

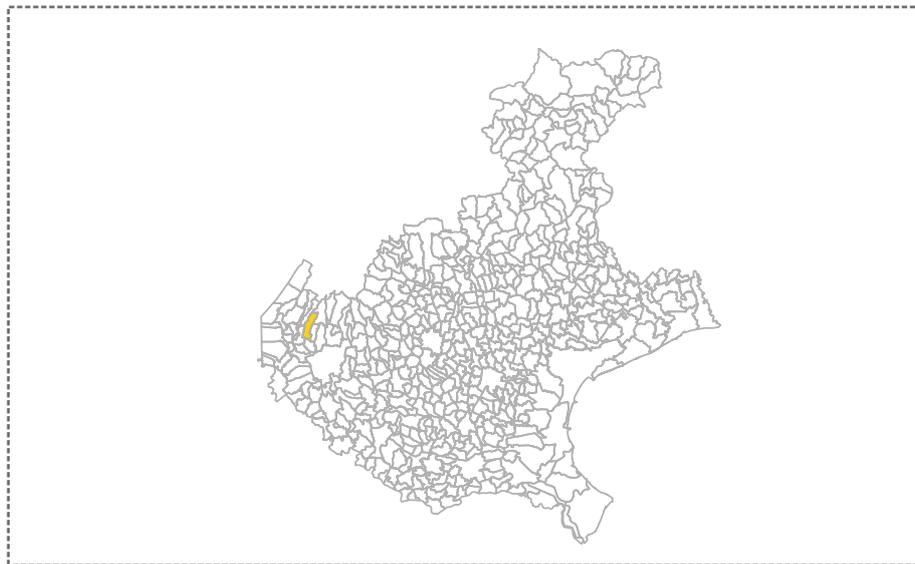


REGIONE DEL VENETO

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Veneto
Comune di Fumane



Regione
REGIONE VENETO

Segreteria Regionale per
l'Ambiente

Soggetto realizzatore
COMUNE DI FUMANE

Progettista:
Dr. Geol. Matteo Collareda

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

Data
Luglio 2022

Studi di Livello 3

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

INDICE

1	INTRODUZIONE	2
2	GENERALITÀ	3
3	ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA	5
3.1	Inquadramento generale	5
3.2	Inquadramento geomorfologico	6
3.3	Inquadramento geologico e litologico	9
3.4	Inquadramento idrogeologico	13
4	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	16
4.1	Inquadramento sismotettonico generale	16
4.2	Caratterizzazione sismogenetica locale	19
4.3	Sismicità storica	22
4.4	Faglie capaci e sorgenti sismogenetiche	26
4.5	Zonazione sismica nazionale	30
4.6	Pericolosità sismica di riferimento	31
5	MICROZONAZIONE SISMICA. PRINCIPI FONDAMENTALI E FINALITÀ	34
5.1	Introduzione	34
5.2	La natura del problema	34
5.3	Finalità e livelli di approfondimento	36
6	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI DA INDAGINI PREGRESSE E DI NUOVA REALIZZAZIONE	37
6.1	Indagini pregresse e di nuova realizzazione	37
6.2	Metodologia di elaborazione delle nuove indagini	37
6.2.1	Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)	37
6.2.2	Sintesi dei risultati	39
6.2.3	Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.)	40
6.2.4	Sintesi dei risultati	42
6.3	Modello geosismico del sottosuolo. Interpretazione e incertezze	43
7	ELABORATI CARTOGRAFICI	44
7.1	Carta delle indagini (Livello 1)	44
7.2	Carta geologico-tecnica (Livello 1)	45
7.3	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1)	49
7.3.1	ZONE STABILI	49
7.3.2	ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI	50
7.3.3	ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ	53
7.4	Carta delle frequenze	54
7.5	Carta della pericolosità sismica locale (CPSL)	57
8	APPROFONDIMENTI DI LIVELLO 3	59
8.1	Analisi di riposta sismica locale	59
8.1.1	Descrizione del metodo	60
8.1.2	Analisi numeriche condotte	67
8.2	Verifica della stabilità del versante in condizioni sismiche mediante metodo pseudo-statico di Newmark	74
8.3	Approfondimenti sulle zone di attenzione per "faglie potenzialmente attive e capaci"	81
9	PROPOSTA PER LE NORME TECNICHE OPERATIVE (NTO)	84
10	REDAZIONE CARTOGRAFICA E CREAZIONE BASI INFORMATIVE	86
11	BIBLIOGRAFIA	89
12	ALLEGATI FUORI TESTO	90

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

1 INTRODUZIONE

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

I rischi naturali possono essere mitigati attraverso azioni preventive, come la corretta gestione del territorio da parte delle amministrazioni competenti. Attendere un evento sismico per intervenire in fase di emergenza, aumenta esponenzialmente il costo di gestione degli interventi e delle successive ricostruzioni. Al contrario, 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".

2

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.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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 è stato svolto ad un Livello 3 di approfondimento, secondo le modalità riportate negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dalla Conferenza delle Regioni e

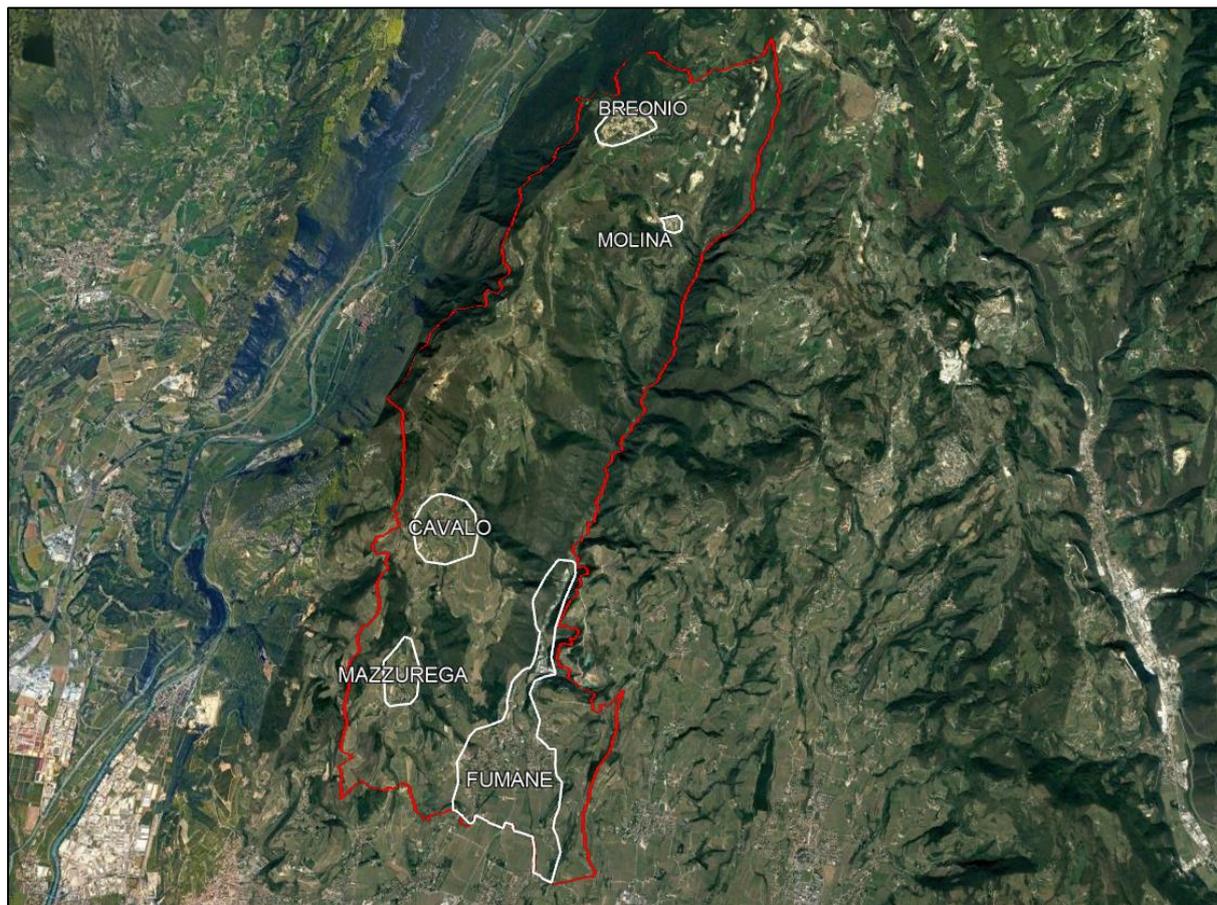
Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti

delle Province autonome il 13/11/2008 e s.m.i. e secondo le **DGRV 1572/2013 - DGRV 899/2019 - DGRV 1381/2021**. Inoltre, tale studio recepisce e integra quanto ottenuto nel Livello 1 di Microzonazione Sismica, condotto nell'anno 2019 da "Studio Mastella" e del quale si riprendono le parti generali tutt'ora valide.

Per quanto riguarda la rappresentazione cartografica e l'informatizzazione dei dati, sono state utilizzate le indicazioni previste dagli "Standard di rappresentazione e Archiviazione Informatica" - versione 4.2.

La metodologia prevede che il Livello 1 di approfondimento sia esteso a tutto il territorio comunale, ad esclusione delle zone SIC e ZPS, in sede di redazione del P.A.T. mentre il Livello superiore di approfondimento, a supporto del P.I. e PUA, dev'essere condotto sulle parti di territorio suscettibili di amplificazione sismica individuate nello studio di Livello 1 (e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio che comportano un incremento dei carichi urbanistico/insediativi) e per il territorio compreso nel perimetro del centro abitato.

In accordo con il Comune, quindi, sono state individuate cinque zone (corrispondenti, oltre al centro di Fumane, alle località di Breonio, Molina, Cavallo e Mazzurega) su cui sviluppare le analisi di livello 3, con quantificazione delle possibili amplificazioni del moto sismico di base e valutazione delle potenziali instabilità sismo-indotte presenti nel territorio comunale.



Allo scopo di definire ancora più nel dettaglio le caratteristiche sismiche dei terreni del sottosuolo, sono state appositamente eseguite per il presente lavoro una serie di indagini geofisiche (Cap. 6) nelle aree indagate.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti

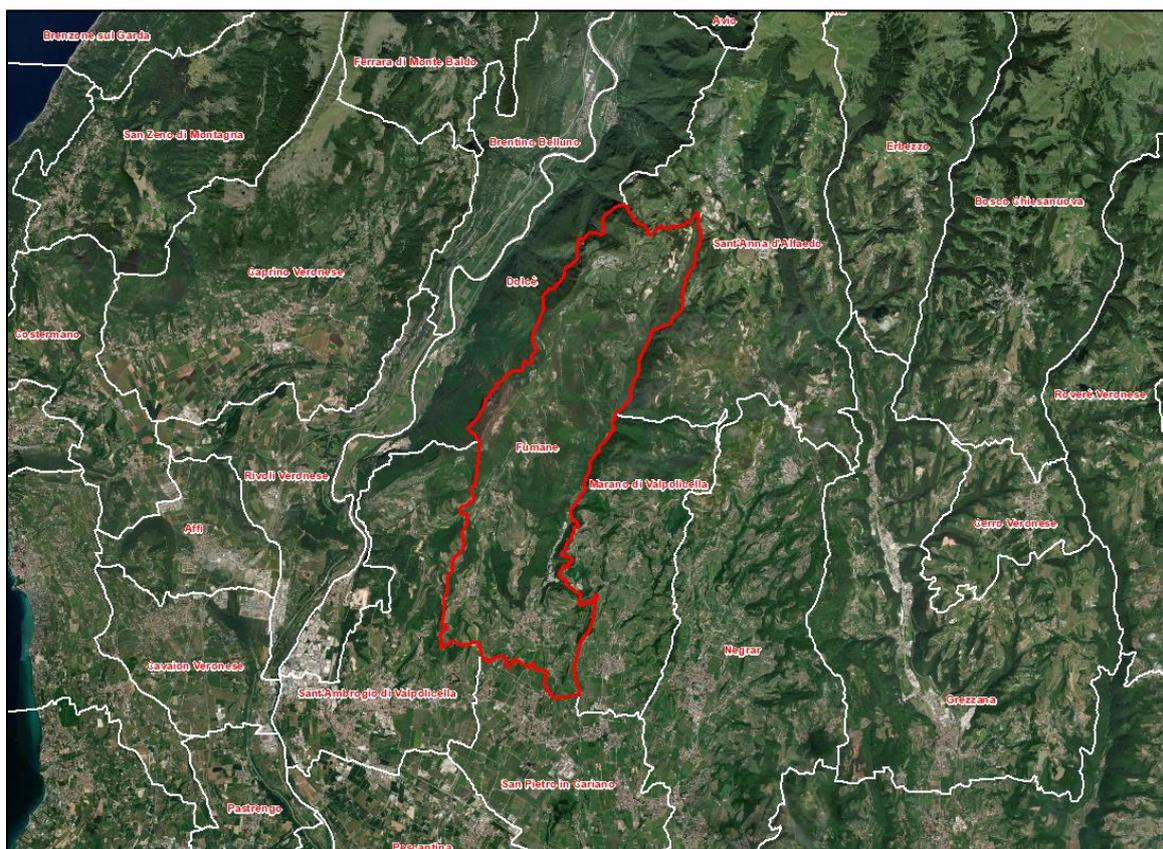
3 ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA

Nel presente capitolo vengono illustrate le principali caratteristiche geomorfologiche, litologico-stratigrafiche ed idrogeologiche del territorio oggetto di analisi, riprese dalla Relazione Illustrativa dello studio di microzonazione sismica di Livello 1 del Comune di Fumane, condotta come accennato dallo "Studio Mastella", a sua volta basato sulla relazione illustrativa e sulle tavole del piano conoscitivo geologico del P.A.T. a cui si fa riferimento per ogni approfondimento.

Tuttavia, si precisa che, in seguito agli aggiornamenti di alcuni database a cui ci si riferisce nelle pagine seguenti, si è ritenuto opportuno modificare ed aggiornare le informazioni relativi ad essi qualora si fossero discostate dalle precedenti versioni.

3.1 Inquadramento generale

Il Comune di Fumane (VR) è situato nel cuore della Valpolicella, confinando ad est con il Comune di Marano, a nord con quello di S. Anna d'Alfaedo, ad ovest con i Comuni di Dolcè e S. Ambrogio, a sud infine con i Comuni di S. Pietro in Cariano ed ancora S. Ambrogio; il territorio comunale ha un'estensione di 34,28 km² ed ha una popolazione residente di circa 4.200 abitanti, distribuita per circa una metà nel capoluogo e per l'altra metà nelle frazioni e nelle case sparse.



Inquadramento generale del territorio

Nella cartografia nazionale dell'I.G.M. esso è compreso nelle seguenti Tavole della Carta Topografica d'Italia alla scala 1:25.000: Dolcè (F. 48 I NE) e S. Pietro in Cariano (F. 48 I SE), ed è compreso nel Foglio Peschiera del Garda (F. 48) alla scala 1: 100.000 della Carta Geologica d'Italia.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

Per quanto attiene alla cartografia tecnica regionale alla scala 1:5.000 gli elementi interessati, da Nord verso Sud, sono i seguenti:

- 101151 Breonio
- 101164 Sant'Anna d'Alfaedo
- 101152 Molina
- 101163 Vaggimal
- 123034 Monte Pastello
- 123031 Manume
- 123033 Cavalo
- 123032 Purano
- 123074 Sant'Ambrogio di Valpolicella
- 123071 Fumane

3.2 Inquadramento geomorfologico

Il territorio comunale di Fumane si colloca nella porzione occidentale della provincia di Verona e si estende prevalentemente lungo una direttrice Nord-Sud riproponendo, da un punto di vista morfologico, gli aspetti caratteristici dell'altipiano lessinico: profonde incisioni vallive orientate grossomodo NNE-SSO isolano dorsali blandamente degradanti verso l'alta pianura veronese.



