggiunto o meno il substrato e sulla profondità della falda idrica.

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 PATI associate alla consultazione della cartografia geologica generale, sono stati individuati i contatti tra litologie che possono rispondere in modo differente alla sollecitazione sismica.

In conclusione, facendo riferimento alle descrizioni litologiche del paragrafo 3.3, le unità riportate nella tabella precedente individuano e accorpano i seguenti terreni:

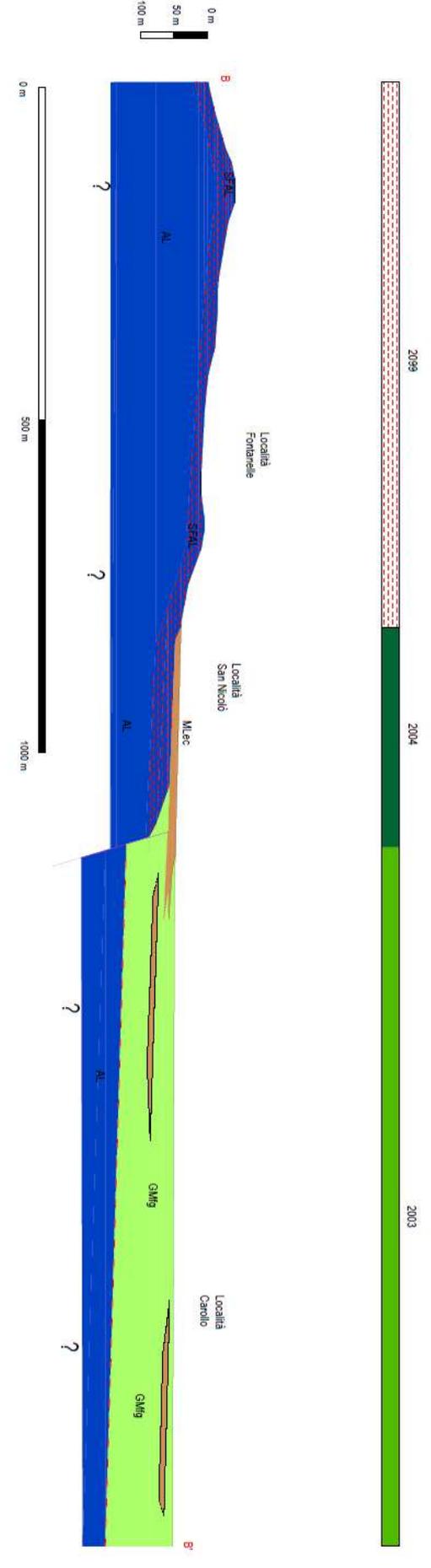
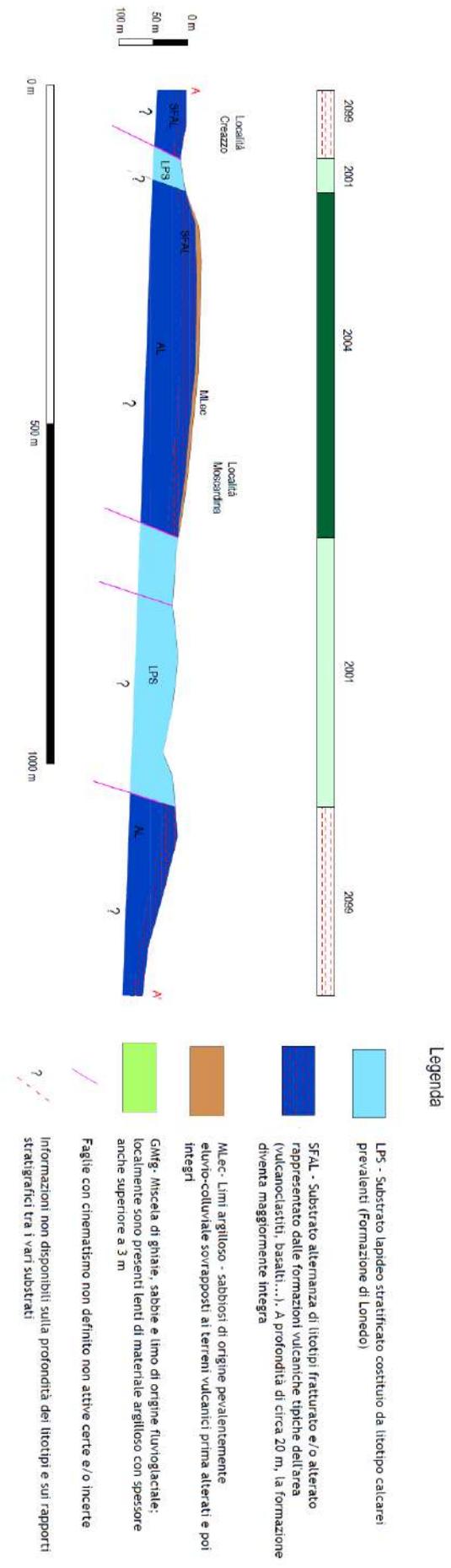
<i>Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica</i>	<i>Carta Geolitologica del P.A.T.I. (localmente modificata)</i>
LPS	L-SUB-03 - Rocce compatte stratificate - Calcare di Lonedo
AL	L-SUB-06 - Rocce tenere prevalenti con interstrati o bancate resistenti subordinati - Formazione di Salcedo - successione eterogenea di sabbie, argille sabbiose, arenarie, calcareniti e calcari marnosi di scogliera
SFAL	L-SUB-04 - Rocce superficialmente alterate e con substrato compatto: Vulcanoclastiti, Breccie vulcaniche di esplosione, basalti di colata laviche subacquee e subaree e membri vulcanici della formazione di Salcedo
MLec	L-DET-03: materiali della copertura detritica colluviale poco consolidati e costituiti da frazione limo-argillosa prevalente con subordinate inclusioni sabbioso-ghiaiose e/o di blocchi lapidei
GMfg	L-ALL-05: materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente limo-argillosa L-ALL-01: materiali granulari fluviali e/o fluvioglaciali antichi a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa più o meno addensati. Per quanto riguarda questi litotipi, dall'analisi delle prove geognostiche consultate (sondaggi e penetrometriche), e dalle sismo-stratigrafie ottenute, si possono descrivere come un materasso alluvionale di svariate decine di metri di natura prevalentemente ghiaiosa limosa, con frequenti lenti di materiale argilloso con spessore fino a 10 m. Nei primi metri, può essere presente un livello maggiormente argilloso che però non risulta rappresentativo dell'intero spessore del deposito. Pertanto, si è deciso di assegnare generalmente il litotipo GMfg, senza rispettare la suddivisione del PATI in depositi alluvionali prevalentemente limo argillosi (L-ALL-05) e ghiaiosi sabbiosi (L-ALL-01).

La focalizzazione delle onde sismiche in corrispondenza di creste, cime o cigli di scarpata è il fenomeno che sta alla base dell'amplificazione topografica. Nella carta prodotta sono state evidenziate le irregolarità morfologiche più marcate che potrebbero produrre particolari amplificazioni sismiche: sono state inserite le informazioni derivanti da fotointerpretazione mettendo in evidenza gli orli di scarpata morfologica, le creste e i picchi isolati.

Effetti stratigrafici associati ad amplificazioni di carattere topografico sono invece possibili per i detriti posti lungo i versanti, condizione che può contemporaneamente verificarsi anche per il substrato roccioso in posto.

Si sono riportate, inoltre, le tracce di due sezioni geologiche rappresentative del territorio comunale (ubicazione nella CGT e riportate in estratto a seguire, elaborate secondo gli standard per la microzonazione sismica).

Infine, nella CGT, come espressamente richiesto nelle linee guida della protezione civile e negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica, è stata riportata la profondità del substrato geologico ricavata da sondaggi geognostici e la profondità della falda idrica. In merito a questo ultimo punto, solo in un sondaggio è stata segnalata la presenza di acqua; tuttavia il valore riportato è il livello statico della misura piezometrica legata alla risalita della falda in pressione posta a 50 m dal p.c. locale.



7.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

La “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” (MOPS) prodotta per il Livello 1 ha come finalità la suddivisione del territorio comunale nelle seguenti aree:

1. Zone stabili
2. Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
3. Zone di attenzione per instabilità

Inoltre, in essa sono state inserite le seguenti informazioni:

- misure di rumore ambientale H.V.S.R.;
- traccia delle sezioni per gli approfondimenti delle amplificazioni topografiche.

La MOPS è stata ricostruita alla scala 1:5.000 a partire dalla “Carta geologico-tecnica” per la microzonazione sismica precedentemente esposta, integrandone e rivedendone i contenuti.

1. ZONE STABILI

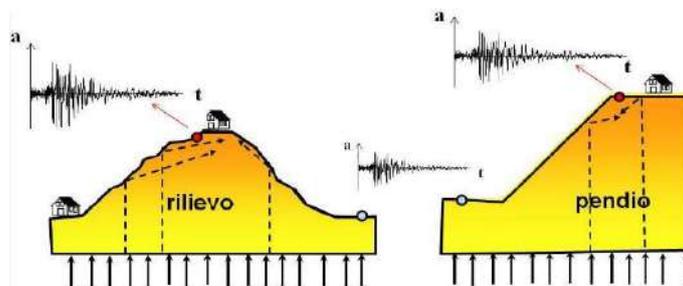
Nel comune di Pianezze non sono state individuate zone “stabili”. In sostanza, si noti che l'intero territorio è considerabile come stabile suscettibile di amplificazione sismica.

Infatti, è stato verificato che il moto sismico è modificabile rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche locali.

2. ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

Il comune di Pianezze risulterebbe suscettibile di amplificazioni locali per i seguenti motivi:

- A. **stratigrafia e caratteristiche dei litotipi**. Come evidenziato nella “Carta geologico-tecnica” e nelle considerazioni fin qui esposte, è stato accertato che sono presenti differenti risposte sismiche variabili in relazione ai diversi ambienti geomorfologici (detrito, roccia, eluvio-colluvio, fluvio-glaciale ecc.) ed al contatto tra le coperture ed il substrato roccioso che si ripercuotono sull'amplificabilità sismica del sito;
- B. **amplificazione topografica**. Per quanto riguarda l'amplificazione topografica, è stato qualitativamente coinvolto l'intero territorio collinare, senza fare particolari distinzioni, anche perché la normativa vigente in materia di costruzioni (D.M. 17.01.18) permetterebbe di suddividere omogeneamente le aree in condizioni geometriche ben ricostruibili: Pianezze è costituito da terreni di natura litoide costituenti pendii dolci con inclinazioni inferiori a 15° e dislivelli inferiori a 30 m. Anche se il territorio non è morfologicamente complesso, non è possibile assimilarlo ad una condizione monodimensionale e/o piano parallela, pertanto, secondo la normativa è necessario predisporre analisi specifiche di risposta sismica locale. Come anticipato al punto A), si ricorda che nell'ambito collinare l'amplificazione sismica può essere legata, oltre che alle condizioni topografiche dei luoghi, anche a motivi di tipo stratigrafico (detrito su roccia, roccia meno competente su roccia compatta) e, spesso, tali effetti di sito sono associabili tra loro;



Effetti topografici 2D – 3D.
Effetti legati alla interazione tra onde sismiche e morfologia superficiale con effetti di focalizzazione delle onde sismiche

Si ritiene, pertanto, che tutto il territorio collinare di Pianezze sia assoggettabile ad amplificazione sismica per effetto topografico.

Per tale motivo, facendo riferimento sia alla normativa vigente in materia di costruzioni (NTC-18), sia alle esperienze condotte dagli scriventi in situazioni analoghe (mediante modellazioni numeriche avanzate per la verifica dell’amplificazione topografica), si ritiene che tutto l’ambiente studiato sia assoggettabile ad effetti legati alla interazione tra le onde sismiche e la morfologia superficiale.

Inoltre, sono state riportate le irregolarità del rilievo marcate costituite dalle linee di cresta, scarpate morfologiche e picchi isolati, in cui sono ritenuti possibili effetti di amplificazione topografica. Nella MOPS sono stati inseriti gli elementi topografici desunti da fotointerpretazione.

Pertanto, sulla base di quanto finora esposto, sono state create 4 zone ordinate dalla Zona 1 alla Zona 4 considerando le caratteristiche litologiche e genetiche dei terreni della “Carta geologico-tecnica” e le potenziali risposte sismiche locali dal punto di vista stratigrafico. Inoltre, è stata creata la Zona 2099 associata al substrato vulcanico alterato e/o fratturato.

Ad ogni zona è stata assegnata una colonnina stratigrafica: fatto salvo qualche dubbio interpretativo, sono state rappresentate simbolicamente nella tabella che segue.

Si ricorda tuttavia che nonostante si sia cercato di creare differenti colonnine stratigrafiche per ciascuna combinazione dei terreni di copertura (e relativi spessori) e dei sottostanti substrati, resta comunque un certo grado di incertezza sulla tipologia del substrato al di sotto dei depositi sciolti dovuta all’assetto tettonico-stratigrafico dell’area caratterizzata da un complesso assetto strutturale.

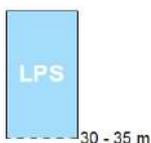
Substrati geologici

Zona 2001

Substrato geologico lapideo stratificato

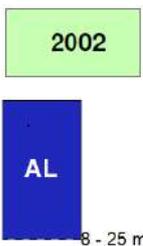


Substrato geologico litoide stratificato (LPS), costituito da litotipi calcarei prevalenti (Formazione di Lonedo); può essere presente una copertura eluvio colluviale <3 m. Vs=500/600 m/s che in profondità aumenta gradualmente fino a superare gli 800 m/s a 20-25 m. In base ai dati reperiti in letteratura ha spessore max in zona di 30-35 m



Zona 2002

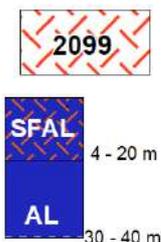
Substrato alternanza di litotipi



Substrato geologico costituito da litotipi calcarei di varia natura (AL): calcareniti, calcari marnosi, calcari compatti, attribuibili ai membri calcarei della Formazione di Salcedo. Le Vs registrate variano da Vs=300-400 m/s per i litotipi meno competenti e più superficiali, a Vs=540-650 m/s per quelli più competenti e posti a maggiore profondità.

Zona 2099

Substrato alternanza di litotipi fratturato e/o alterato

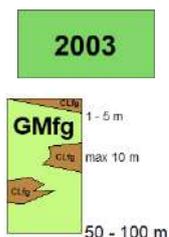


Substrato geologico costituito dalle varie formazioni vulcaniche presenti nell'area (AL - vulcanoclastiti, colate basaltiche, etc.), fratturate /alterate nella parte superiore (SFAL). Le Vs variano dai 300-400 m/s nella porzione alterata (spessore riscontrato di 4-20 m) a Vs>500 m/s nella parte integra sottostante. Può essere presente una coltre superficiale limoso - argillosa inferiore ai 3 m.

Terreni di copertura

Zona 2003

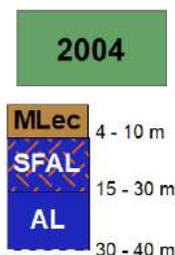
GM: Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e limo



Terreni di copertura costituiti da una miscela di ghiaie, limo e sabbia (GM) di origine fluvioglaciale; localmente sono presenti spessori superficiali argillosi fino a 5 m di spessore. Intercalazioni argillose possono essere presenti anche in profondità con spessori più elevati (fino a 10 m). Lo spessore totale delle ghiaie (Vs=380-500 m/s) è variabile (50-100 m) e poggiano su un substrato sismico (Vs>800 m) non identificato ma probabilmente di natura vulcanica litoide.

Zona 2004

ML: Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità



Limi - argilloso - sabbiosi (ML) di origine prevalentemente eluvio - colluviale sovrapposti generalmente ai terreni vulcanici prima alterati (SFAL) poi integri (AL); nella fascia pedemontana possono sovrapporsi localmente ai sedimenti fluvioglaciali ghiaioso - limosi. La coltre eluvio/colluviale presenta spessori tra 4-10 m e una Vs=180-200 m/s, mentre i sottostanti litotipi vulcanici (spessore 10-30 m) sono caratterizzati da Vs=400-500 m. Il substrato sismico (Vs>800 m/s) si riscontra a profondità nell'ordine dei 30-40 m.

3. ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ

Per quanto riguarda le Zone di attenzione per instabilità, sono state inserite delle **aree di frana** che derivano da una verifica incrociata tra le cartografie del progetto IFFI, quelle del P.A.I. e del P.A.T.I.. Le frane presenti nella MOPS coincidono perfettamente con quelle riportate nella "Carta geologico-tecnica"; si rimanda ai livelli successivi per l'analisi specifica di tale potenziale instabilità, una volta verificata la "pericolosità" in relazione alla "vulnerabilità" del sito in cui sviluppano.

Come anticipato nei paragrafi relativi all'inquadramento sismo tettonico, in prossimità dell'area comunale è presente una **faglia attiva e capace** riportata nel database ITHACA. La traccia indicata nel portale lambisce il confine comunale ma non lo attraversa.

Infine, sulla base delle conoscenze geologiche ed idrogeologiche del territorio in esame, si è valutata la possibilità che nella pianura alluvionale del settore meridionale del comune, possano sussistere le condizioni perché si verifichi il **fenomeno della liquefazione** in caso di sisma.

Il fenomeno della “liquefazione” dei terreni interessa in genere i depositi non coesi (limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose, sabbie argillose e ghiaie sabbiose, come riportato nelle “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione” redatte dalla Protezione Civile a supporto degli studi di MS) sciolti sotto falda, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi. La liquefazione rientra tra gli effetti di sito, ovvero tra quel tipo di effetti dovuti all’interazione tra le onde sismiche e le condizioni geologiche locali. Le principali manifestazioni della liquefazione sono “oscillazioni e rotture del terreno”, “abbassamenti e sollevamenti del terreno”, “movimenti orizzontali del terreno”, “movimento di masse fluide / collasso in pendii naturali o artificiali”, “perdita di capacità portante delle fondazioni”, “collasso di opere di sostegno e banchine”.

Esistono delle condizioni (fattori predisponenti) che rendono alcuni terreni suscettibili di liquefazione ma, affinché questo avvenga, l’azione sismica (fattore scatenante) deve essere tale che, durante lo scuotimento sismico, le sollecitazioni indotte nel terreno determinino un aumento delle pressioni interstiziali fino ad eguagliare la pressione litostatica e la tensione di confinamento, annullando la resistenza al taglio ed inducendo fenomeni di fluidificazione. Secondo le NTC, un deposito NON è liquefacibile (nel senso che si può omettere la verifica alla liquefazione) quando si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al p.c. in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c., per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1n} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove S.P.T. normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e q_{c1n} è il valore della resistenza determinata in prove CPT e normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) delle NTC nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Fig. 7.11.1(b) delle NTC nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Nel caso del comune di Pianezze, le prove penetrometriche esaminate e i sondaggi geognostici visionati hanno evidenziato che i terreni sono costituiti da materiale ghiaioso limoso alternato a livelli lenticolari di natura argillosa. Cosa più rilevante, le indagini e le carte idrogeologiche visionate, mostrano una profondità della falda maggiore di 10 m dal p.c. locale.

Pertanto, si è deciso di non inserire, nella Carta delle MOPS, zone di attenzione per liquefazione **ZA_{LQ}**.

Tuttavia, data la variabilità litologica laterale dei depositi analizzati (alternanza di ghiaie, sabbie e livelli argillosi), non è possibile escludere la presenza di falde acquifere sospese, condizione particolarmente sfavorevole per la liquefazione.

Pertanto, come da indicazione da NTC2018, in previsione di interventi costruttivi sarà compito del progettista verificare che il sito, presso il quale è ubicato il manufatto, sia stabile nei confronti della liquefazione.