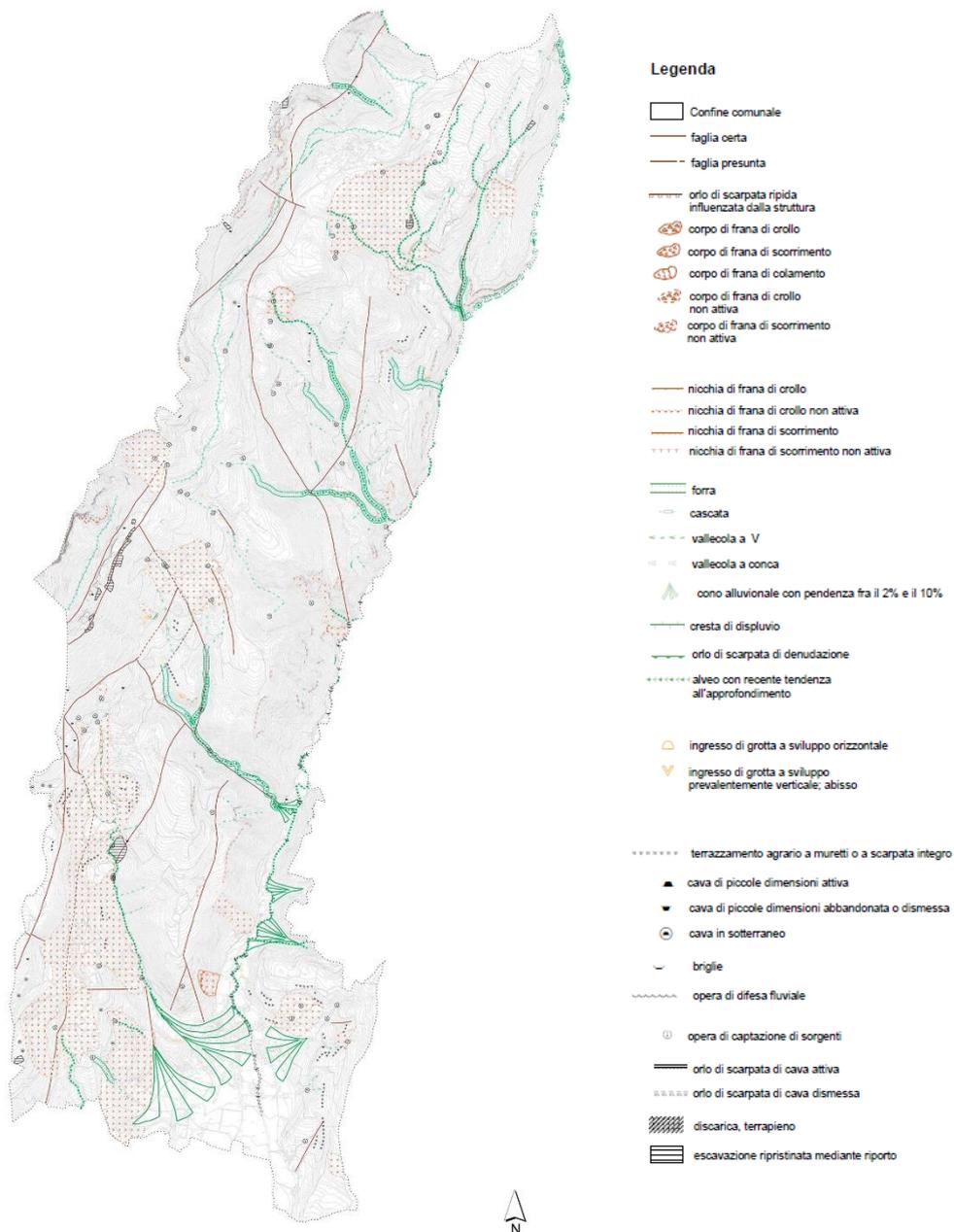
Sulla dorsale che si prolunga dal Monte S. Giovanni verso M. Crocetta-M. Pastelletto-M. Pastello-M. Castello si trovano le frazioni di Breonio, Gorgusello, Molina, Manune, Verago e Cavalo. Da quest'ultima località, la dorsale si biforca in due secondarie: ad Est verso M. Rivoli e ad Ovest verso M. Solane, in prossimità delle quali troviamo rispettivamente i centri abitati di Fumane e Mazzurega.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti

Il Monte Pastello è il più importante elemento morfologico che si individua nel territorio oggetto d'indagine; è rappresentato dall'aspro bastione che si erge nella porzione Nord-occidentale del comune, al di sopra delle dolci morfologie dell'area di Molane-Cavalo.

Le forme rilevate nel territorio comunale possono essere attribuite principalmente all'erosione idrica in senso stretto e, secondariamente, a fenomeni di tipo gravitativo. Tali forme sono spesso condizionate da deformazioni di origine tettonica che determinano superfici di minor resistenza all'interno delle rocce lapidee per gli agenti erosivi.

Il prevalente aspetto montano del paesaggio è il risultato di una continua trasformazione del territorio ad opera di agenti naturali ed antropici. La natura e le caratteristiche del substrato roccioso sono elementi fondamentali nell'evoluzione del territorio, oltre al fattore tempo. Anche l'Uomo, con lo sfruttamento dei materiali lapidei, interviene in questo processo naturale, accelerandolo e modificandolo.



Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

All'interno del territorio comunale sono state riscontrate le seguenti forme:

Forme carsiche

Per quanto riguarda i fenomeni carsici, sono state ubicate numerose cavità, sia ad andamento verticale che orizzontale. La grotta più profonda è l'Abisso dei Balletti, con i suoi 42 metri, mentre quella più lunga nonché una delle più famose in Provincia di Verona è la "Grotta Verona", caratterizzata da stupende ed abbondanti concrezioni lungo i 401 metri di sviluppo sotterraneo.

La porzione settentrionale della Valle dei Progni è caratterizzata dalla presenza di cascate che rientrano nel territorio del Parco Naturale Regionale della Lessinia. Si tratta di numerose cascate, di particolare bellezza, a cui è collegato un nome sulla base del colore, delle forme, ecc.

Forme gravitative

Nel territorio comunale, a seguito anche degli ultimi aggiornamenti PAI, sono presenti n. 6 aree di frana attiva che presentano vari gradi di pericolosità compresi tra P2 e P4, e che vengono di seguito brevemente descritte:

1. "Camporiondo" - Estesa frana di scorrimento individuata nel "Piano stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico" con il codice 0230007301; è caratterizzata da aree a diverso grado di pericolosità (P2=media, P3=elevata e P4=molto elevata). Sono stati effettuati vari interventi tra cui la sistemazione della strada interpodereale mediante la realizzazione di un cordolo tirantato e fondato su micropali. La superficie interessata dal fenomeno è pari a 60961 m².
2. "Mazzurega" - Il corpo franoso (codice 0230066400) interessa il centro abitato omonimo ed in particolare almeno 5 abitazioni. È una frana di colamento, con pericolosità P3, monitorata dalla Provincia di Verona con n. 2 clinometri e n. 2 piezometri. Il fenomeno franoso interessa un'area di mq. 19492.
3. "Costa delle Corone" - Frana per crollo (codice 0230066500) dalla parete rocciosa in destra idrografica della Valle di Fumane, ove affiora la formazione dei Calcari Grigi di Noriglio che si presenta più o meno dolomitizzata. Interessa una superficie di mq. 41823. L'ultimo evento, che ha interessato alcune abitazioni e strutture, risale alla seconda metà degli anni '70 in occasione del quale è stato effettuato il disaggancio delle pareti rocciose e sono state realizzate delle barriere paramassi alla base del versante. È caratterizzata da una pericolosità P3 e P4.
4. "Breonio" - La frana (codice 0230070900), che interessa la Chiesa vecchia, la casa adiacente, il cimitero e l'area a valle della strada provinciale, era attiva già negli anni '60. Recentemente ha evidenziato una riattivazione. La superficie interessata dal fenomeno franoso di scorrimento si estende per mq. 37107. È caratterizzata da una pericolosità P2.
5. "Parco Cascate di Molina" - Da verifiche effettuate in sito l'area risulta soggetta a fenomeni di crollo limitati su l'area individuata; è stato ritenuto opportuno quindi l'inserimento nel PAI (codice 0230087400) con una pericolosità P4 analogamente a quanto fatto con le altre segnalazioni regionali. Nel corso degli anni sono realizzate chiodature, reti e disgaggi per limitare i fenomeni locali ma si ritiene opportuno la realizzazione di uno studio di dettaglio per approfondire le aree a maggior pericolosità del Parco e stabilire le priorità di intervento di messa in sicurezza.
6. "Loc. Cavarena" - Scivolamento Rotazionale che ha interessato un edificio sgomberato dal Sindaco. Inserimento nel PAI (codice 0230094400) con pericolosità P3 a seguito di sopralluogo di verifica.

Forme e processi fluviali

La porzione meridionale del comune, ed in particolare quella situata nell'ambito della Valle dei Progni, è caratterizzata dalla presenza di coni alluvionali di origine torrentizia; i principali si trovano tra il M Santoccio e il M. Scarin, tra quest'ultimo ed il rilievo adiacente, tra Cà Pangoni e Cà Seri, ed infine gli ampi coni di Fumane, M. Fumana e di Osan-Bertarole.

Le dimensioni di queste strutture morfologiche sono molto varie ed in relazione alla capacità di trasporto dei corsi d'acqua che le originano, nonché dalla natura dei materiali presenti nel bacino

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

idrografico. Alcuni di questi (Fumane e M. Fumana), si interdigitano tra loro e con i depositi alluvionali recenti e/o attuali del Progno di Fumane.

Forme antropiche

Nel territorio comunale vi sono aree occupate da cave di prestito di materiali lapidei. Si tratta per lo più di cave aperte all'interno della Scaglia Rossa Veneta per coltivare un livello caratterizzato da buone caratteristiche commerciali noto come "lastame" o "Pietra di Prun" e, secondariamente, di cave aperte all'interno di rocce appartenenti al Giurassico. I principali poli estrattivi sono quelli di "M. Pastello-F.te Masua" e "Breonio-Gorgusello-Molina". Nel PRAC sono censite n° 30 cave attive (n° 6 classificate come "Calcare lucidabile e marmo" e n° 24 come "Calcare da taglio") e n° 9 cave estinte (n° 3 classificate come "Calcare lucidabile e marmo", n° 5 come "Calcare da taglio" e n° 1 come "Detrito"). Tutte le cave sono identificate da apposito codice.

Vi sono inoltre cave abbandonate o dismesse non censite dalla Regione Veneto. Si tratta, per lo più, di cave la cui attività estrattiva esercitata in passato, si è sviluppata quasi esclusivamente in sotterraneo. Si tratta di cave più o meno sviluppate in completo stato di abbandono. Tutti gli ingressi e parte delle gallerie delle escavazioni in sotterraneo presentano evidenti segni di degrado, instabilità e collasso. In alcuni casi, come ad esempio tra località "Cà Varena di sopra" e "Le pontare", recenti lavori di sistemazione agraria hanno completamente mascherato/occluso due ingressi di cave di lastame in sotterraneo. Eventuali altre escavazioni, certamente di piccola entità, effettuate in passato possono risultare mascherate da materiali lapidei generalmente grossolani, oppure dalla rigogliosa vegetazione.

3.3 Inquadramento geologico e litologico

Da un punto di vista litologico, il territorio comunale è costituito prevalentemente da rocce calcaree, calcareo marnose e calcarenitiche, localmente dolomitizzate e ricristallizzate, ricoperte da materiali sciolti a granulometria eterogenea.

In alcuni settori sono stati riconosciuti accumuli più o meno stabilizzati di materiali appartenenti a paleofrane. Le aree contraddistinte da situazioni di equilibrio precario sono prevalentemente quelle con elevata componente argillosa.

La serie stratigrafica presente nel territorio del Comune di Fumane è rappresentata dai seguenti termini che vengono di seguito brevemente descritti a partire dai più antichi:

1. Calcari Grigi di Noriglio (Giurassico inferiore, Lias). Si tratta di un'unità di calcari di piattaforma, potente 400 metri costituiti, alla base da depositi ciclici di piana tidale (calcareniti oolitiche ed oncolitiche, micriti con sottili intercalazioni argillose, stromatoliti, ecc.) cui seguono depositi ciclici di tipo lagunare-palustre, quali lumachelle a bivalvi (Lithothys, Perna) e calcari biostromali intercalati a micriti grigie laminate e a paleosuoli con bioturbazioni da apparati radicali. Localmente, sono interessati da una certa dolomitizzazione. I Calcari Grigi affiorano sul versante occidentale del M. Pastello e in corrispondenza del nucleo dell'anticlinale presente ad Ovest del Progno di Fumane.
2. Gruppo di S. Vigilio (Giurassico medio p.p.). È costituito da calcari biocostruiti, calcareniti encrinliche e oolitiche e da calcari marnosi selciferi della formazione di Tenno. L'unità rispecchia la sedimentazione in un ambiente marino relativamente poco profondo ed evidenzia un approfondimento relativo del fondale in tale periodo. I calcari del Gruppo di S. Vigilio presentano una potenza totale massima di circa 50-70 metri lungo la dorsale del Monte Pastello; spessore che va via via riducendosi verso Est e verso Sud. La formazione affiora ampiamente nella porzione sommitale della dorsale M. Pastello-M. Pastelletto, in corrispondenza del versante occidentale della dorsale M. Crocetta-Dosso Biotto, presso Verago, Navesa e lungo i versanti della Valle dei Progni e della Valle di Lena.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

3. Rosso Ammonitico Veronese (Giurassico superiore-Giurassico medio p.p.). L'unità affiora ampiamente sulla porzione sommitale del versante in sinistra idrografica della Valle dei Progni e in prossimità di Veraglio (M. Rumala e Pian di Navesa). La potenza del Rosso Ammonitico è pari a circa 20-25 metri. Tale unità è costituita da calcari di ambiente marino di altofondo pelagico, a grana fine, nodulari, di colore rosso mattone, rosato e bianco con hard-grounds, ricchi di ammoniti (Dimorphinites, Cadomites, Oxycerites, Procerites, ecc.), belemniti e stromatoliti. Si distingue un membro inferiore potente 7-8 metri ed un membro superiore dello spessore di circa 13-14 metri. I fenomeni carsici superficiali e profondi sono diffusi. La formazione è localmente interessata da fenomeni di dolomitizzazione.
4. Maiolica (Cretaceo superiore p.p.-Cretaceo inferiore). Si tratta di calcari finissimi di ambiente schiettamente pelagico, marnosi, da bianchi a grigio chiari, fittamente stratificati con noduli e letti di selce variamente colorata, prevalentemente nera nella parte superiore dell'unità. Nell'area d'indagine lo spessore della formazione raggiunge una potenza compresa tra circa 40 e 70 metri e spesso costituisce il substrato dei prati e dei pascoli. La Maiolica affiora principalmente ad Est di Gorgusello di Sopra, a Nord e a Sud di Molina e tra Costa delle Corone e M. Santoccio.
5. Scaglia Rossa Veneta (Cretaceo superiore p.p.). È costituita da calcari micritici, localmente nodulari, fittamente stratificati, di colore grigio-biancastro nella parte inferiore della formazione, che gradatamente acquistano un colore rosato ed un maggior contenuto in pelite. La Scaglia Rossa è uno dei litotipi più diffusi nel territorio comunale ed affiora su ampie superfici ad Est di Forte Masua, sui monti Santoccio, Solane, Rivoli e Crocetta e, infine, nell'area Molina-Gorgusello-Sottosengia ove esiste un'intensa attività estrattiva (cave di "lastame" o "Pietra di Prun"). All'interno degli strati coltivati (calcari nodulari) sono frequenti i resti fossili di squali, mosasauri, tartarughe, denti e vertebre di Ptychodus, lamellibranchi (Spondilus, Inoceramus) e ricci di mare (Stenonia tuberculata, Holaster). Lo spessore della Scaglia Rossa Veneta è di circa 55-70 metri. Comuni sono i fenomeni carsici che interessano la porzione medio-bassa della formazione (lastame), facilmente visibili sui fronti di scavo e sui piazzali di cava.
6. Scaglia cinerea (Eocene medio-Eocene inferiore p.p.). È costituita da calcari marnosi o da calcari micritici con una leggera frazione terrigena. La formazione è caratterizzata dalla presenza di abbondanti depositi torbiditici carbonatici di ambiente neritico. È molto difficile porre il limite esatto con i sovrastanti Calcari Nummulitici. La potenza della Scaglia cinerea è stimata in circa 20-30 metri. I principali affioramenti sono a Nord di Breonio, tra Rovinal e F.te Masua e a Nord di M. Solane.
7. Prodotti vulcanici e vulcanoclastici basaltici (Paleocene-Eocene inferiore). Nell'area oggetto di studio, sono presenti formazioni ignee di età compresa fra il Paleocene e l'Eocene inferiore. Durante questo intervallo di tempo, l'attività eruttiva avveniva principalmente in ambiente subacqueo con conseguente prevalenza dei prodotti clastici (brecce, tufi, ialoclastiti), spesso fortemente rielaborati e stratificati oltre a basalti. Le vulcaniti più antiche poggiano direttamente sulla Scaglia Rossa Veneta. Tali litotipi sono visibili presso Breonio e Gorgusello, nell'area circostante il M. Creta, ad Est di Casterna e di Valdari nonché presso Verago di sopra. Basalti microcristallini spesso alterati con vacuoli riempiti da zeoliti sono segnalati in località Camporiondo e a Sud di Vajo Vaiara.
8. Calcari Nummulitici (Eocene medio-Eocene inferiore p.p.). Si tratta di calcari a Nummuliti, calcareniti ad alghe e molluschi, di colore bianco-giallastro, da ben stratificati a stratificazione indistinta, di ambiente marino neritico e di calcari di scogliera a coralli in corpi lenticolari addentellati lateralmente fra loro. Affiorano con spessori medi di circa 50-70 metri in particolar modo lungo le dorsali di Monte S. Urbano, M. Creta e M. Solane.
9. Arenarie quarzifere e biocalcareni (Oligocene). Sono depositi che affiorano per uno spessore di circa 30 metri sul M. Castello, poco a Nord di Cavalò. Gli strati sono disposti in discordanza angolare sui terreni eocenici. Sono caratterizzati da superfici d'erosione e da una colorazione giallastra.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

10. Rocce compatte per cementazione:

- a) “Breccia Pernice”. Si tratta di una breccia poligenica sin tettonica, a grossi frammenti con matrice rossastra, solcata da numerose venature di calcite. Affiora solo sul versante orientale del M. Pastello per una lunghezza di circa 2 km ed una larghezza di circa 50 metri.
- b) “Rosa del Garda”. E’ una breccia monogenica a piccoli frammenti, immersi in una matrice giallastra-rosata, con una fitta rete di venature calcitiche. Affiora in località Rocca di Berra e ad occidente di Cavalo.



Un esempio dei litotipi litoidi (calcari stratificati) che bordano la pianura alluvionale su cui si estende l’abitato di Fumane

Depositi sciolti presenti nella Carta Geolitologica del PAT

Come già detto, nel territorio comunale sono conosciute n. 6 aree di frana attiva, dotate di vari gradi di pericolosità (frane di Camporiondo, Mazzurega, Costa delle corone, Breonio, Cavarena, parco cascate di Molina). Le zone di fondovalle sono invece caratterizzate da depositi alluvionali poco addensati e costituiti da elementi granulari sabbioso-ghiaiosi talora in abbondante matrice limo-argillosa. In particolare, nel territorio comunale possiamo trovare i seguenti depositi sciolti:

1. Coperture detritiche eluviali e/o colluviali (Pleistocene). Sono depositi poco addensati e costituiti da elementi granulari sabbioso-ghiaiosi in matrice limo-argillosa, localmente abbondante, collegati a processi d’accumulo operati dal ruscellamento o da azione tettonica. Lo spessore di tali coperture è generalmente compreso tra circa 3 e 10 metri.
2. Alluvioni fluviali e torrentizie (Pleistocene-Olocene). La porzione meridionale del comune, ed in particolare quella situata nell’ambito della Valle dei Progni, è caratterizzata dalla presenza di coni alluvionali d’origine torrentizia. I principali coni si trovano tra il M Santoccio e il M. Scarin, tra quest’ultimo ed il rilievo adiacente, tra Cà Pangoni e Cà Seri; infine sono da menzionare gli ampi coni di Fumane, M. Fumana e di Osan-Bertarole. Le dimensioni di queste strutture morfologiche sono molto varie ed in relazione alla capacità di trasporto dei corsi d’acqua che le hanno originate, nonché dalla natura dei materiali presenti nel bacino idrografico. Alcuni di questi (Fumane e M. Fumana), s’interdigano tra loro e con i depositi alluvionali recenti e/o attuali del Progno di

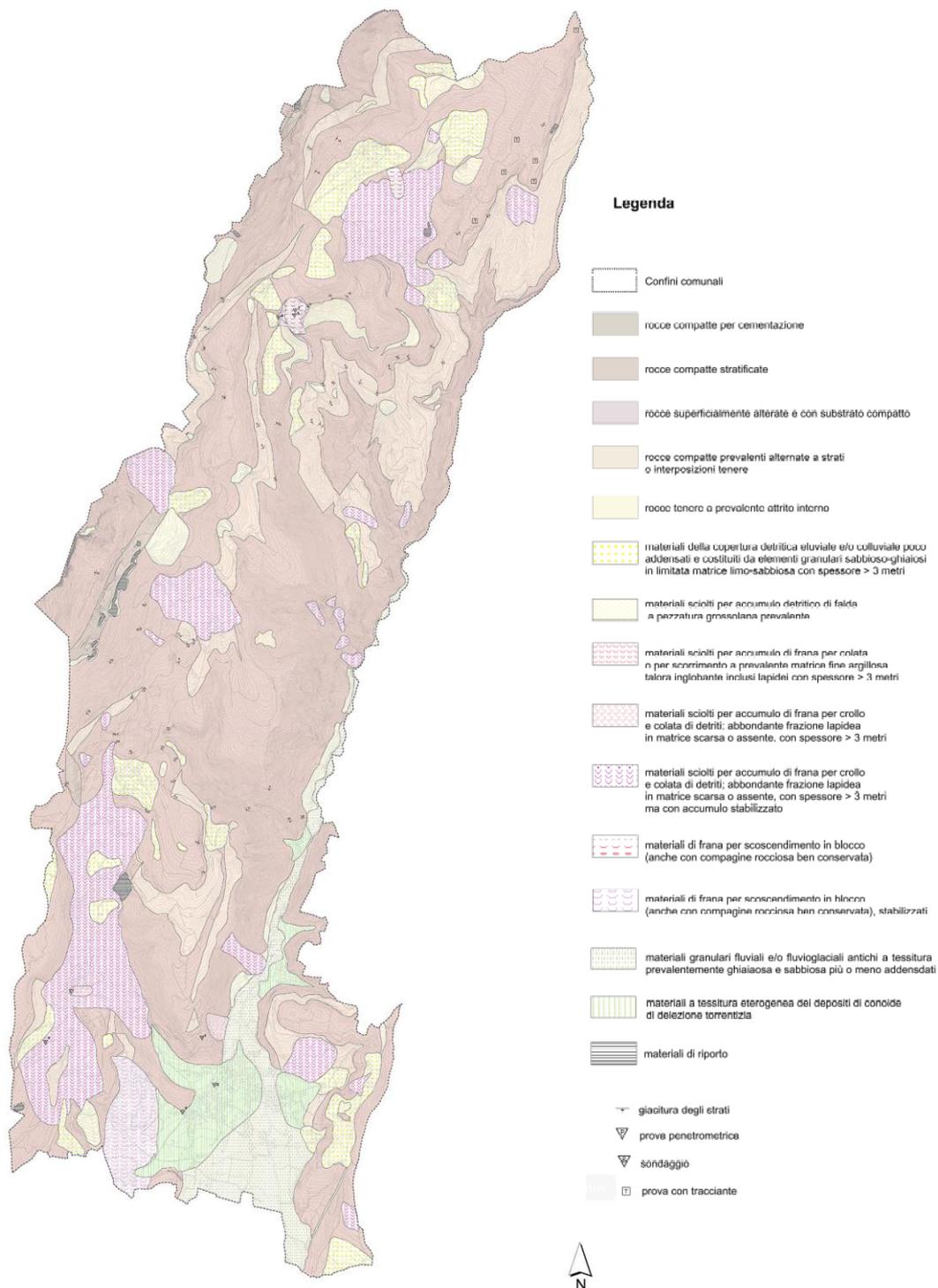
Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

Fumane. Questi ultimi sono costituiti prevalentemente da ghiaie e ciottoli con subordinate percentuali di sabbie, limi ed argille. All'interno dei depositi alluvionali si individuano piccole scarpate d'erosione che delimitano superfici terrazzate.



Scavo all'interno dei depositi ghiaiosi alluvionali che permette di osservare il sottostante substrato geologico

3. Corpi di frana (Pleistocene-Olocene). Numerosi corpi di frana, tra cui alcuni attivi, sono presenti nel territorio comunale. Tali accumuli, che sono avvenuti con meccanismi diversi, interessano formazioni diverse (Scaglia Rossa, Calcari Nummulitici, ecc.). Ne sono stati riconosciuti di tre tipi: "corpi di frana di crollo, di scorrimento e di colamento". I principali fenomeni gravitativi sono ubicati presso Mazzurega, Camporiondo, tra la Chiesa di Breonio e località Facciotti, Prari, Est di Gorgusello, versante meridionale di M. Santoccio, M. Marognon, Vajo Brunesco, Stravalle, Cavarena e lungo la strada che collega Banchette a Mazzurega. Per quanto riguarda le frane attive, si ricordano quelle di Camporiondo e Breonio (frane di scorrimento), Mazzurega (frana di colamento) e, infine, Costa delle corone (frana di crollo).
4. Depositi detritici di versante (Pleistocene superiore-Olocene). Sono materiali di copertura detritica, costituiti da frammenti spigolosi e appiattiti della granulometria delle ghiaie, per lo più derivanti da fenomeni di crioclastismo (Pleistocene superiore), localmente più o meno cementati, e di materiali sciolti grossolani, localmente cementati, che ricoprono generalmente il piede e le parti basse dei versanti di limitata estensione e spessore (Olocene). In località Forte Masua, Navesa e Nogarole sono presenti potenti depositi crioclastici (Grèzes litées), che presentano una evidente stratificazione a basso angolo.
5. Materiali di riporto (Attuale). Sono accumuli di materiali a granulometria eterogenea, variabile dalle ghiaie, ai ciottoli e ai blocchi, di forma irregolare e spigolosa derivanti, per lo più, dall'attività estrattiva lapidea. In alcuni casi sono distribuiti su ampie superfici come, ad esempio, a Cavarena, Rocca di Berra e M. Pastello.



Carta geolitologica P.A.T. Fumane - 2012

3.4 Inquadramento idrogeologico

L'assetto idrogeologico di gran parte del territorio (aree collinari e montane) risulta principalmente influenzato dal grado di permeabilità delle rocce del substrato. La permeabilità, pur essendo nel complesso elevata, è variabile in funzione del tipo di carsismo (superficiale e/o profondo), della fratturazione (talvolta pilotata dalla tettonica), dalla presenza di litotipi marnosi e da interstrati

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

argillosi e/o marnosi e, non ultima, dall'intensa dolomitizzazione delle formazioni mesozoiche presenti nel fondovalle.

Il territorio comunale non si presenta come una tipica montagna carsica essendo disseccato da un fitto reticolo di valli e vallette. L'apparente contrasto tra una morfologia non carsica ed un'idrografia carsica si spiega con l'elevata densità delle linee di faglia e di frattura che sono in grado di drenare l'acqua meteorica in profondità. Per questi motivi il carsismo del territorio comunale e, più in generale, quello dei Monti Lessini può essere definito sia come un "fluviocarso", per il predominio delle forme fluviali, sia come un "tectocarso" per il condizionamento della tettonica e della litologia.

Tuttavia, a differenza della gran parte dell'altopiano carbonatico dei Monti Lessini Veronesi, dove è pressoché assente una idrografia superficiale degna di nota, che si attiva solo in occasione di intense e prolungate precipitazioni, la Valle dei Progni in particolare, è caratterizzata da deflussi idrici più o meno abbondanti per tutto l'arco dell'anno. Ciò può essere collegato all'importante ruolo del carsismo nelle porzioni medio alte del bacino idrografico e dall'intensa dolomitizzazione delle rocce presenti nel fondovalle che determinano una sensibile riduzione della permeabilità.

Per quanto riguarda, invece, la permeabilità dei depositi di fondovalle questa è influenzata dalla granulometria dei litotipi presenti e, nel complesso, varia da media a medio-elevata.

Idrologia di superficie

Nel territorio di Fumane, pur essendo un ambiente con circolazione prettamente carsica sono presenti corsi d'acqua temporanei: tutte le valli principali e le vallecole secondarie presentano un regime saltuario. Localmente sono stati individuati i tratti di alveo con recente tendenza all'approfondimento. Si tratta di porzioni più o meno lunghe di alvei a regime torrentizio ubicate prevalentemente nella porzione centro-meridionale del territorio comunale.

Gli elementi più evidenti sono i tratti della Valle dei Progni, della Valle del Lena e del Vajo di Gravazzo che sono caratterizzati, oltre che da una recente tendenza all'approfondimento, anche da forme direttamente o indirettamente collegate. Tra queste, possiamo ricordare alcuni tratti a forra o con caratteristiche forme di eversione ubicate, generalmente, ai piedi di gradini rocciosi.

Acque sotterranee

Da un punto di vista idrogeologico il territorio preso in esame presenta aspetti di particolare interesse. Infatti, l'area è caratterizzata da un importante acquifero carsico e da piccole falde sospese collegate generalmente a materiali della copertura detritica colluviale ed eluviale e ai materiali degli accumuli di frana.