7.4 Carta delle frequenze

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

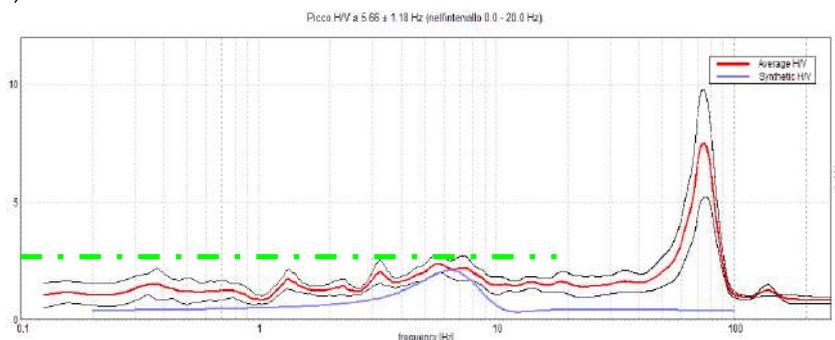
Durante le indagini di MS dell'area aquilana dopo il terremoto del 6 aprile 2009, i risultati di tali analisi si sono rilevati estremamente utili sin dalle prime fasi di elaborazione delle carte di Livello 1.

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 e 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 stati utili nella pianificazione delle indagini lineari.

I siti selezionati per le indagini sismologiche sono stati distribuiti in corrispondenza delle differenti unità litologiche presenti 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 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. È ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l'ipotesi che le strutture subiscano 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 tali frequenze risultano essere quelle di normale interesse ingegneristico-strutturale. Inoltre, le amplificazioni sismiche considerate nella curva H/V sono state quelle con un rapporto superiore a 2: infatti, in base al progetto [SESAME](#), che di fatto fornisce le linee guida per misure sismiche H.V.S.R., il rapporto sotto il quale non si devono considerare le amplificazioni sismiche dovute ad effetti locali è fissato a 2 (linea tratteggiata nella figura sotto).



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

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

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

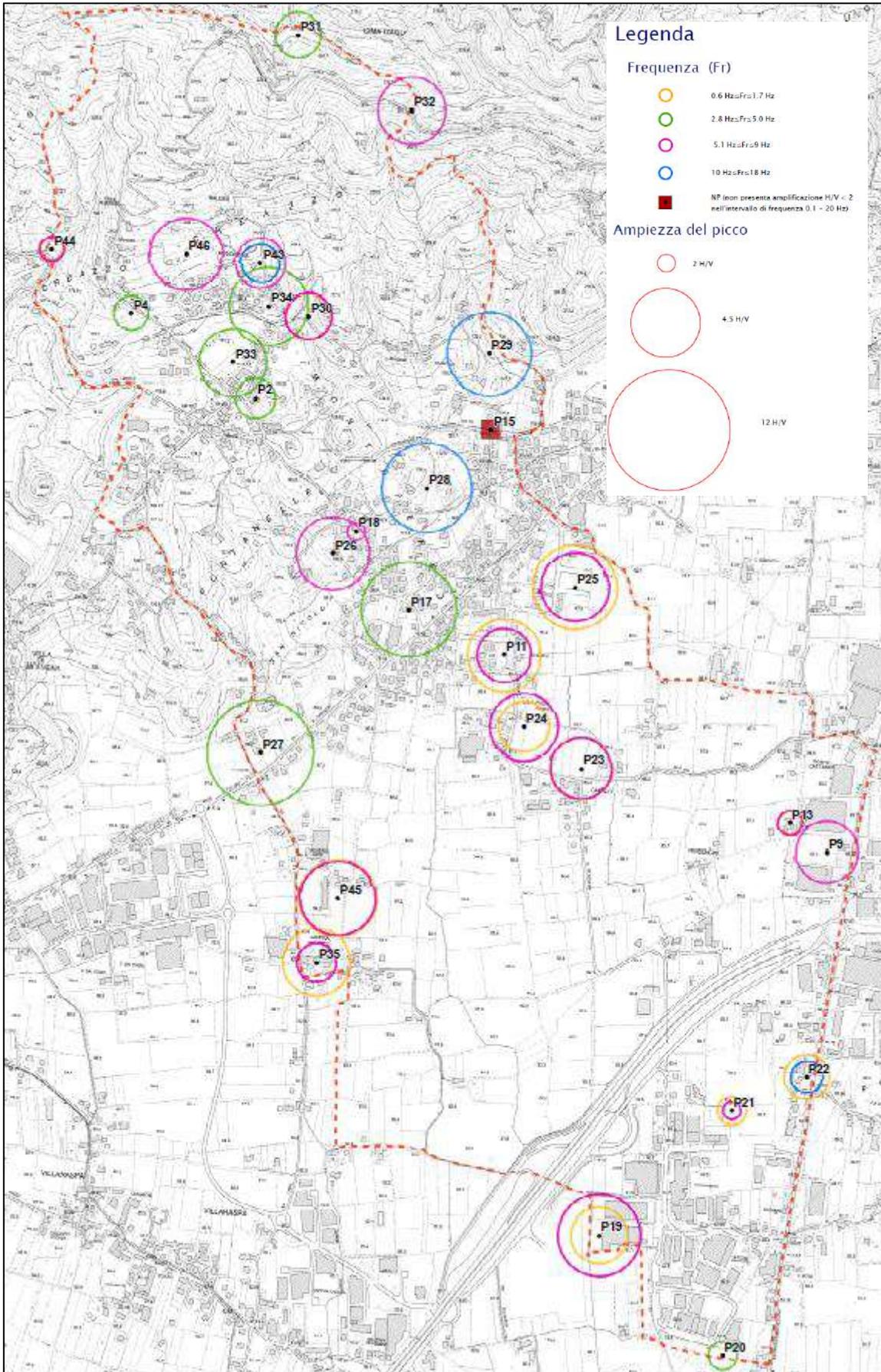
SINTESI DEI RISULTATI

In sostanza, questa carta, elaborata sulla base della C.T.R. alla scala 1:5.000, evidenzia come la frequenza caratteristica di risonanza di un sito sia molto variabile e condizionata dai rapporti litostratigrafici che si sviluppano con la profondità. Non viene considerata l'amplificazione dovuta agli effetti topografici e alle morfologie complesse sepolte.

I risultati delle analisi sono stati cartografati, come visibile nell'estratto della "Carta delle frequenze" riportata nella pagina seguente, tramite dei cerchi di diverso colore e con un diametro proporzionale all'ampiezza del picco. Le misure che non presentano frequenza di risonanza, sono state contrassegnate da un quadrato bordeaux.

Osservando la Carta delle frequenze, realizzata tramite le misure di rumore ambientale a stazione singola eseguite per il presente studio e recuperate nell'archivio dello scrivente, è possibile formulare alcune interessanti osservazioni:

- il comune di Pianezze presenta frequenze di risonanza caratterizzate da rapporti H/V molto elevati, per cui risulta possibile ipotizzare importanti amplificazioni del moto sismico in superficie;
- nella zona collinare, le misure HVSR hanno mostrato un picco di ampiezza significativa alle alte frequenze, correlabile al passaggio copertura-substrato o substrato alterato/fratturato con quello maggiormente compatto;
- per quanto riguarda, invece, l'area di pianura alluvionale è contraddistinta da misure H.V.S.R. in cui sono presenti due picchi molto evidenti (riportate in carta con due cerchi concentrici): il primo alle medio-alte frequenze (5,0-9,0 Hz - cerchio rosa) correlabile al passaggio interno alla copertura tra depositi con grado di rigidità crescente; il secondo a basse frequenze (minori di 2 Hz - cerchio giallo) associabile al passaggio con il bedrock geofisico posto a profondità variabili tra 70-100 m dal p.c. locale.



7.5 Carta della pericolosità sismica locale (CPSL)

Le Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica prevedono la realizzazione della “Carta di pericolosità sismica locale” (CPSL), nella quale vengono indicate le maggiori criticità del territorio e individuate le aree che richiedono approfondimenti per particolari tematiche e/o assetti stratigrafico-tettonici complessi. Nel territorio comunale è stato assegnato uno scenario di pericolosità sismica locale come riportato nella seguente descrizione:

Legenda

SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

P1 : Zone suscettibili di instabilità



Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi



Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio frana

P3 : Zone suscettibili ad amplificazioni topografiche



Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica...)



Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate

P4 : Zone suscettibili ad amplificazioni litologiche e geometriche



Zona di fondovalle ampie e di pianura con depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi



Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre

In particolare, la zona P4A è stata associata a tutti i materiali sciolti presenti nel comune come depositi alluvionali e fluvio-glaciali granulari e/o coesivi di fondovalle.

Mentre la zona P4c è stata assegnata ai depositi detritici e di origine eluvio-colluviale. Sono state riportate, infine, le irregolarità morfologiche con creste e scarpate.

Facendo riferimento alla tabella relativa alla procedura per la MS con i differenti livelli di approfondimento e per i differenti scenari di pericolosità sismica locale (fig. 2 nelle Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica) si costata che **l'analisi di Livello 3 appare appropriata per il territorio comunale di Pianezze** per quanto riguarda la stima dei fattori di amplificazione che saranno calcolati tramite modelli numerici bi-dimensionali.

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

8 APPROFONDIMENTI DI LIVELLO 3

Come illustrato nelle pagine precedenti, il comune di Pianezze non si presta ad analisi di Risposta Sismica Locale a strati piano-paralleli per la stima del fattore di amplificazione, a causa delle sue condizioni geologico-morfologiche, che non permettono l'instaurarsi di soli effetti monodimensionali.

Nel caso in esame, vista la morfologia dei luoghi, gli effetti bidimensionali possono giocare un ruolo dominante nell'amplificabili dei depositi. In particolar modo, nelle aree di cresta e di raccordo pianura-collina si potranno generare delle amplificazioni del moto sismico atteso in superficie, a causa delle articolate morfologie e alla combinazione tra effetti stratigrafici e topografici.

Per questo, le quantificazioni della risposta sismica di sito (amplificazione stratigrafica + amplificazione topografica) sono state condotte utilizzando delle modellazioni bidimensionali lungo sezioni rappresentative del comune di Pianezze. Tali valutazioni sono state realizzate in corrispondenza delle aree da microzonare al Livello 3, ed in generale su tutto il territorio urbano e urbanizzabile.

La tecnica di risoluzione numerica adoperata è quella alle differenze finite (FDM) implementata nel codice di calcolo FLAC 8.0 (Itasca, 2018), operante nel dominio del tempo. Il codice effettua un'analisi lagrangiana del continuo risolto mediante uno schema di avanzamento temporale di tipo esplicito.

In particolare, la quantificazione numerica degli effetti sarà rappresentata dai fattori amplificativi FA (fattore di amplificazione in termini di accelerazione) nell'intervallo 0.1-0,5s - 0.4-0,8s e 0.7-1.1s.

A partire dai risultati di tali modellazioni e interpolando i valori ottenuti, è stata prodotta una "Carta dei fattori di amplificazione FA (0,1-0,5s)" una "Carta dei fattori di amplificazione FA (0,4-0,8s)" e una "Carta dei fattori di amplificazione FA (0,7-1,1s).

8.1 Descrizione del metodo

Il codice di calcolo **FLAC 2D v.8.0** (*Fast Lagrangian Analysis of Continua*) della Itasca (2018) è basato sul metodo delle differenze finite con un procedimento di tipo esplicito. La flessibilità nella modellazione della geometria del problema, la disponibilità di elementi strutturali, l'elevato numero di modelli costitutivi implementati e la possibilità di svilupparne anche di nuovi, rendono FLAC idoneo allo studio di tutti i problemi riguardanti il comportamento meccanico di mezzi continui (terreni, rocce, ecc.) e di strutture interagenti. Sviluppato inizialmente per le applicazioni di ingegneria geotecnica e ingegneria mineraria in campo statico, esso ha trovato successivamente, con l'introduzione del modulo dinamico, largo impiego anche per la soluzione di problemi di risposta sismica locale. Il codice di calcolo FLAC, anche per i problemi in campo statico, risolve le equazioni di equilibrio dinamico di un mezzo continuo:

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

dove:

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

Il comportamento meccanico dei materiali è espresso dalla legge costitutiva:

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

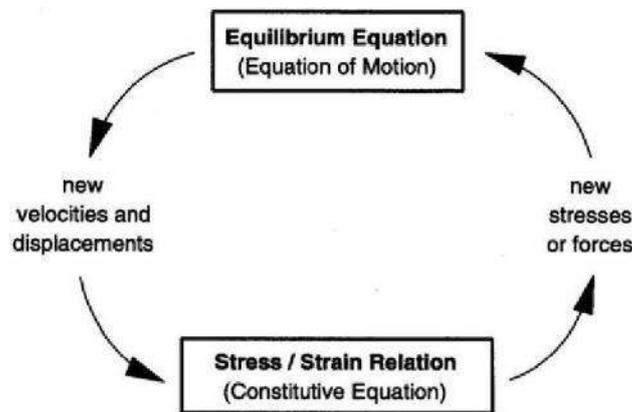
dove k è un parametro che tiene conto della storia di carico, M un funzionale ed $\dot{\epsilon}_{ij}$ il tensore velocità di deformazione espresso dalla:

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

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

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

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

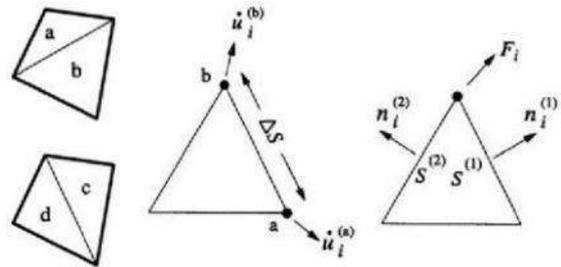


Ad ogni nuovo passo di calcolo (*step*), vengono risolte le equazioni di equilibrio dinamico, per cui dalle tensioni e dalle forze si ottengono i valori corrispondenti delle velocità di deformazione e degli spostamenti; successivamente, dalle velocità di deformazione ed attraverso le equazioni dei legami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

Tale approccio si è dimostrato particolarmente efficiente nella modellazione di problemi non lineari in presenza di grandi deformazioni. Per contro, essendo il Δ_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:



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

in cui:

- \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:

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

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

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

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

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

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

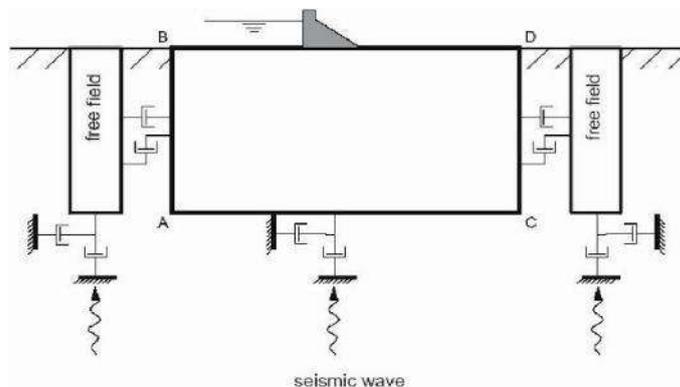
Come detto, condizione essenziale dell’algoritmo descritto è che il *time step* Δt corrispondente al singolo ciclo di calcolo, sia sufficientemente piccolo da rendere accettabile l’approssimazione di tensioni e velocità costanti sul singolo *step* di calcolo. In particolare, Δt deve essere inferiore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

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

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

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

La λ_{min} è la lunghezza d’onda che corrisponde alla massima frequenza di interesse ed è legata ad essa dalla velocità di propagazione delle onde di taglio. I metodi alle differenze finite, così come quelli agli elementi finiti, si basano sulla discretizzazione, tramite una *mesh* di nodi, di una porzione finita dello spazio, per cui appropriate condizioni al contorno vanno imposte ai confini artificiali di tale regione. In ogni problema di propagazione di onde sismiche, parte dell’energia si allontana indefinitamente dalla regione di interesse verso il semispazio circostante per fenomeni di diffrazione e riflessione, dando luogo ad una “perdita” di energia indicata come *smorzamento di radiazione*. Al fine di modellare correttamente questo fenomeno, FLAC consente di minimizzare la riflessione delle onde sui contorni della *mesh*, imponendo su questi condizioni di campo libero (*free field boundaries*) o viscosi (*quiet boundaries*). La definizione delle condizioni al contorno è strettamente correlata all’applicazione della sollecitazione dinamica, come discusso in seguito. I contorni *free - field* consistono sostanzialmente in colonne monodimensionali di larghezza unitaria, situate ai lati del modello, che simulano il comportamento di un mezzo infinitamente esteso (figura seguente).



In pratica, essi riproducono il moto libero del terreno che si avrebbe in assenza della configurazione bidimensionale ed allo stesso tempo impediscono la riflessione ai bordi della *mesh* delle onde diffratte verso l’esterno. Come illustrato, i singoli nodi dei contorni laterali della griglia principale vengono accoppiati alla griglia *free - field* attraverso smorzatori viscosi che materialmente assorbono l’energia

delle onde incidenti sui contorni, applicando delle forze viscoso proporzionali alla differenza tra il campo di velocità esistente al bordo e quello in condizioni *free - field*. Prima dell'applicazione delle condizioni *free - field* durante l'analisi dinamica, il modello deve essere in condizioni di equilibrio statico, per cui è necessario eseguire una analisi statica preliminare per determinare lo stato tensionale e deformativo all'interno del modello. All'atto dell'applicazione delle condizioni *free - field*, tutte le variabili di stato determinate dall'equilibrio statico vengono quindi applicate alle colonne monodimensionali ai bordi del modello.

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

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

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

partire dalla versione 5.0 (Itasca, 2005), tramite semplici modelli di *smorzamento isteretico*. Le proprietà dissipative possono altresì essere modellate attraverso la formulazione di *Rayleigh*. L'adozione di una legge sforzi - deformazione non lineare rappresenta, teoricamente, il modo più efficace per tenere conto della degradazione di rigidità al procedere della deformazione e della dissipazione di energia per isteresi. Questi modelli possono essere accoppiati con modelli di filtrazione per simulare la generazione e dissipazione di eccessi di pressioni neutre e/o fenomeni di liquefazione e consentono, inoltre, la valutazione delle deformazioni permanenti. Però, dal punto di vista pratico, i modelli non lineari sono spesso complessi e richiedono la definizione di molti parametri e lunghi processi di calibrazione.

La complessità dei modelli non lineari e la comodità di un utilizzo diretto delle curve di tipo $G / G_0 - \gamma$ e $D - \gamma$, 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 \mathbf{C} proporzionale alla matrice di massa \mathbf{M} e a quella di rigidità \mathbf{K} :

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

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

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

dove ω_j è la frequenza circolare relativa al modo j .

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

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

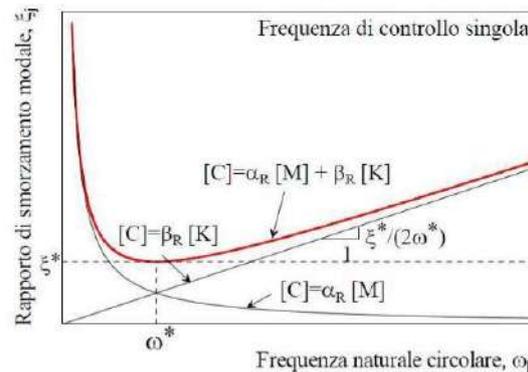
avendo fissato lo smorzamento modale al valore ξ in corrispondenza della singola frequenza ω . Per ciascun elemento della *mesh* occorre specificare il rapporto di smorzamento ξ^* del materiale e la frequenza ω^* . A titolo di esempio, nel caso di smorzamento ξ^* e frequenza ω^* costante per tutto il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

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

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

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

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



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

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

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

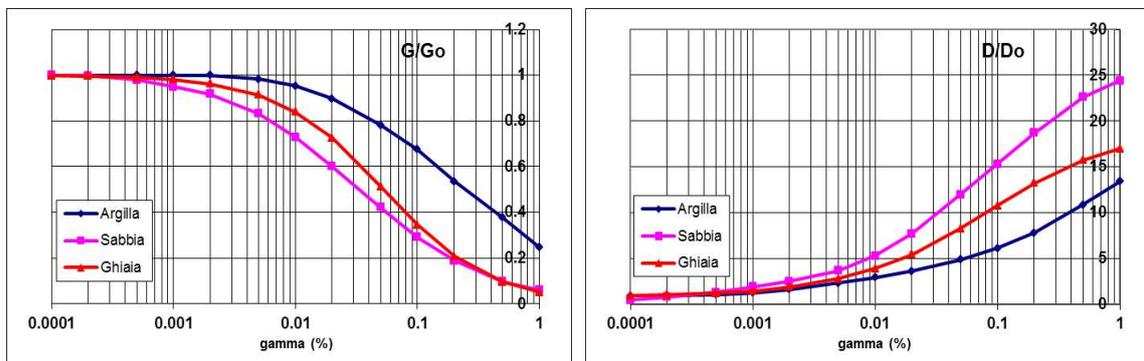
8.2 Casi applicativi nel Comune di Pianezze

Per quantificare l'azione sismica in superficie sono state realizzate delle sezioni di rigidità del sottosuolo in corrispondenza delle aree da approfondire al Livello 3; su tali profili è stata successivamente condotta la modellazione numerica, come precedentemente spiegato. Le sismostratigrafie e i valori di rigidità utilizzati sono quelli ottenuti dalle indagini sismiche eseguite per il presente lavoro.