La circolazione della falda carsica avviene generalmente per condotti o lungo fratture più o meno incarsite principalmente secondo le direzioni N-S e NNE-SSO. Per quanto riguarda, invece, la direzione di flusso delle falde contenute nei materiali porosi, questa dipende dalla natura dei materiali attraversati, dalla morfologia e dalla posizione dei corpi che le contengono.

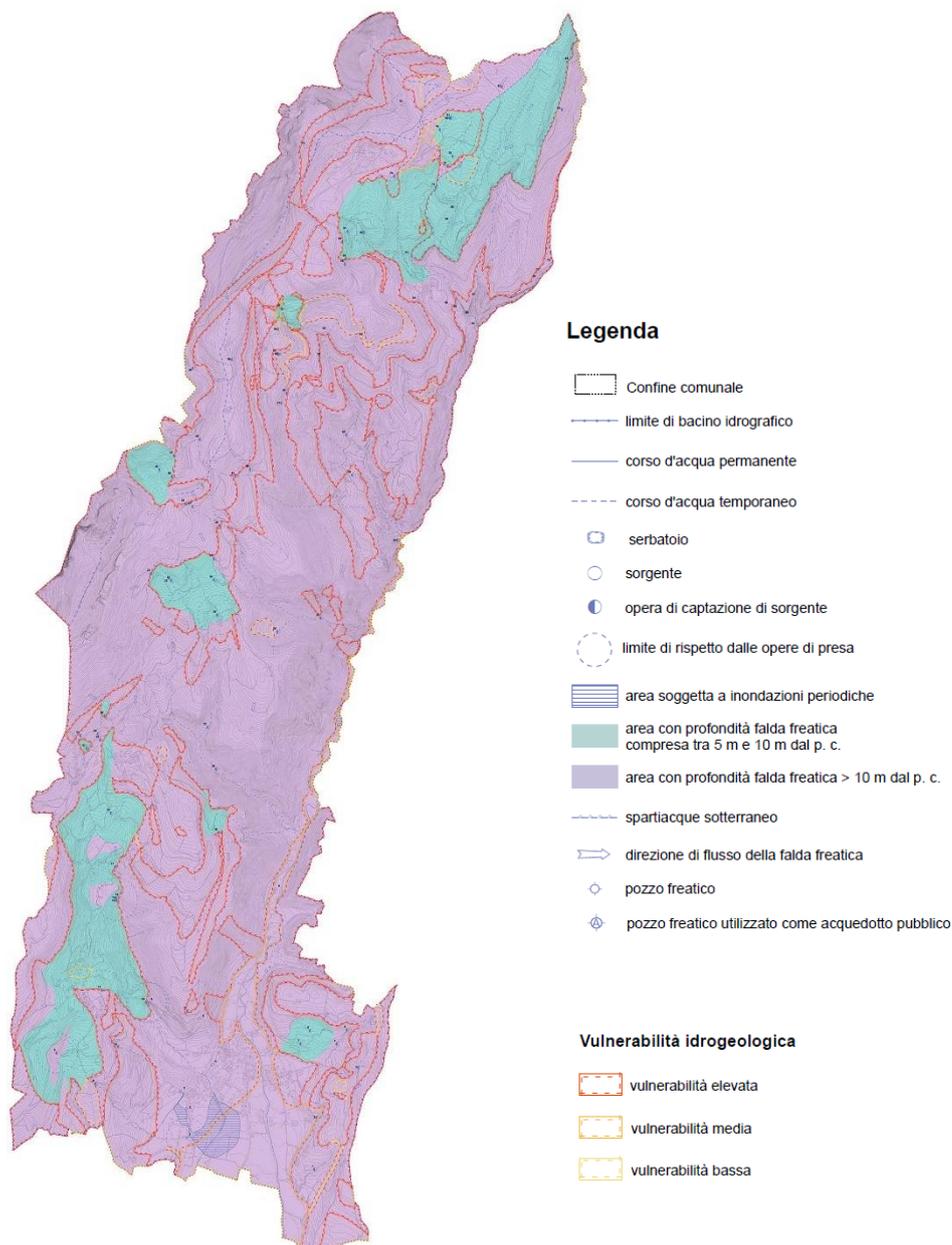
Il sottosuolo è costituito in prevalenza da materiali lapidei di formazioni ascrivibili al Mesozoico e Cenozoico e, secondariamente, da materiali sciolti e/o cementati di età quaternaria. Gli spessori accertati dei litotipi carbonatici superano ampiamente i 500 m, mentre per quelli di copertura la potenza massima si aggira attorno ad alcune decine di metri. Le rocce lapidee e sciolte presentano permeabilità estremamente varie e, nel complesso, contengono una discreta falda acquifera.

Nelle aree in cui sono presenti le rocce lapidee, la profondità della falda è generalmente inferiore a 200 m, mentre in quelle dove sono presenti i materiali di copertura la falda freatica può essere assente o compresa tra 5 e 10 m dal p.c. Nel polo estrattivo di Breonio-Gorgusello, a causa della particolare situazione geologica locale e dell'intensa attività estrattiva, la falda carsica risulta più

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti
con la collaborazione di:	

superficiale e si trova a profondità mediamente comprese tra 5 e 10 m dal p.c., localmente, anche maggiori.

Il sistema idrogeologico sopra descritto, che risente prevalentemente dell'alimentazione da parte di acque locali (Monti Lessini Veronesi) ha, di norma, massimi primaverili ed autunnali e minimi nella tarda estate e, comunque, in relazione alle precipitazioni all'interno dei bacini idrografici dei corsi d'acqua locali.



Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti

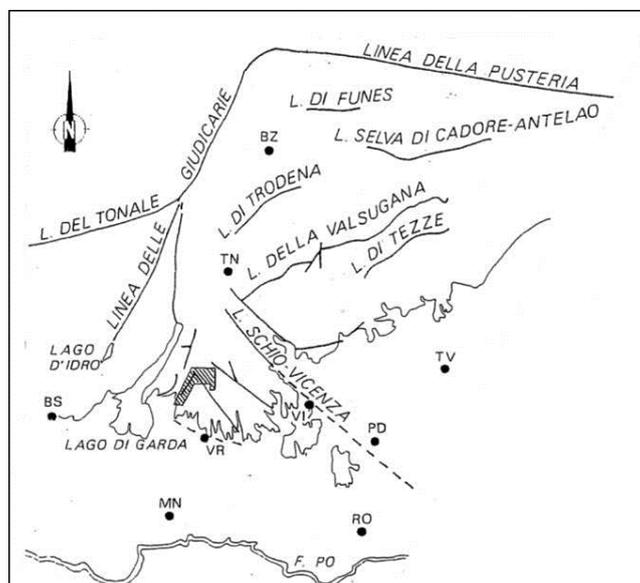
4 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

4.1 Inquadramento sismotettonico generale

Dal punto di vista strutturale, il territorio di **Fumane** si colloca lungo il confine occidentale dei monti Lessini, una monoclinale triangolare leggermente inclinata verso sud che occupa circa 800 km² nel Veneto Occidentale; questo triangolo è delimitato a NW dalla Linea delle Giudicarie, a NE dalla Linea Schio-Vicenza e a S dalla Pianura Padana. L'evoluzione tettonica dei monti Lessini è caratterizzata da ripetuti episodi deformativi che iniziano col rifting Mesozoico: questa iniziale fase estensionale è legata allo sviluppo del margine passivo della microplacca Adria. Ciò permette l'ampliamento verso est del bacino Lombardo e sviluppa delle faglie sinsedimentarie con direzione N-NNE, parallele al margine occidentale della Piattaforma di Trento (CASTELLARIN, 1982; CASTELLARIN & PICOTTI, 1990; ZAMPIERI, 2000).

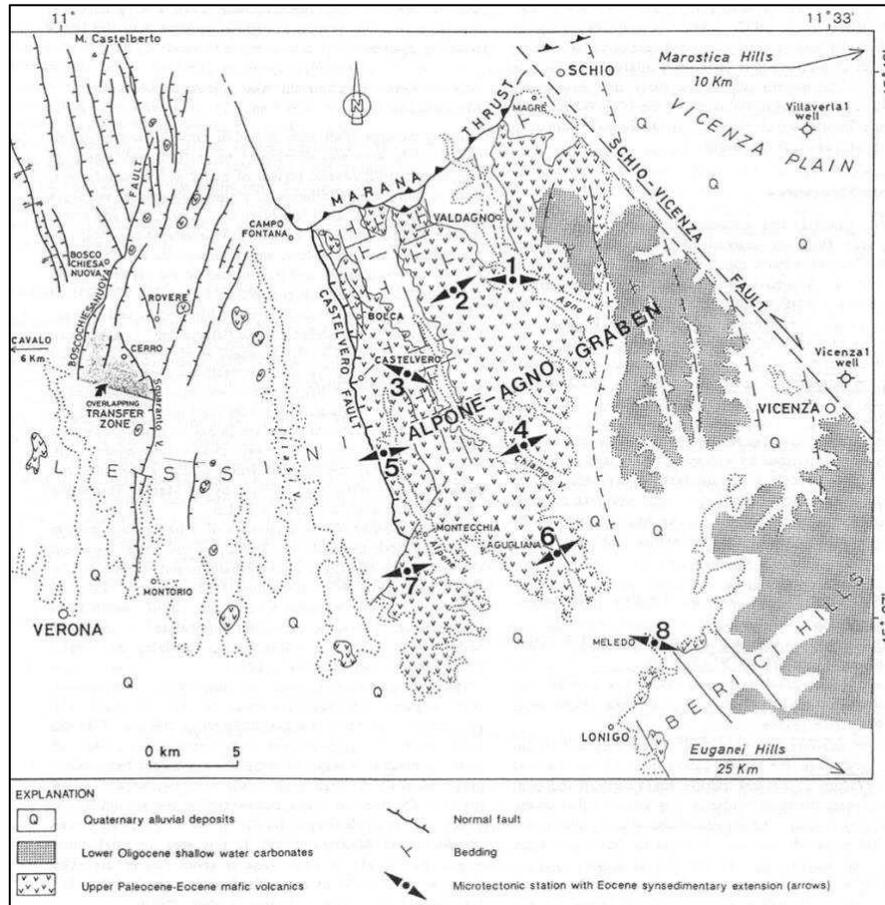
Durante la fase mesoalpina paleogenica (DOGLIONI & BOSELLINI 1987), il trend delle faglie normali cambia, assumendo una direzione N-NNW come il Graben Alpone-Agno, a est dei Lessini; questi movimenti sono paralleli alla linea Schio-Vicenza, vicino alla quale le faglie preesistenti aventi direzione N-NNE, vengono riattivate con movimento normale-obliquo sinistro (PICCOLI, 1966; ZAMPIERI, 1995). Contemporaneamente a questa deformazione, si instaura in tutto il Sudalpino un regime compressivo che porta alla formazione di pieghe con asse NNW-SSE e sovrascorrimenti ovest vergenti; tali strutture hanno origine nell'Eocene e interessano soprattutto il Sudalpino orientale e le Dolomiti (DOGLIONI & BOSELLINI, 1987). Soltanto alla fine del Neogene il Sudalpino assume la caratteristica vergenza verso meridionale. Nel Miocene medio le Alpi meridionali sono soggette a sovrascorrimenti immergenti a nord e pieghe con asse circa E-W (PIERI & GROPPI, 1981) che ovviamente riutilizzano strutture già presenti in precedenza.

16



Lineamenti che delimitano i Monti Lessini: a NW la Linea delle Giudicarie, a NE la linea Schio-Vicenza e a S la Pianura Padana (ARTONI & REBESCO, 1990)

In particolare, le faglie N-S presenti nei monti Lessini con movimento verticale nel Paleocene- Eocene, vengono riutilizzate nel Neogene come faglie trascorrenti: le faglie con trend N-NNE assumono movimento sinistro, mentre quelle con direzione N-NNW assumono un movimento destro (ARTONI & REBESCO, 1989).



Mappa tettonica semplificata dei Monti Lessini tra Verona e Vicenza. Sul lato occidentale due sistemi di graben (NNW-SSE e NNE-SSW) sono chiaramente riconoscibili. Vicino a Cerro un'estesa zona di trasferimento accomoda il cambiamento di immersione delle faglie all'interno del sistema NNE. Sul lato orientale, un graben principale (Alpone-Agno Graben (AAG)) affiora tra la faglia normale di Castelvero e la faglia di Schio-Vicenza. Quest'ultima tronca il bordo orientale del graben, attualmente sepolto sotto il thrust sudalpino (Marana thrust) a nord di Schio e dei Monti Berici settentrionali (ZAMPIERI, 1995).

È durante il Miocene che i monti Lessini subiscono un importante sollevamento, tanto che nel Pliocene, la Piattaforma Lessinea è completamente emersa, e le zone costiere si trovano lungo l'attuale bordo della Pianura Padana (DONDI, 1985). È da ricordare che durante il Pliocene avviene anche il tilting verso sud della Piattaforma Lessinea (ZANFERRARI ET AL., 1982), provocato dalla rotazione di larghi blocchi verso est; quest'ultimo movimento è da ricondurre probabilmente alle deformazioni del margine prealpino che, rispetto all'avanfossa appenninica, è una rampa di avanpaese (CASTELLARIN et al, 1982; DOGLIONI, 1993).

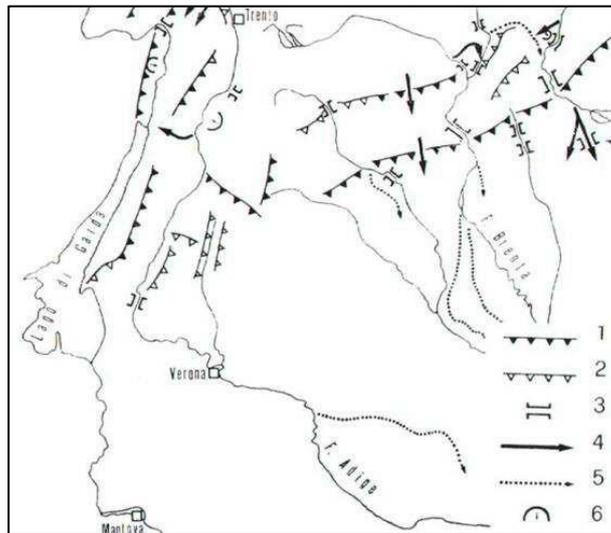
Anche nel Quaternario l'area dei monti Lessini continua ad essere soggetta a sollevamenti differenziali, in linea con il trend deformativo del Sudalpino orientale: tali movimenti sono ancora in atto e hanno probabilmente provocato i forti terremoti registrati nell'area negli ultimi mille anni; a questi movimenti neotettonici possono essere connesse alcune faglie che mostrano superfici molto fresche (i.e.: scarpate tettoniche del graben di Orsara; SAURO, 1978).