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

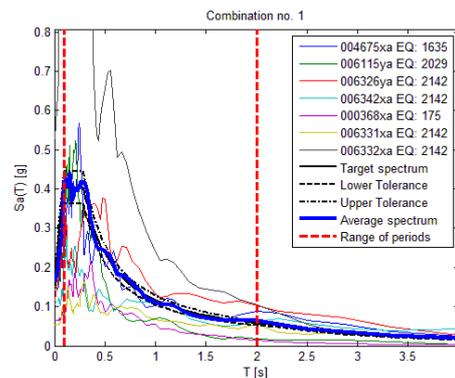
Lungo le frontiere laterali dei modelli sono stati introdotti particolari elementi assorbenti (*free - field* boundaries) che, oltre ad evitare la riflessione delle onde in maniera analoga agli smorzatori viscosi introdotti da Lysmer & Kuhlemeyer (1969), forzano i nodi delle frontiere laterali a riprodurre il moto di *free - field*, essenziale per le analisi di risposta sismica locale bidimensionale.

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 *substrato geologico* (smorzamento 0,02%); per i materiali di copertura è stato utilizzato lo *smorzamento isteretico* tramite le curve G/G_0 e D/D_0 indicate negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica e sotto riportate.

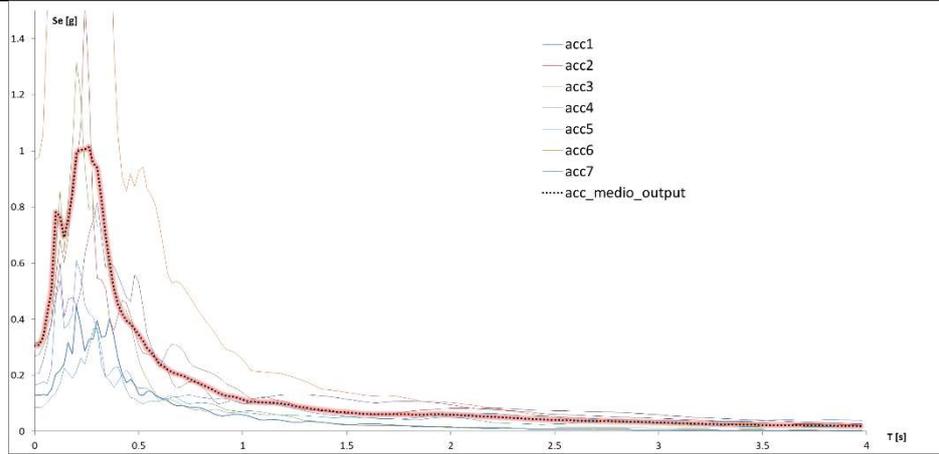


Nel rispetto della normativa vigente - D.M. 17/01/2018 - è stata assunta una severità dell'azione sismica con la probabilità di superamento (P) e con il periodo di ritorno (T_r) relativi allo stato limite considerato. In particolare, è stata considerata una vita nominale della costruzione (V_n) di 50 anni, un coefficiente d'uso (C_u) pari a II e quindi una vita di riferimento $V_r = 50$ anni. A partire da queste indicazioni, si è determinato un periodo di ritorno dell'azione sismica di 475 anni corrispondente ad una probabilità di superamento del 10% allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV).

L'input sismico utilizzato è rappresentato da una settupla di storie accelerometriche applicate alla base del modello e riferite agli spettri di normativa calcolati per il sito in esame, considerando un sottosuolo di roccia affiorante (classe A) con topografia orizzontale (T1) e correttamente deconvoluto (v. *Dynamic Analysis* della Itasca, 2016).



Punto 106



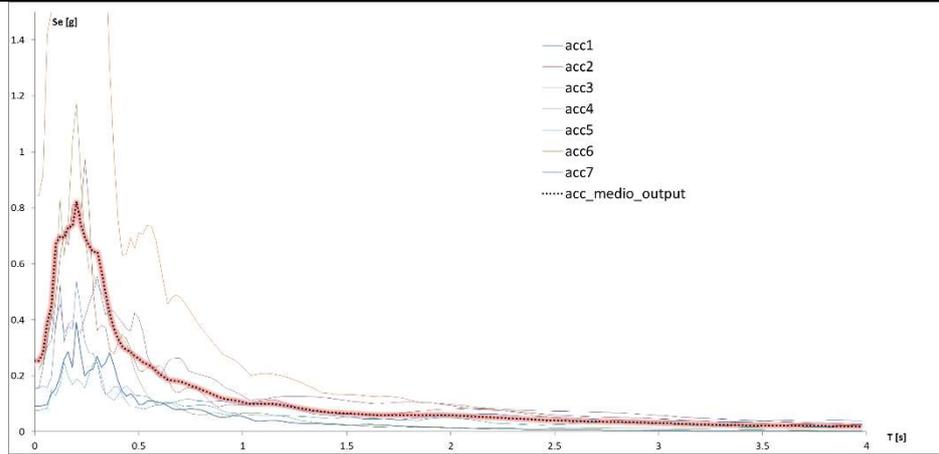
PGA = 0,30

FA(0,1-0,5) = 2,0

FA(0,4-0,8) = 1,3

FA(0,7-1,1) = 1,1

Punto 115



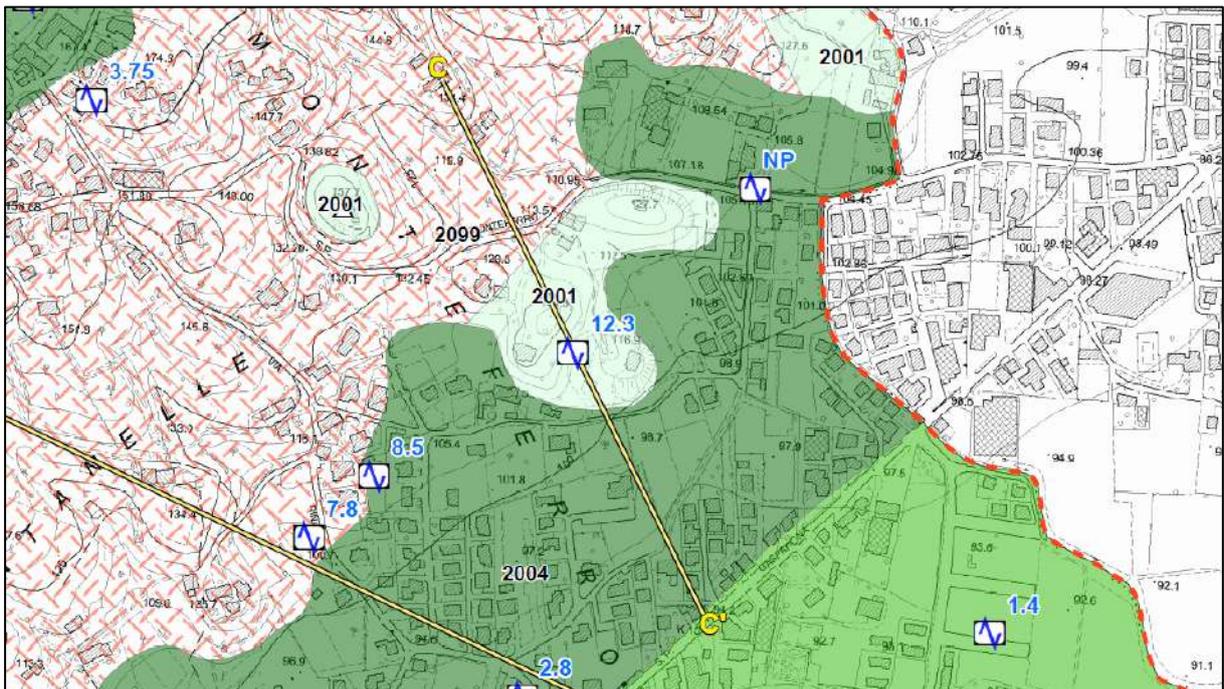
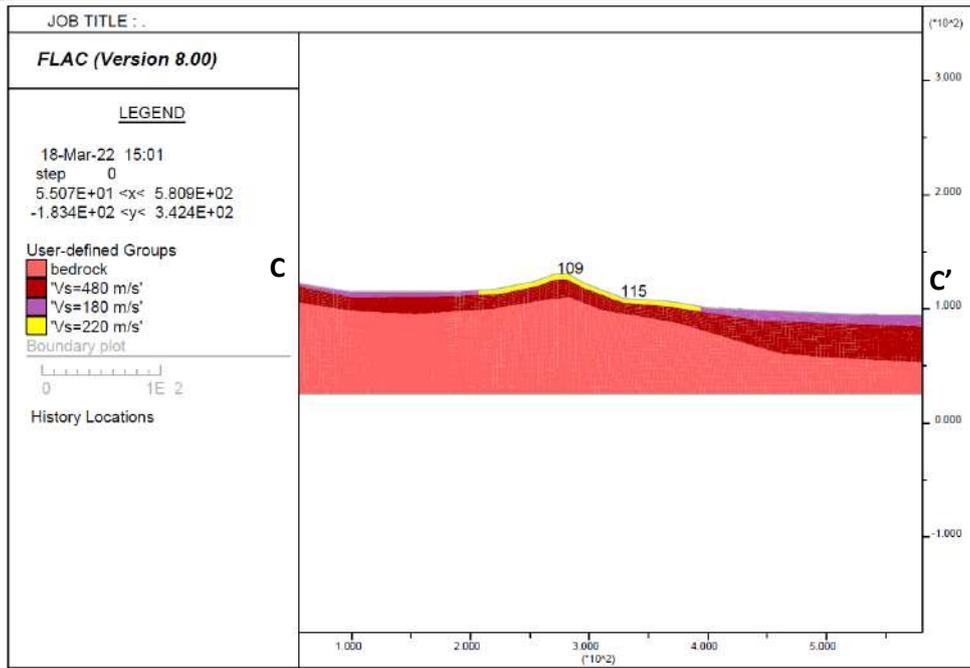
PGA = 0,25

FA(0,1-0,5) = 1,5

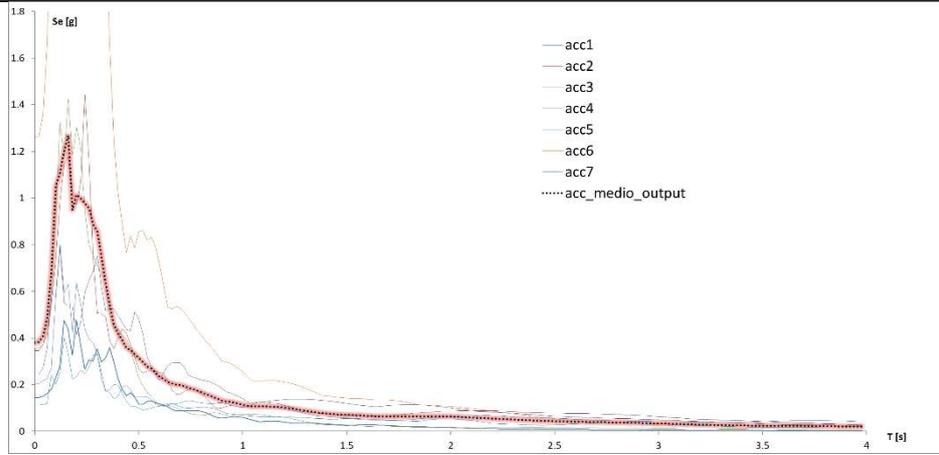
FA(0,4-0,8) = 1,1

FA(0,7-1,1) = 1,0

Sezione C-C'



Punto 109



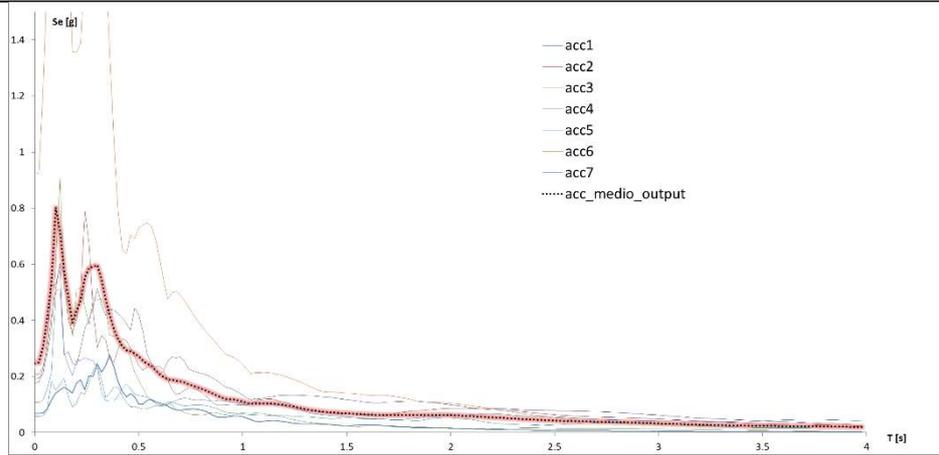
PGA = 0,38

FA(0,1-0,5) = 2,1

FA(0,4-0,8) = 1,3

FA(0,7-1,1) = 1,1

Punto 113



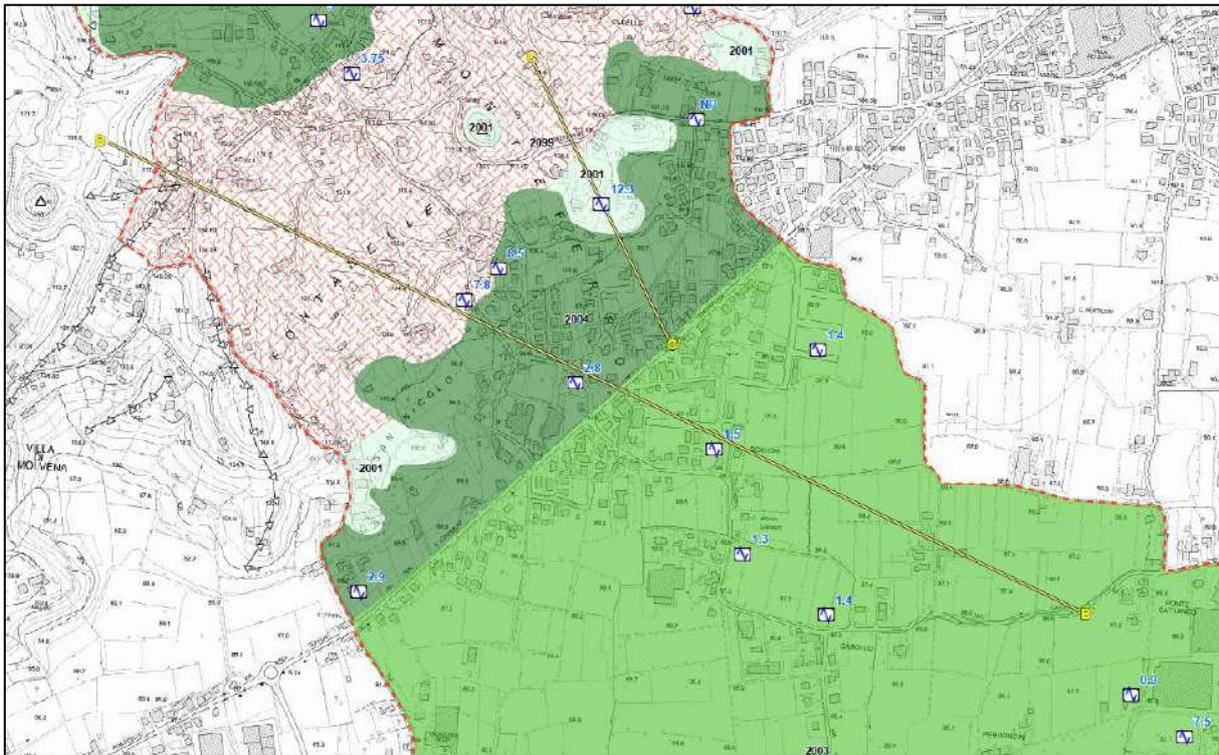
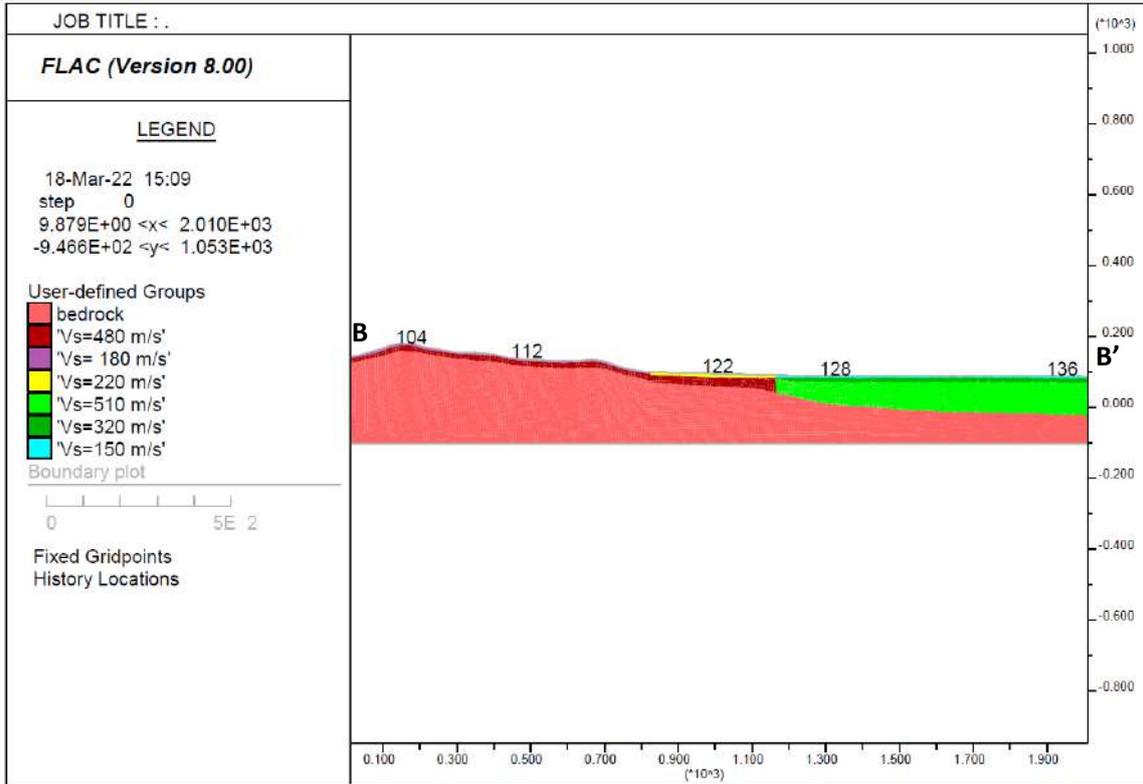
PGA = 0,25