La neotettonica

La fase deformativa neoalpina si sviluppa nel Neogene in tutta l'area del Sudalpino (DOGLIONI & BOSELLINI, 1987) ed è l'effetto della convergenza tra la placca Adria e quella Europa. Tale convergenza, legata a movimenti diretti prevalentemente verso nord della placca Adria, ha generato i thrust sudvergenti che caratterizzano tutta l'area Sudalpina. In questo quadro è da inserire anche il

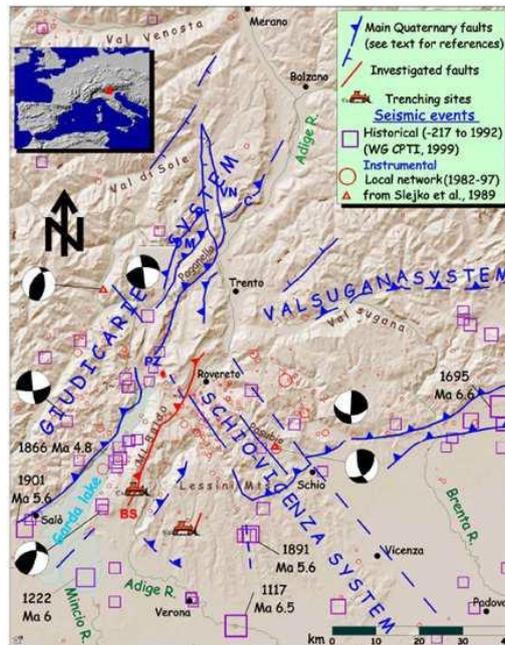
Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti

sollevamento generale che interessava l'area Sudalpina a partire dal Pliocene (ZANFERRARI et al., 1982), probabilmente ancora in atto nella parte del Sudalpino veronese. Quest'ultima area comprende la regione del Garda (Monte Baldo) e l'altopiano dei Lessini ed è caratterizzata da faglie appartenenti a due sistemi diversi: il sistema Giudicariense, con strutture transpressive aventi direzione NNE-SSW che coinvolgono il settore occidentale, e il sistema Scledense, con faglie trascorrenti destre di direzione NNW- SSE posizionate soprattutto nel settore orientale. Queste faglie, ereditate da strutture estensionali mesozoiche e paleogeniche, sono state riutilizzate nelle fasi deformative più recenti, neotettoniche, e sono parallele a lineamenti sismogenetici.



Ubicazione delle forme neotettoniche più evidenti del territorio veronese e limitrofo. Legenda: 1 = scarpate morfoneotettoniche di grandi dimensioni (500 metri); 2 = scarpate morfoneotettoniche ben conservate di medie dimensioni; 3 = fosse e/o tratti vallivi antecedenti; 4 = paleovalvei ed antiche direzioni di scorrimento; 5 = paleovalvei e deviazioni fluviali; 6 = grandi frane, legate probabilmente ad eventi sismici, in corrispondenza di strutture tettoniche. (da ZANFERRARI et al., 1982).

18

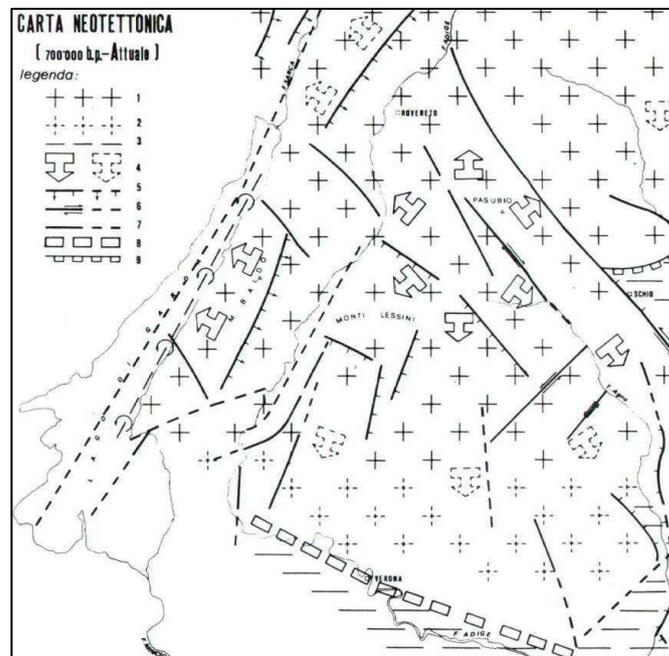


Strutture sismotettoniche del Sudalpino Centrale. La figura mostra le strutture definite in letteratura come attive durante il Quaternario e gli eventi sismici che hanno interessato la regione (da GALADINI et al., 2001).

Nelle rocce calcaree compatte di età giurassica si possono riconoscere alcune delle forme neotettoniche più evidenti; esse sono soprattutto:

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

- scarpate di faglia dalle forme piuttosto fresche (BOSI et al., 1993);
- rotture della superficie topografica dovute a surface faulting;
- forme di erosione accelerata lungo fasce deformative attive;
- dislocazione dei depositi plio-quadernari (simile a quella osservata nei depositi di versante abruzzesi da GALADINI et al., 1991) ;
- strutture del sistema Giudicariense affette da frane.

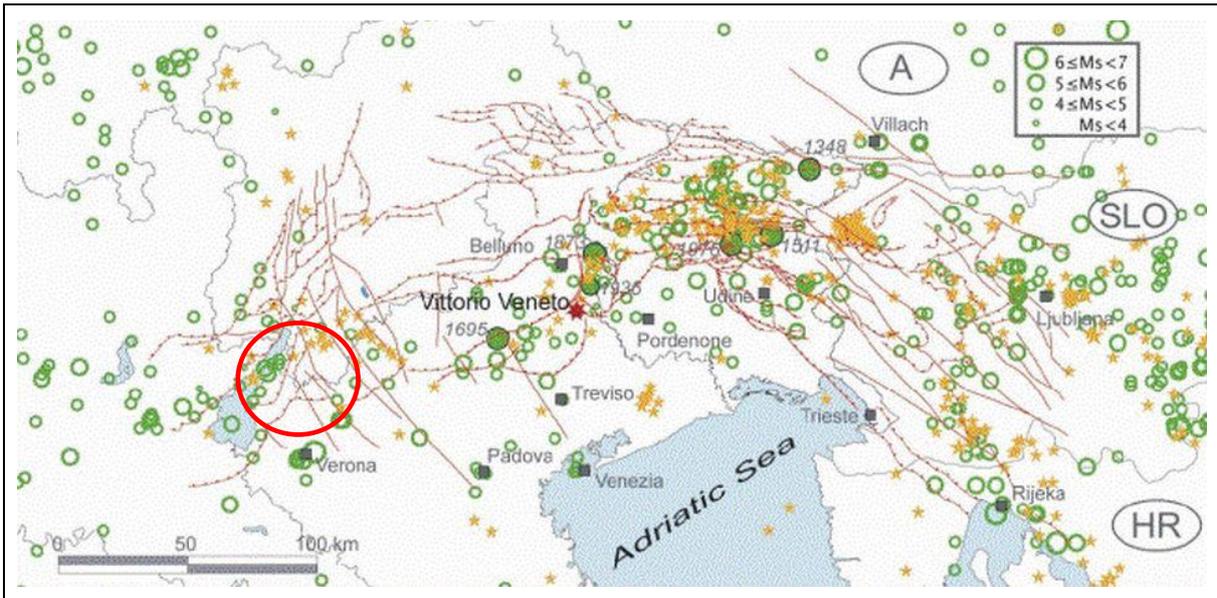


*Carta Neotettonica dei monti Lessini e di zone limitrofe; intervallo rappresentato (700.000 B.P. - Attuale).
Legenda: 1 = zona interessata da sollevamento certo; 2 = zona interessata da sollevamento probabile; 3 = zona interessata da abbassamento; 4 = zona interessata da sollevamento differenziato (freccia rivolta verso la parte meno sollevata); 5 = faglia a prevalente componente verticale (trattini rivolti verso la zona abbassata, freccette secondo l'immersione del piano di faglia); 6 = faglia a prevalente componente orizzontale; 7 = faglia con caratteristiche non precisabili; 8 = fascia (certa o probabile) di deformazione non meglio precisabile; 9 = flessura (rettangoli verso la parte abbassata) (da PANIZZA et al., 1981).*

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.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti



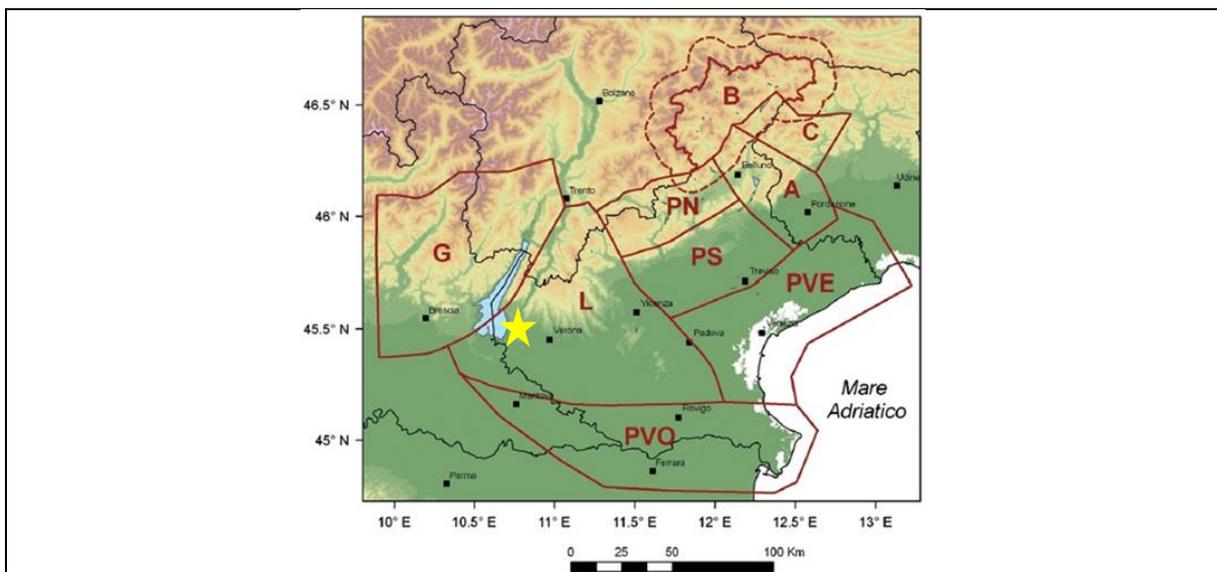
Principali lineamenti tettonici dell'area studiata (in rosso), terremoti storici (in verde), terremoti strumentali recenti (in arancio).

Le principali strutture tettoniche nel Veneto centro-orientale sono rappresentate da sovrascorrimenti con orientazione nord est-sud ovest, tagliati talvolta da faglie trascorrenti.

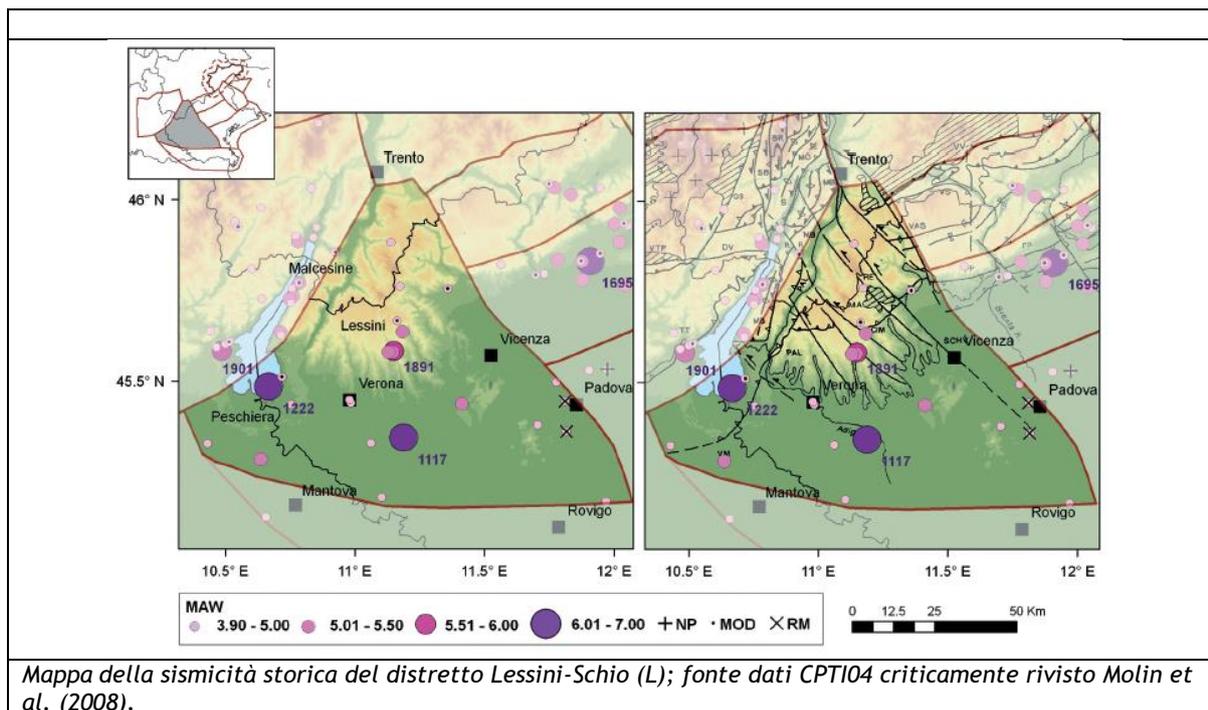
Nel lavoro "Distretti sismici del Veneto" (M. SUGAN E L. PERUZZA, 2011) il territorio regionale del Veneto è stato suddiviso in distretti sismici: ogni distretto rappresenta un'area all'interno della quale si ritiene che i terremoti possano essere identificati da alcuni elementi sismogenetici comuni, 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.

20

Il territorio comunale di Fumane ricade in corrispondenza del margine occidentale della Zona Lessini-Schio (L), come è possibile osservare dall'immagine seguente.



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

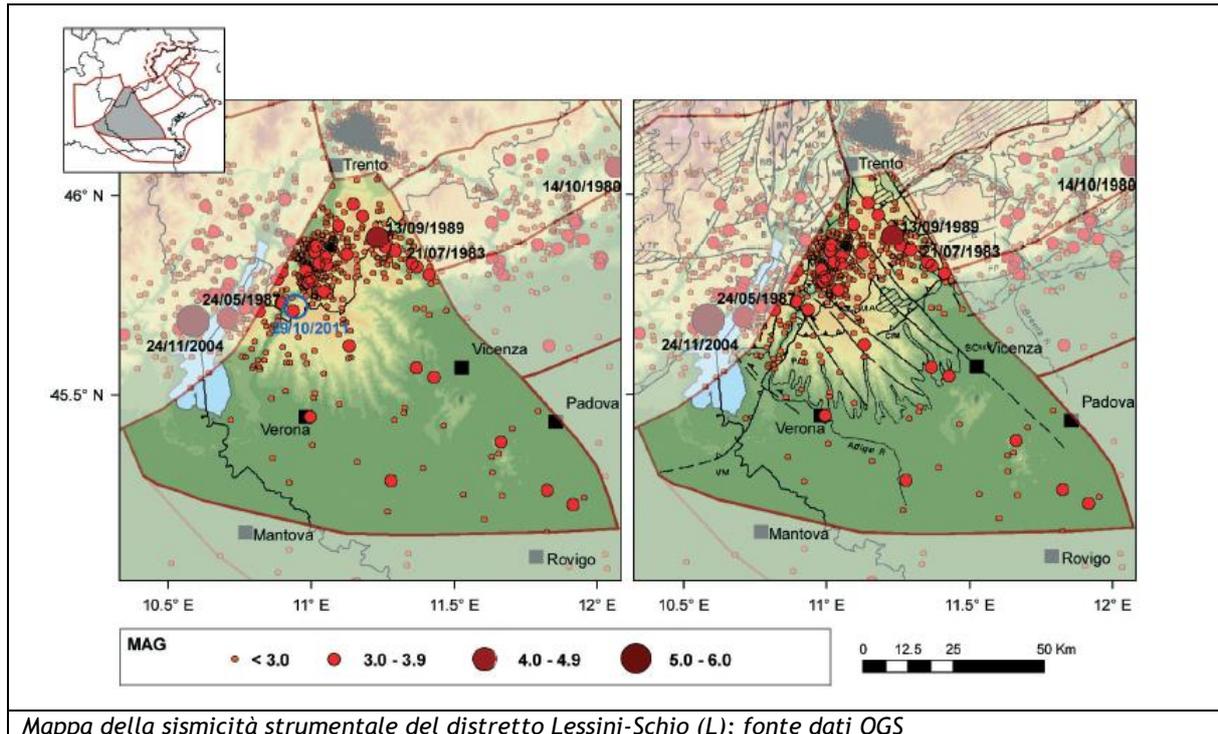


Il primo si estende dai fronti di accavallamento più esterni del sistema delle Giudicarie meridionali ad ovest, fino alla flessura pedemontana ad est, e comprende i monti Lessini, la fascia della linea Schio-Vicenza (SCHV), e i rilievi dei monti Berici e dei colli Euganei. La transizione dal dominio pedealpino a quello pede-appenninico avviene nella pianura padana; il limite meridionale del poligono è stato tracciato in modo arbitrario laddove la sismicità nota risulta minima.