FA(0,1-0,5) = 1,3

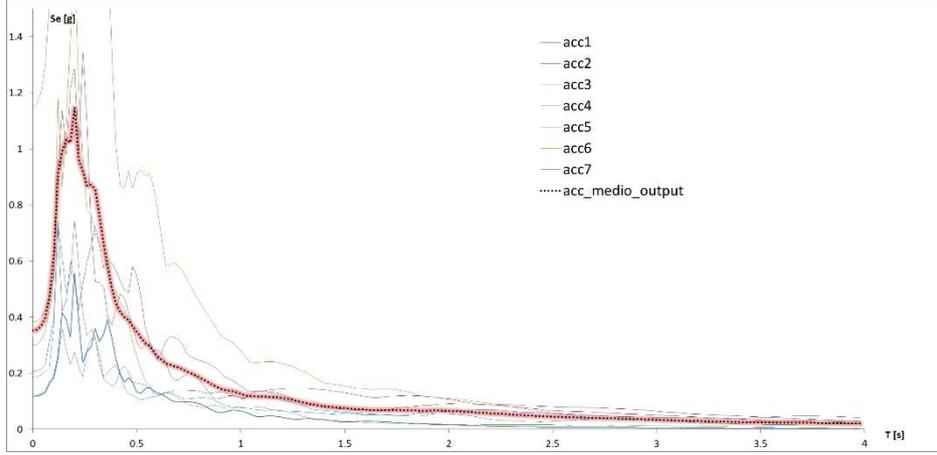
FA(0,4-0,8) = 1,1

FA(0,7-1,1) = 1,0

Sezione B-B'



Punto 104



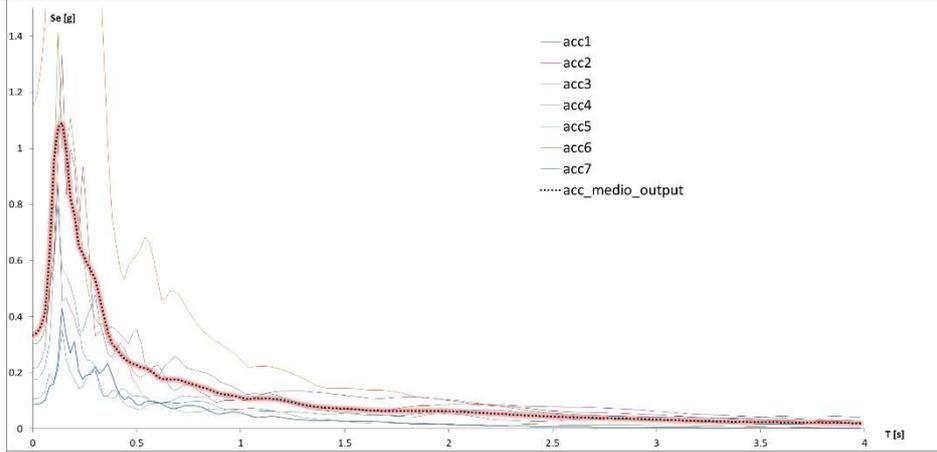
PGA = 0,35

FA(0,1-0,5) = 2,1

FA(0,4-0,8) = 1,3

FA(0,7-1,1) = 1,1

Punto 112



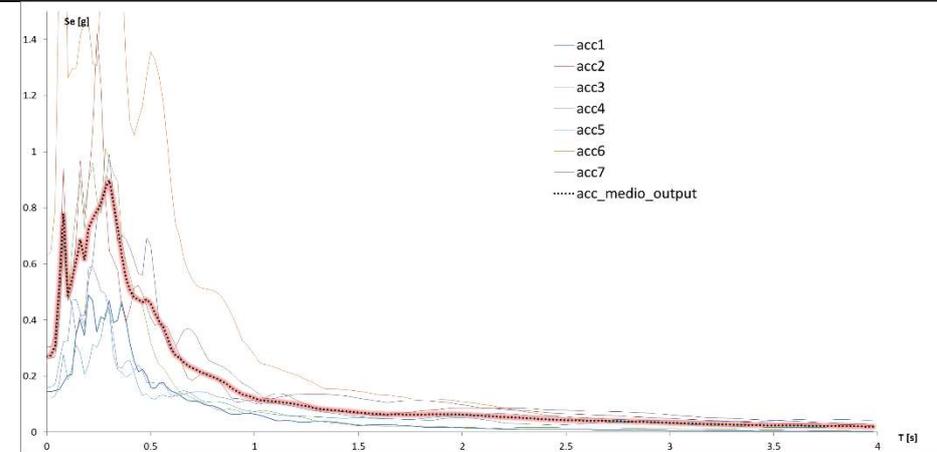
PGA = 0,33

FA(0,1-0,5) = 1,5

FA(0,4-0,8) = 1,1

FA(0,7-1,1) = 1,1

Punto 122



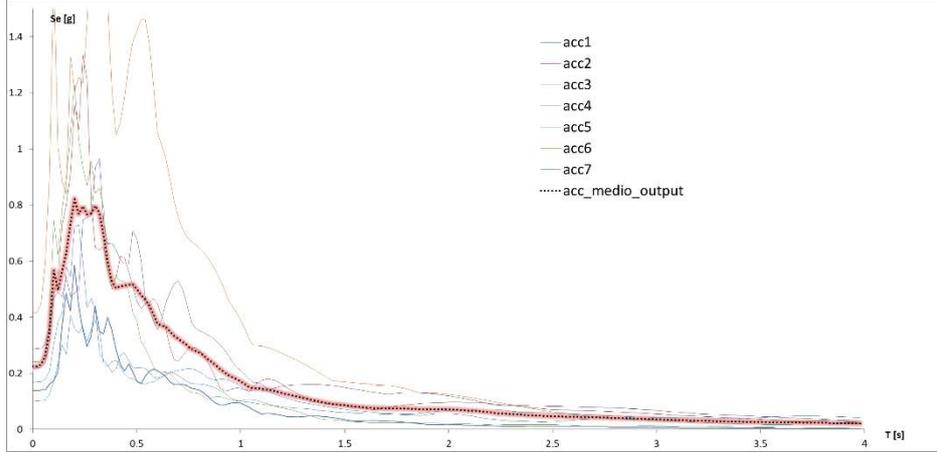
PG = 0,27

FA(0,1-0,5) = 1,9

FA(0,4-0,8) = 1,5

FA(0,7-1,1) = 1,1

Punto 128



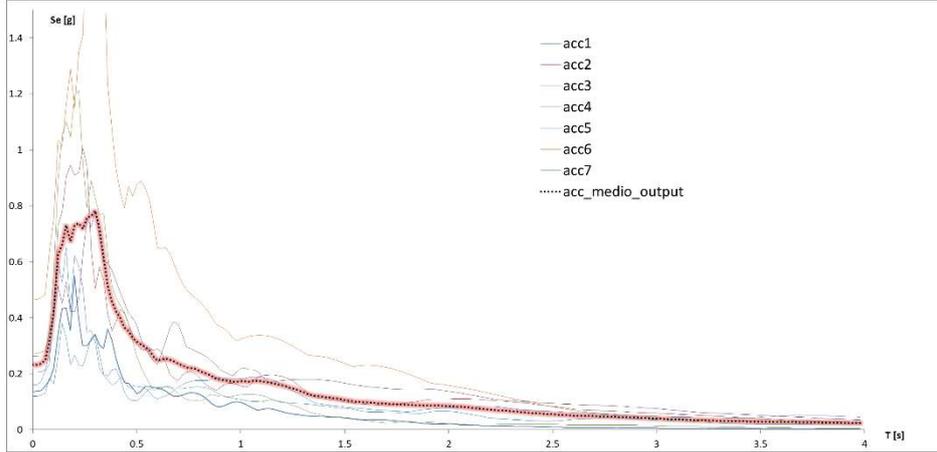
PGA = 0,22

FA(0,1-0,5) = 1,7

FA(0,4-0,8) = 1,9

FA(0,7-1,1) = 1,7

Punto 136

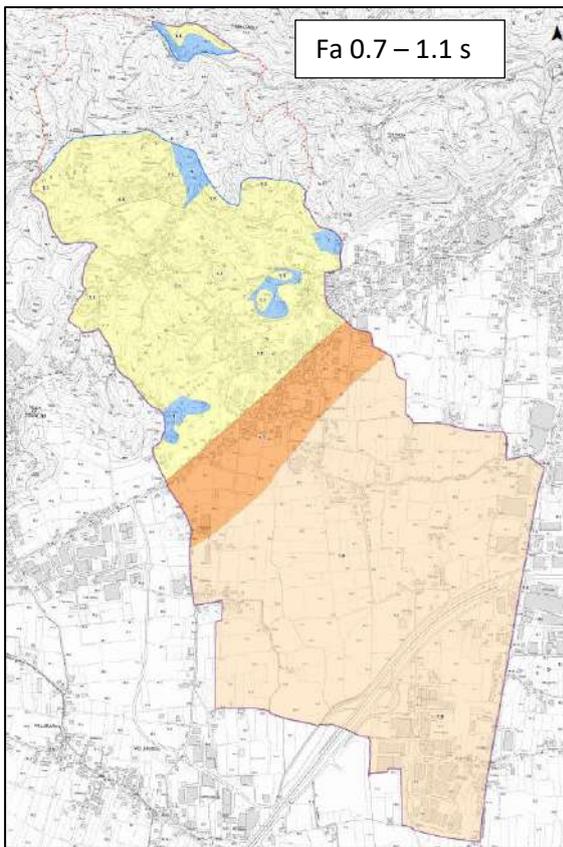
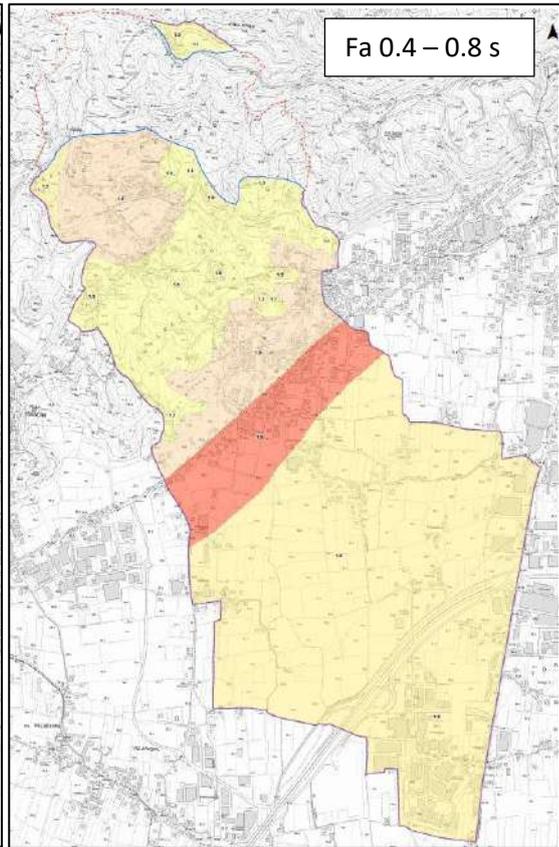
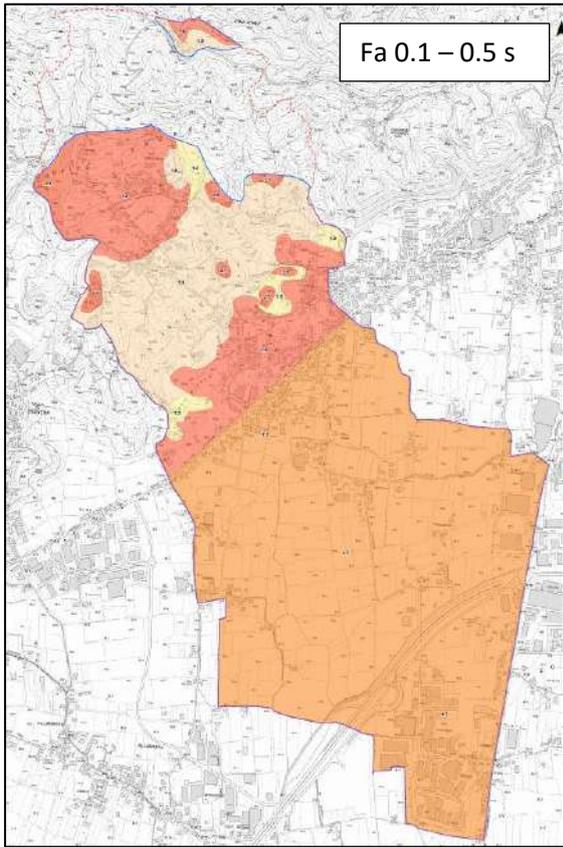