21

L'area è interessata da faglie prevalentemente trascorrenti, disposte nord ovest-sud est. Sono mappati anche alcuni elementi tettonici ad andamento ENE-OSO, quali il sovrascorrimento di Cima Marana o il *klippen* di Castel Malera. La fascia Schio-Vicenza separa le strutture plicative a est (terminazione occidentale del sistema della Valsugana e la flessura pedemontana) dai Lessini posti ad ovest. Essi rappresentano un settore meno deformato, ponte, per alcuni autori, all'avvampasse indeformato che si estende a nord-est di Venezia; in quest'area, infatti, il Pliocene non risulta piegato e immerge dolcemente verso sud nella direzione del centro bacino (p. es. Fantoni et al., 2002; Fantoni e Franciosi, 2009). L'attività recente, e talora l'esistenza stessa di diverse faglie ad andamento nord ovest-sud est e NNO-SSE che attraversano la pianura veneto-friulana, è confutata da diversi autori, e gli schemi strutturali pubblicati negli ultimi anni privilegiano la continuità laterale del fronte deformativo si vedano ad esempio i lavori di Galadini et al. (2002) e Poli et al. (2002, 2009)]. Per la Schio-Vicenza è documentata invece una significativa attività quaternaria (Pellegrini, 1988; Tosi et al., 2007a).

Infine, il vulcanismo terziario diffuso dal Lago di Garda al fiume Brenta, e da Trento ai Colli Euganei ha giocato un ruolo determinante, nella strutturazione della crosta delle Alpi Meridionali orientali e nella reologia deformativa successiva; quanto esso condizioni oggi le modalità del rilascio sismico è difficile provarlo.



Dal punto di vista della neotettonica è in atto un processo di sollevamento articolato dell'area, che la suddivide in piccoli blocchi soggetti sia a sollevamenti differenziali sia a basculamenti ad opera di faglie subverticali, appartenenti ai sistemi giudicariense NNE-SSO, scledense NO-SE e della Valsugana OSO-ENE (Zanferrari et al., 1982). L'intensità del sollevamento aumenta da sud verso nord. La zona dei Lessini orientali, Berici e Euganei è interessata da un movimento di inarcamento anticlinale, con asse circa OSO-ENE collocabile in corrispondenza dei Berici, mentre i Lessini occidentali sono prevalentemente caratterizzati da basculamenti con abbassamento della porzione occidentale dei blocchi. A tensioni secondarie normali all'asse dell'anticlinale berico-euganea sono imputabili i modesti collassi locali con la formazione di depressioni tettoniche (p. es. graben Vicenza-Montecchio e graben Berici ed Euganei). Evidenze di fagliazione recente nell'area dei Lessini e nel settore sudorientale del Monte Baldo sono state proposte da Sauro e Zampieri (2001).

Il distretto dei Lessini è una zona potenzialmente interessata da due forti eventi medioevali, e alcuni eventi che hanno superato la soglia del danno ($I_0=VI$ MCS), ben documentati nel Rinascimento e dalla fine dell'Ottocento.

4.3 Sismicità storica

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

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

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

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

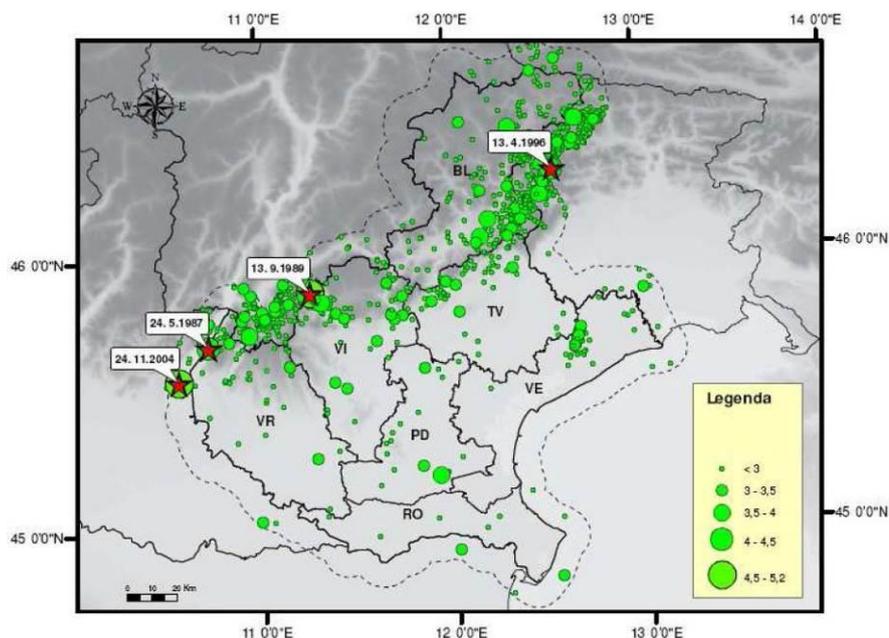
DATA	AREA EPICENTRALE	I MCS MAGNITUDO	DESCRIZIONE
03/01/1117	veronese	IX-X Mw=6.7	I danni maggiori si registrarono a Verona, ma interessarono anche la valle dell'Adige e, verso sud, il territorio fino ai primi rilievi emiliani.
04/11/1268	trevigiano	VII-VIII Mw=5.4	Colpita la provincia di Treviso. Danni 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, Stevenè 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.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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)

24

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 Fumane 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., Conte S., Rocchetti E., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/dbmi/dbmi15.4>) 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.

Il territorio comunale di Fumane appare 6 volte nel Database sopra citato con intensità registrata superiore o uguale a 3. Nella tabella seguente sono stati elencati i vari eventi registrati, con indicati, oltre all'intensità in scala MCS al sito in esame (I), la data (anno, mese, giorno, ora, minuto) in cui si

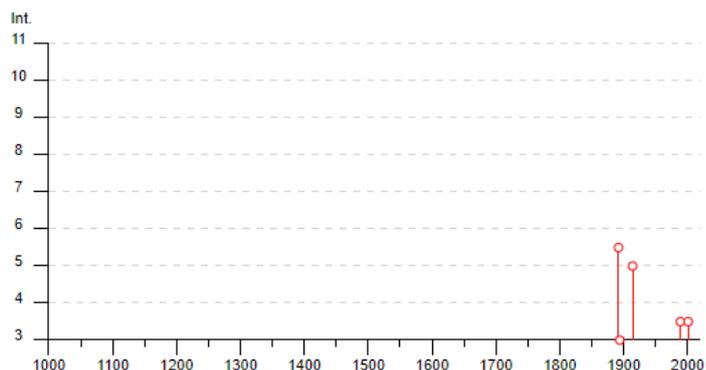
¹ La magnitudo di durata M_D è il tipo di magnitudo che si utilizza per registrare piccoli terremoti, come quelli registrati in zona vulcanica che, vicini agli strumenti, li saturano. Si basa sul logaritmo della durata dell'evento sismico.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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

Fumane

PlaceID IT_22647
 Coordinate (lat, lon) 45.543, 10.883
 Comune (ISTAT 2015) Fumane
 Provincia Verona
 Regione Veneto
 Numero di eventi riportati 8

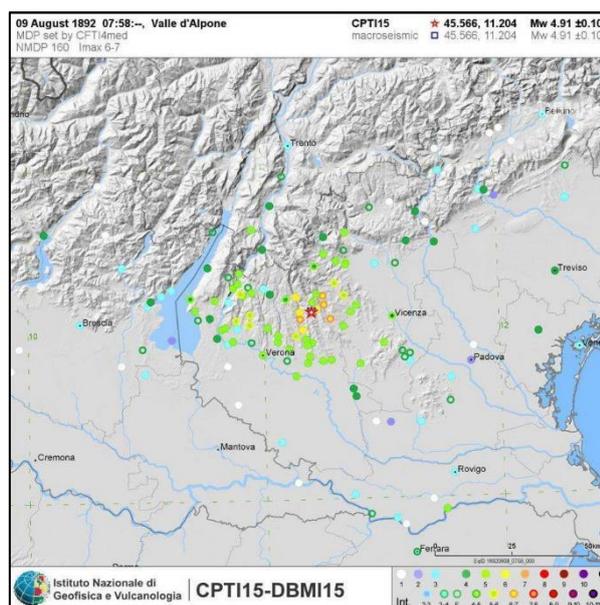


► Personalizza il diagramma

Effetti	In occasione del terremoto del						NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale		
5-6	1892	08	09	07	58		Valle d'Alpone	160	6-7 4.91
3	1894	02	09	12	48	0	Valle d'Illasi	116	6 4.74
5	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7 5.63
2-3	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	1995	12	31	21	29	4	Appennino reggiano	96	4-5 4.51
3-4	2001	07	17	15	06	1	Val Venosta	657	5-6 4.78
2-3	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5 4.21

25

L'evento registrato il giorno 09 agosto dell'anno 1892 è stato quello di maggiore intensità rilevato nel territorio di Fumane. Secondo i cataloghi oggi disponibili (CPTI15, Rovida A., Locati M., Camassi R., Lalli 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 M_w del 1892 sarebbe stata pari a 4,91 e, a Fumane, si sarebbe avvertito con un'intensità MCS di 5-6.



Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti

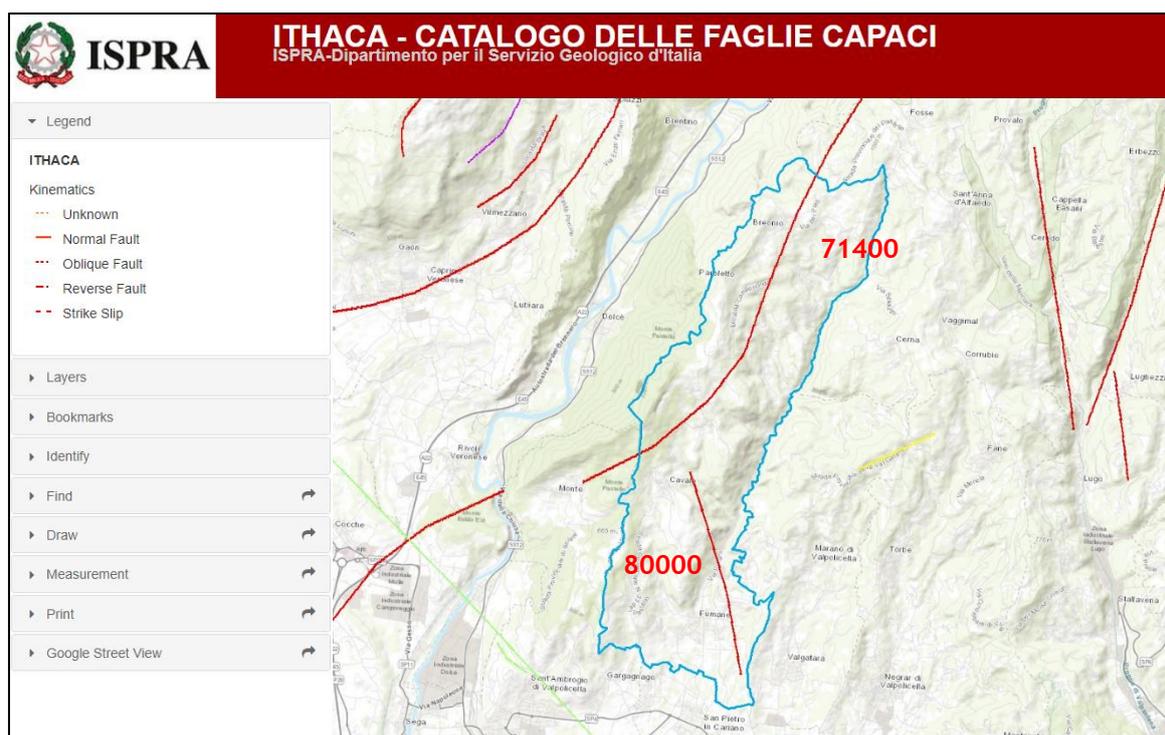
4.4 Faglie capaci e sorgenti sismogenetiche

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 Fumane, 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 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 (*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>*).

Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie: dalla sua consultazione è stato possibile individuare nel territorio comunale in esame, la presenza di **due faglie considerate attive e capaci** (immagine seguente estratta dal sito dell'ISPRA).



26

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

Nome faglia	M. Pastello
Tipo Faglia	Inversa
Codice faglia	71400
Regione	Veneto
Sistema	M. Pastello Line
Ordine	Primaria
Direzione media	200
Direzione di immersione	W

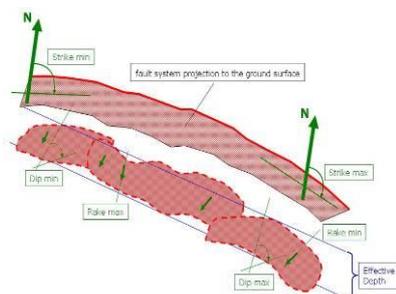
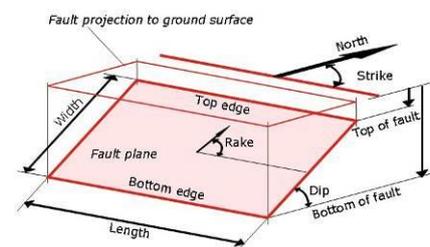
Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti

Lunghezza (km)	19.6
Ultima attività (anni)	Olocene generico (<10000)
Evidenze sull'attività	Deformazioni nei depositi del Pleistocene/Olocene
Qualità dello studio	Sufficiente
Nome faglia	M. Fumana
Tipo Faglia	Diretta
Codice faglia	80000
Regione	Veneto
Sistema	M. Fumana
Ordine	ND
Direzione media	340
Direzione di immersione	W
Lunghezza (km)	4.7
Ultima attività (anni)	Olocene generico (<10000)
Evidenze sull'attività	Deformazioni nei depositi del Pleistocene/Olocene
Qualità dello studio	ND

Sebbene queste faglie siano segnalate da ITHACA si può notare che la qualità degli studi non è sempre nota e gli studi si riferiscono ad aree molto ampie, pertanto la scala di rappresentazione è molto piccola. Le faglie hanno dunque una collocazione e un indice di attività che possono essere considerati non del tutto certi.

La mappa dell'INGV riportata di seguito, derivante dal DISS 3.3.0 (*Database of Individual Seismogenic Sources - DISS Version 3.3.0 rilasciata a dicembre 2021*), 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.

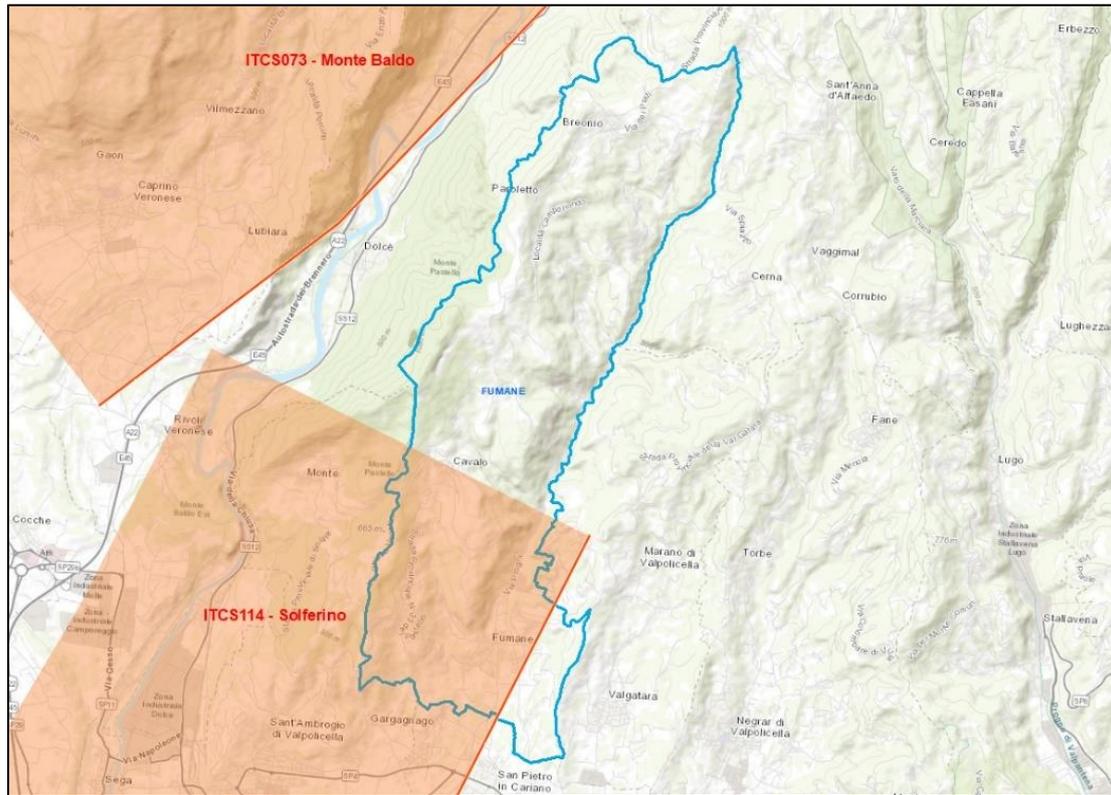


Sorgenti composite (CS): sono regioni estese contenenti un numero non specificato di sorgenti minori allineate che non è ancora conosciuto singolarmente. Le sorgenti composite non sono associate a uno specifico gruppo di terremoti storici.

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 mostra che il territorio comunale di Fumane è parzialmente interessato dalla sorgente composita ITCS114 "Solferino" e si colloca poco a sud-est della sorgente composita ITCS 073 "Monte Baldo".

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti



La **Zona ITCS 114 “Solferino”**, sintetizzata nella tabella che segue, si trova nella zona meridionale del Lago di Garda e collega il sistema di thrust delle Giudicarie con vergenza NE-SW a nord, con i thrust esterni delle Alpi meridionali con vergenza E-W sepolti nella pianura.

28

Questa sorgente è stata definita nell'ambito della ricerca sviluppata durante il progetto europeo GeoMol (<http://www.geomol.eu/>) ed è stata mappata usando l'interpretazione delle linee sismiche, vincolate da mappe di anomalia gravimetrica di Bouguer residuale.

Nel settore settentrionale della pianura padana, le spinte esterne delle Alpi meridionali formano un ampio arco vergente a sud che collega un fronte grosso modo E-W sepolto nella pianura, con le faglie orientate NE del sistema thrust delle Giudicarie. Tuttavia, recenti dati sui sottosuoli evidenziano che la continuità laterale di questo sistema è interrotta a sud del Lago di Garda dalla presenza di faglie normali ereditate dal Mesozoico con direzione NW-SE. Queste strutture sono radicate nel basamento sedimentario e hanno la stessa portata di profondità delle spinte delle Alpi Meridionali attualmente incluse in DISS come fonti sismogeniche, così da poterle segmentare.

Le linee sismiche che attraversano questa zona insieme ad altri dati geofisici mostrano che la connessione tra i due sistemi di thrust è in realtà un'area piuttosto complessa, con due thrust di circa 30 km, orientati WNW-ESE, e vergenti a S (i thrust di Sirmione e Solferino, rispettivamente nell'area nord e sud), situati leggermente a occidente rispetto all'area occupata dalle faglie normali con orientamento NW. Nella stessa area, una mappa dell'anomalia gravimetrica di Bouguer residua mostra due alti gravimetrici en-echelon a gradino destro che evidenziano le anticlinali legate alle spinte di Sirmione e Solferino, e quindi aiutano a definire la geometria in profondità della parte meridionale del sistema di faglie delle Giudicarie.

I cataloghi storici e strumentali mostrano che questa zona è caratterizzata da una distribuzione sparsa di eventi di bassa magnitudo, a parte il terremoto di Basso Bresciano del 1222 che tuttavia è stato associato alle spinte delle Alpi meridionali esterne situate più a ovest.

La direzione della sorgente è stata desunta da dati geofisici del sottosuolo; l'immersione è stata dedotta da considerazioni geologiche regionali riguardanti il piano di spinta. Per il rake è stato assunto

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

rappresenti un thrust puro, sulla base di considerazioni geodinamiche generali. Le profondità minima e massima sono basate su quelle delle fonti vicine e sull'incertezza relativa alla profondità alla quale la spinta attiva è radicata. Il tasso di movimento è stato dedotto dai dati geodinamici regionali.

Minima profondità (km)	3.0
Massima profondità (km)	8.0
Direzione (°)	215 - 270
Inclinazione (°)	25 - 45
Rake (°)	80 - 100
Velocità di movimento (mm/anno)	0.1 - 0.5
Magnitudo massima	6,4

Invece la **Zona ITCS073 “Monte Baldo”** si trova a cavallo della regione ad est del Lago di Garda e appartiene al thrust più esterno del sistema di spinta delle Giudicarie Alpine Meridionali; anche le informazioni relative a questa sorgente sono state aggiornate nell'ambito della ricerca sviluppata durante il progetto europeo GeoMol.

Si tratta di un thrust cieco, che si pensa possa essere identificato come una rampa attiva del sistema di faglia Giudicarie. Il ruolo generale e la geometria di questa sorgente si basano su dati geologici regionali (cfr. Cavallin et al., 1988; Castaldini e Panizza, 1991).

I cataloghi storici e strumentali (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) mostrano una sismicità sismica intermedia sparsa ma significativa lungo la dorsale del Monte Baldo nelle parti centrali e settentrionali di questa regione. In particolare, i cataloghi storici elencano 9 eventi che si sono verificati durante i secoli XIX e XX, di magnitudo compresa tra 4,6 e 5,2, che possono essere stati generati da fonti sismogenetiche appartenenti a questa fonte.

29

Un terremoto chiave per comprendere il potenziale sismico delle strutture appartenenti al sistema di spinta Giudicarie si verificò il 30 ottobre 1901 (Mw 5.7, Sala) in una posizione più interna. Il 24 novembre 2004, circa un secolo più tardi, e praticamente nella stessa zona, si è tenuto un altro evento (Mw 5.2). Un altro terremoto distruttivo si è verificato a sud-est di questa sorgente il 3 gennaio 1117 (Mw 6.6, Veronese) (Magri e Molin, 1986; Guidoboni e Comastri, 2005).

Minima profondità (km)	3.0
Massima profondità (km)	9.0
Direzione (°)	200 - 250
Inclinazione (°)	25 - 45
Rake (°)	70 - 100
Velocità di movimento (mm/anno)	0,1 - 0,5
Magnitudo massima	6.7

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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

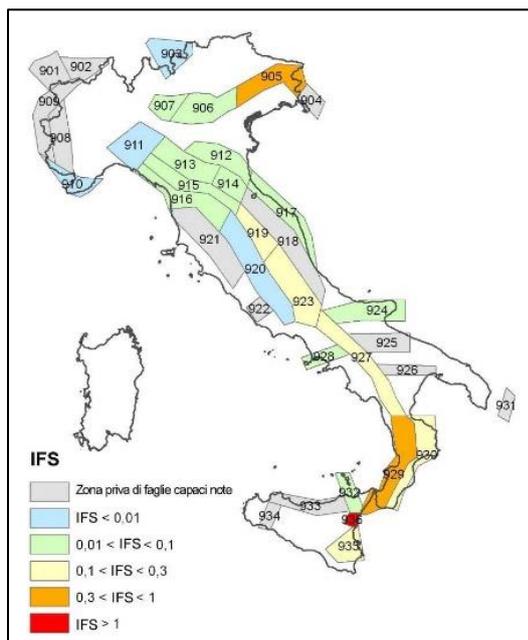
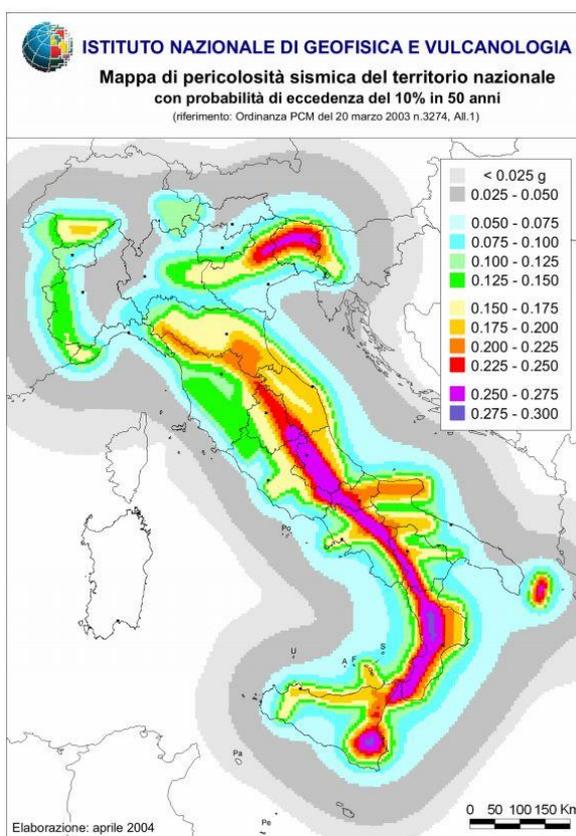
sull'impianto generale e sul *background* informativo della precedente zonazione ZS4 (Scandone e Stucchi, 1996), rappresenta un suo sostanziale ripensamento, alla luce delle evidenze di tettonica attiva, delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite nei primi anni del decennio (con i fondamentali 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

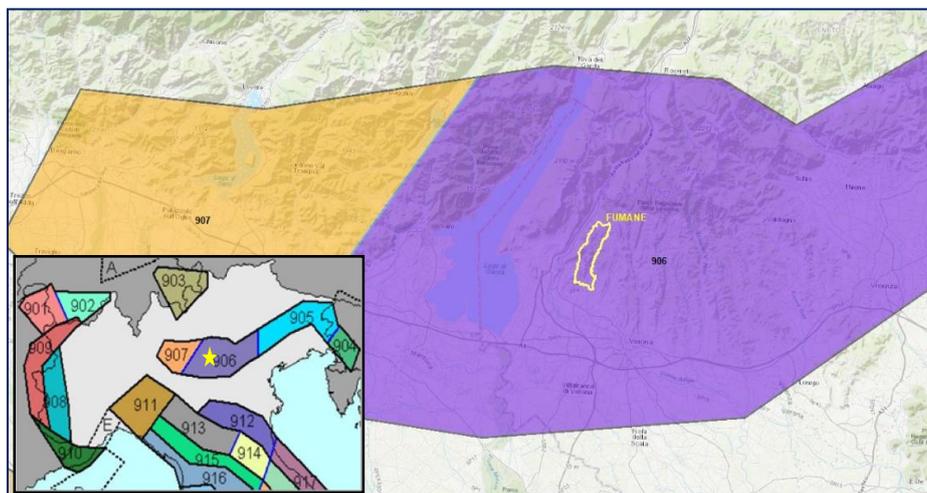
Lago di Garda. Il meccanismo di fagliazione responsabile dei terremoti che si sono verificati in



Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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 Fumane si posiziona interamente all'interno della zona sismogenetica n. 906 come visibile nella figura seguente, per cui si sviluppa all'interno dell'area di massima convergenza tra la placca adriatica ed europea caratterizzata da faglie trascorrenti destre con direzione nord ovest-sud est (trend dinarico-es., Bernardis et al., 2000; Baic et al., 2001; Vrabec, 2001).



Dettaglio della Carta delle zone sismogenetiche ZS9 (Meletti e Valensise, marzo 2004), con l'ubicazione del comune di Fumane nella Zona 906

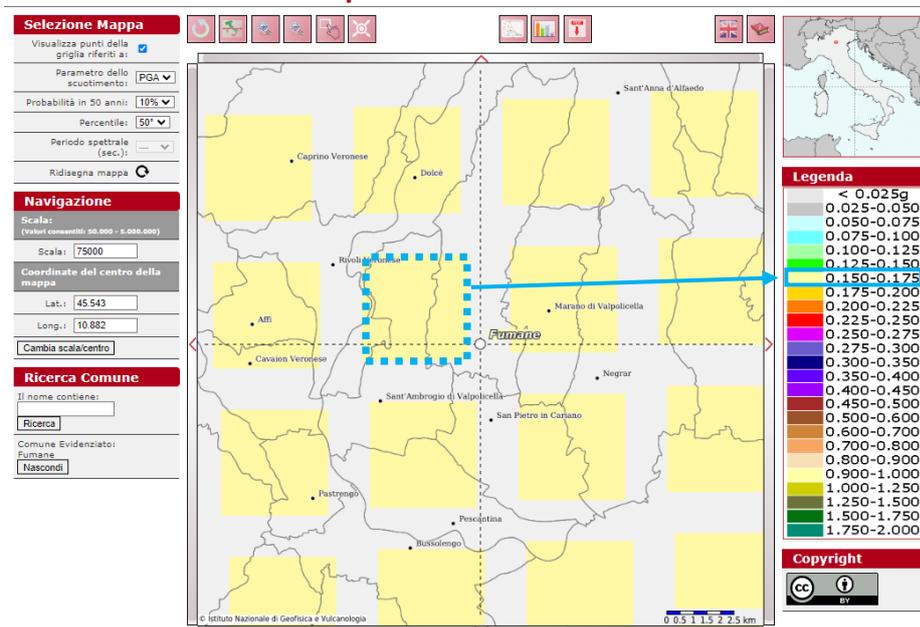
4.6 Pericolosità sismica di riferimento

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 Fumane, sono riportati i valori di accelerazione orizzontale massima al suolo a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi sub-pianeggianti di Categoria A.