PGA = 0,23

FA(0,1-0,5) = 1,7

FA(0,4-0,8) = 1,3

FA(0,7-1,1) = 1,5



Zone stabili

FA = 1

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

FA = 1.3 - 1.4

FA = 1.5 - 1.6

FA = 1.7 - 1.8

FA = 1.9 - 2.0

FA = 2.1 - 2.2

Aree oggetto di MS con approfondimento di terzo livello

Confine comunale

A partire dai risultati ottenuti è stato possibile ottenere le n°3 “Carte di microzonazione sismica di Livello 3” in cui sono stati mappati i valori dei Fattori di Amplificazione nei tre *range* di periodo considerati. Dalla loro consultazione è possibile trarre le seguenti considerazioni:

- l’area di Arbizzano del comune di Pianezze è caratterizzato da valori amplificati del moto sismico di base che variano da 1,0 a 2,2;
- i valori dei fattori ottenuti evidenziano che i valori amplificativi massimi di Fa 0,1-0,5s (sensibili ai contrasti superficiali) sono associati alle aree detritiche con depositi eluvio-colluviali, e in corrispondenza degli alti topografici in cui affiora il substrato. Nel primo caso, essendo gli spessori di copertura ridotti, i principali contrasti di impedenza sono a profondità minori di 30 m, pertanto i fattori di amplificazione in questo range sono risultati massimi. Relativamente ai substrati, i fattori ottenuti sono correlati all’unione dell’effetto topografico (amplificazione in corrispondenza di creste e/o picchi isolati) e del fattore stratigrafico, dovuto a contrasti sismici interni al litotipi e legati a diversi gradi di rigidità della roccia andando in profondità;
- al contrario, per i fattori di amplificazione ai medi e alti periodi, sensibili ai contrasti profondi, è interessante osservare l’area della pianura alluvionale: si osserva che nella zona più a nord e quindi prossima al raccordo pianura collina, la presenza del bedrock a circa 50-70 m incide notevolmente sul fattore 0,4-0,8s (1,9) e meno su FA 0,7-1,1s (1,7) che risulta più basso. Invece, procedendo verso sud, la situazione si inverte e la maggior profondità del substrato (circa 100 m dal p.c. locale), unita ad una condizione stratigrafica pressoché piano parallela, porta ad un’inversione dell’andamento dei fattori di amplificazione: FA 0,4-0,8s (1,3) risulta più basso di FA 0,7-1,1s (1,5).

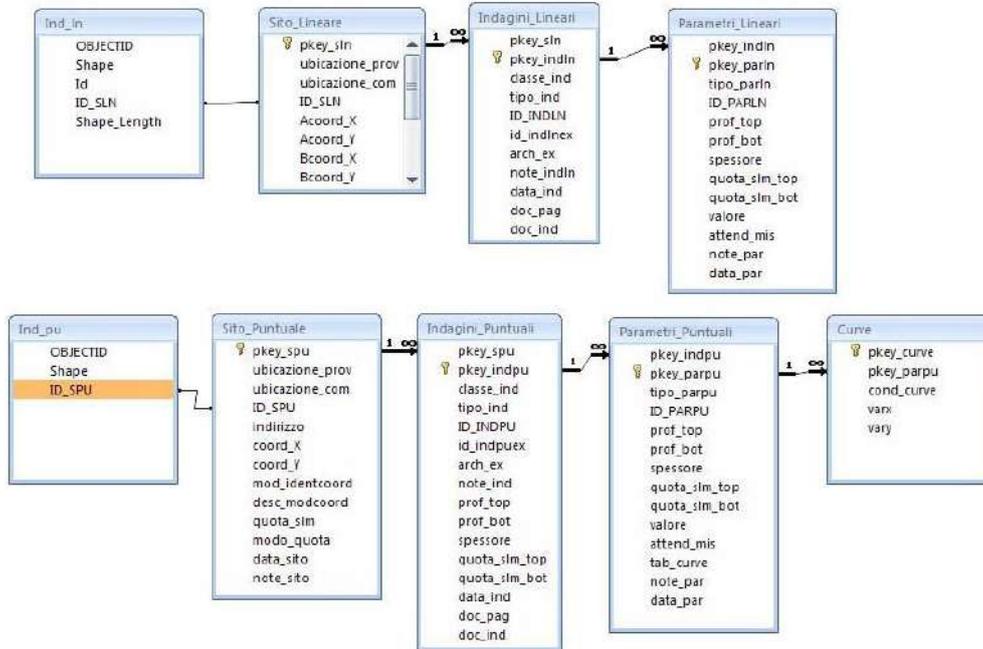
9 REDAZIONE CARTOGRAFICA E CREAZIONE BASI INFORMATIVE

L'analisi di MS 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 4.2 - emanati dalla “Commissione tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica”. Gli Standard sopraccitati 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 4.2.

Il contenuto informativo della “Carta delle indagini” si esplica attraverso la relazione tra gli *shapefiles* (Ind_pu e Ind_ln) 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 shapefiles
(Figura 2.1-1 “Standard di Rappresentazione e archiviazione informatica” - versione 4.0b)

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_ln 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 fondamentale 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 - versione 4.1_Sicilia.

Le suddette tabelle sono state compilate e archiviate nel database di Access **Cdi_tabelle.mdb** contenuto, assieme agli *shapefile* **Ind_pu** e **Ind_In**, nella cartella **Indagini**.

La “Carta geologico-tecnica” e la “Carta delle microzonee omogenee in prospettiva sismica” sono state realizzate in formato vettoriale e rappresentano le informazioni contenute nelle cartelle **GeoTec** ed **MS1**.

La cartella **GeoTec** contiene i seguenti *layers* informativi.

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

Nella cartella **MS1** sono invece contenuti i seguenti *shapefile*

Nome file	Tipo <i>shapefile</i>	Descrizione
Stab	Poligonale	Zone stabili suscettibili di amplificazione locale
Instab	Poligonale	Zone instabili

Nella cartella **MS23** sono contenuti i seguenti *shapefile*

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

Tutti gli spettri medi di risposta elastici calcolati sono stati salvati nella cartella “MS23/Spettri” della struttura di archiviazione dei file. In particolare, nella cartella “MS23/Spettri”, è riportato lo Spettro medio ottenuto dall’elaborazione numerica dei n.7 accelerogrammi di input. Il nome dello spettro è lo stesso di quello riportato nel poligono relativo nello shp **stab** (corrispettivo univoco).

Quindi, dal punto di vista operativo, un professionista che necessita di recuperare lo spettro e/o gli accelerogrammi relativi ad una determinata area del comune di Pianezze dovrà:

1. Aprire lo shp stab/instab e vedere in quale poligono ricade l'area di interesse

2. Aprire la tabella degli attributi dello shp e leggere il nome dello spettro associato al poligono di interesse (es. PianezzePSAO02);

3. Andare nella cartella "Spettri" e cercare lo spettro elastico medio con lo stesso nome.

La cartografia di base utilizzata per l'elaborazione dello studio è la C.T.R. del Veneto, le cui coordinate sono espresse in WGS84 33N.

Infine, secondo quanto riportato nella Versione degli Standard 4.2, è stato necessario inserire, nella Carta delle Indagini, una serie di punti baricentrici dei poligoni riportati nello shp Stab, indicanti la stratigrafia rappresentativa della zona Mops di appartenenza. Ogni punto, inoltre, è stato archiviato nel software SoftMS e vi è stato associato un file pdf riportante una descrizione dettagliata delle aree omogenee dal punto di vista sismico che costituiscono il comune di Pianezze.

BIBLIOGRAFIA

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

ALLEGATI FUORI TESTO

1. Carta delle indagini	Scala 1:5.000
2. Carta geologico-tecnica	Scala 1:5.000
3. Carta delle frequenze	Scala 1:5.000
4. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica	Scala 1:5.000
5. Carta della pericolosità sismica socale	Scala 1:5.000
6. Carta di microzonazione sismica FA 0,1-0,5s - Livello 3	Scala 1:5.000
7. Carta di microzonazione sismica FA 0,4-0,8s - Livello 3	Scala 1:5.000
8. Carta di microzonazione sismica FA 0,7-1,1s - Livello 3	Scala 1:5.000
9. DVD contenente i file pdf dello studio e le basi informative	