31

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



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

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti

Pertanto, secondo l'O.P.C.M. n° 3519 del 28/04/2006, la cui applicazione è stata definita dalla Regione Veneto con D.G.R.V. n°71 del 22/01/2008 e considerata nell'emanazione del D.M. 17/01/2018, il territorio oggetto dello studio di Microzonazione Sismica è inseribile interamente 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 0,175g (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.

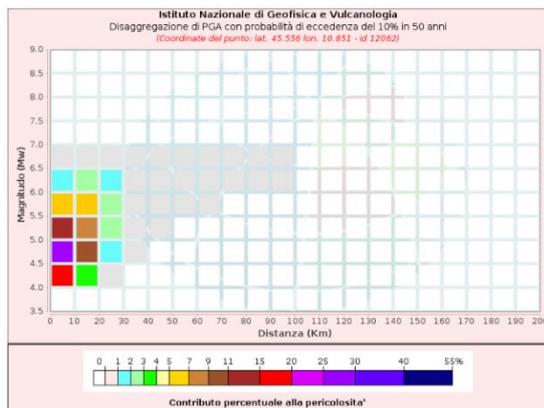
a) Ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s, secondo lo schema seguente:

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

Con la nuova D.G.R. n.244 del 09 marzo 2021 è stato aggiornato l'elenco delle zone sismiche del Veneto, e il Comune di Fumane, precedentemente inserito in zona sismica 3, è stato inserito in zona sismica 2 anche per gli aspetti amministrativi.

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. 45.536 lon. 10.851 - id 12062)										
	Magnitudo (Mw)										
	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	15.6000	26.1000	12.7000	5.2800	1.9300	0.1910	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	3.6000	9.2700	7.6700	5.0200	2.6800	0.3290	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.1350	1.2700	2.1400	2.1300	1.6000	0.2410	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0275	0.3820	0.6420	0.6250	0.1090	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0172	0.1090	0.1350	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0134	0.0340	0.0079	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0096	0.0028	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0028	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0008	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	Epsilon
5.03	9.89	0.764

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.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti
con la collaborazione di:	

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

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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.



Turchia, agosto 1999



Emilia, maggio 2012



L'Aquila, aprile 2009



Tatsuoka, 2006

Le osservazioni condotte nei secoli hanno dimostrato come possono verificarsi situazioni completamente differenti all'interno dello stesso territorio, anche a breve distanza; fin dagli anni

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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 analogia 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 Fumane, tali informazioni serviranno a fornire all'amministrazione comunale uno strumento utile per la futura programmazione territoriale, la

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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.

Nel caso in esame lo studio di MS è stato svolto ad un **Livello 3 di approfondimento**, quantificando le variazioni in termini di frequenza, durata e intensità che un moto sismico di base subisce attraversando gli strati più superficiali, fino a raggiungere la superficie. Tali valutazioni hanno portato alla **determinazione dei Fattori di Amplificazione** in corrispondenza delle aree soggette allo studio; in particolare, sono state effettuate modellazioni numeriche bidimensionali rappresentative della sismo-stratigrafia media del territorio. La costruzione dei modelli è stata condotta utilizzando le prove geognostiche e geofisiche condotte o reperite e di seguito illustrate.

Inoltre, sono stati condotti degli **approfondimenti sia sulle zone di attenzione per "faglie potenzialmente attive e capaci" indicate nel precedente studio di livello 1 sia sulle zone di attenzione per instabilità di versante attiva ricadenti all'interno delle aree oggetto di analisi.**

Alla luce delle analisi effettuate e dei risultati ottenuti, è stato possibile quindi integrare e, dove necessario, rivisitare lo studio di MS di Livello 1, precedentemente svolto.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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

6.1 Indagini pregresse e di nuova realizzazione

Lo studio di MS di Livello 1 si è occupato di raccogliere tutti dati relativi alle indagini pregresse esistenti sul territorio comunale e per l'occasione furono realizzate una serie di nuove indagini geofisiche (HVSr e MASW).

Per la realizzazione del presente approfondimento di livello 3, si è provveduto ad integrare le informazioni raccolte ed informatizzate nel precedente studio di livello 1, con nuovi dati provenienti dall'archivio dello scrivente e dall'esecuzione di una serie di indagini geofisiche appositamente realizzate nelle aree ritenute più significative per questo approfondimento.

Tutte le indagini, pregresse e di nuova realizzazione, sono state schedate, informatizzate e inserite nel DVD allegato allo studio. Nel dettaglio, nel database realizzato sono state archiviate:

- n° 64 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 (di cui 13 appositamente realizzate per questo livello di approfondimento);
- n° 27 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (*Refraction Microtremor*) e attiva MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) di cui 13 eseguite appositamente per questo livello di approfondimento e 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;
- n° 20 prospezioni sismiche con tecnica attiva MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)
- n° 5 stendimenti geo-elettrici 2D con massimo 48 elettrodi, per misurare la resistività dei terreni oggetto di indagine tramite l'inversione tomografica in configurazione Wenner (inseriti in questo livello di approfondimento);
- n° 1 Prove Penetrometriche Dinamiche Super Pesanti (DPSH), n° 2 Prove Penetrometriche Dinamiche Medie (DN) per la caratterizzazione stratigrafica a geotecnica del sottosuolo;
- n° 6 Sondaggi geognostici a distruzione di nucleo (di cui 4 raggiungono il substrato geologico) spinti fino a profondità comprese tra 10 e ca. 160 m dal p.c.;
- n° 2 Sondaggi geognostici a carotaggio continuo fino ad una profondità di 10-20 m dal p.c.;
- n° 7 Pozzi per acqua che arrivano fino a profondità comprese tra 150 e ca. 300 m dal p.c. (inseriti in questo livello di approfondimento);
- n° 2 Trincee esplorative.

37

6.2 Metodologia di elaborazione delle nuove indagini

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

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

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

- 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.

38

Possiamo scrivere questo come:

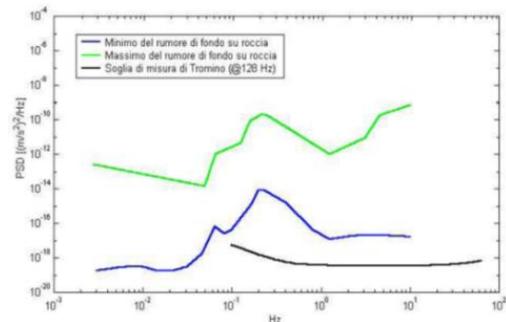
segnale registrazione al sito x = sorgente * effetti di percorso * funzione trasferimento strumento

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.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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.



6.2.2 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° 13 misure H.V.S.R. eseguite in questa fase, unite alle indagini pregresse recuperate dall’archivio del sottoscritto, siano state distribuite in modo da completare il pattern di informazioni riguardante il territorio comunale, integrando quanto già realizzato per il livello 1 di MS: la distribuzione delle prove è stata ottimizzata per vedere il “modo” di rispondere dei vari depositi individuati alle sollecitazioni sismiche.

39

Durante le fasi interpretative delle misure HVSR 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 (f_{CARATT}).

Nella tabella seguente è riportata la sintesi dei risultati delle misure H.V.S.R. eseguite appositamente o recuperate per gli studi di MS (livello 1 e 3); in verde sono evidenziati i casi in cui la frequenza fondamentale non risulta coincidere con la frequenza caratteristica mentre le caselle celesti si riferiscono alle indagini realizzate nel 2022; i report dei risultati di tali prove sono archiviati all’interno della cartella “Documenti”, nella struttura di archiviazione prevista dagli Standard di archiviazione e rappresentazione.

CODICE PROVA	F_0 “FONDAMENTALE” [Hz] (INTERVALLO 0,1 - 20 Hz)	F_{CARATT} [Hz] (INTERVALLO 0,1 - 20 Hz)	FREQ. “SECONDARIA” [Hz] (INTERVALLO 0,1 - 20 Hz)	CONDIZIONE DI AMPLIFICAZIONE (INTERVALLO 0,1 - 10 Hz)
P08	2	5.7		SI
P09	0.75	1.4		SI
P10	3.4	3.4		SI
P11	2	5.7		SI
P12	1.5	18.6		SI
P14	2.5	14.9	4.2	SI
P15	3.4	5.7		SI
P16	6.1	6.1		SI

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

P17	1	20		SI
P18	6.9	6.9		SI
P19	1	1.9		SI
P20	1	8.7		SI
P21	5.5	18.3		SI
P22	1	6	4.1	SI
P23	0.97	5	1.6	SI
P25	1	5		SI
P27	1	1		SI
P28	1.3	4.6		SI
P29	0.9	15.7		SI
P30	1.9	5.2		SI
P32	2.2	3.2		SI
P33	3.4	4.7		SI
P34	7.4	19.1		SI
P35	4.2	19.6	7.5	SI
P36	1	6	15	SI
P37	1	1		SI
P38	1.1	2		SI
P39	1.5	20		SI
P40	0	0		SI
P41	1.8	6.2		SI
P42	14	20		SI
P43	0.4	3.3		SI
P44	0	0		SI
P45	0.95	0.9		SI
P48	13.4	13.4		SI
P49	0.9	1.9		SI
P51	0.92	4.5	1.8	SI
P52	1	3.3		SI
P55	2.5	11.9		SI
P56	0.94	2		SI
P57	1.9	3.3	1.8	SI
P58	1	20		SI
P59	1.2	2		SI
P60	1.9	16.2		SI
P61	0	0		SI
P62	2.2	8.4	3.3	SI
P63	1	1.7		SI
P64	1.8	2.9		SI
P65	5	7.2		SI
P67	0.31	3.3		SI
P68	1.7	3.4		SI
P69	1.5	1.5	1.9	SI
P70	1.6	2.8		SI
P71	1.2	6.3		SI
P93	1.7	18.1		SI

6.2.3 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

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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.

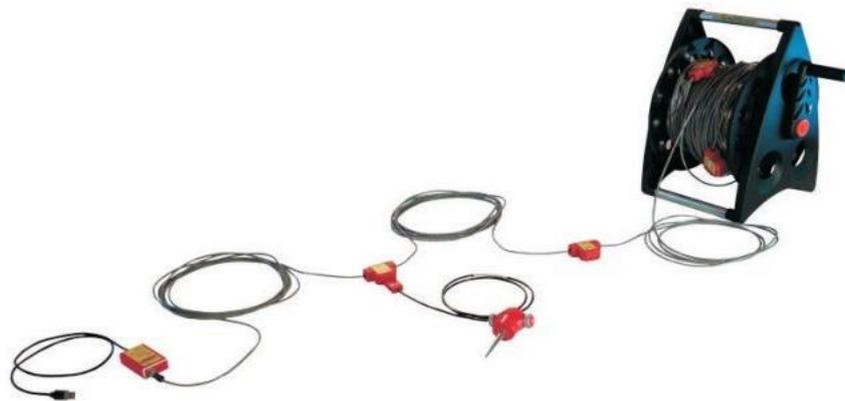
Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, rappresenta nel caso Re.Mi. la fonte del segnale utile che si vuole registrare. I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh dai modi superiori e dall'*aliasing* 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.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

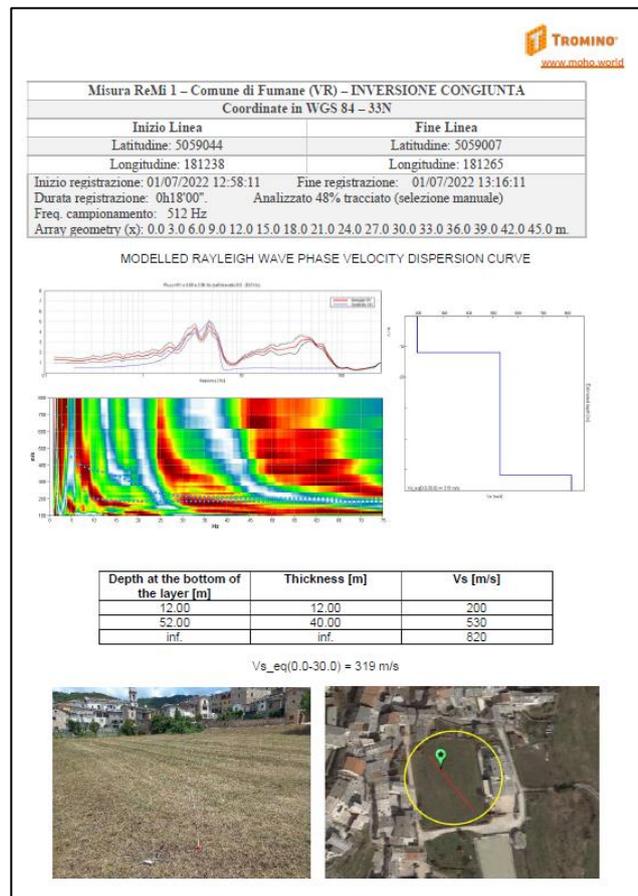


6.2.4 Sintesi dei risultati

Le misure sismiche di superficie (*array* sismici), effettuate per approfondire le conoscenze sulle caratteristiche sismiche dei litotipi costituenti il territorio in esame, hanno permesso in particolare, di 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 (dove possibile) 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.

Di seguito viene presentata come esempio una scheda dei risultati dell'analisi congiunta degli *array* sismici e delle misure H.V.S.R. accoppiate ad esse; anche in questo caso per la lettura completa delle schede con i risultati di tali prove, si rimanda alla documentazione archiviata all'interno della cartella "Documenti", nella struttura di archiviazione prevista dagli Standard di archiviazione e rappresentazione.



Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

6.3 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) e a stazione singola (H.V.S.R.) hanno permesso di ricostruire modelli sismo-stratigrafici accurati e precisi, in quanto i segnali si presentano quasi sempre privi di artefatti e con una elevata coerenza sia nel modo fondamentale che in quelli superiori. Inoltre, la presenza di un rumore di fondo caratterizzato da un ricco spettro alle medie-basse frequenze ha permesso di ottenere un'elevata profondità d'investigazione, anche per quanto riguarda le misure in *array*.

Le nuove indagini eseguite e reperite hanno confermato in larga parte quanto emerso già nel livello 1 di approfondimento, i risultati hanno evidenziato un modello geologico del sottosuolo abbastanza regolare, con la maggior parte del territorio occupata dai litotipi calcarei e calcareo marnosi del substrato geologico tagliati da alcune faglie inverse e dirette immergenti verso ovest; tali litotipi localmente sono ricoperti da depositi a granulometria grossolana legati alla presenza di fasce detritiche e eluvio/colluviali. La restante area, localizzata nella porzione meridionale del territorio comunale, è quella su cui si estende l'abitato di Fumane, collocato su terreni ghiaiosi provenienti dalla Valle dei Progni; sia ad ovest che ad est dell'abitato sono presenti conoidi di deiezione, formati dai depositi ghiaiosi derivanti dall'erosione delle litologie calcaree che bordano la piana.

Lo spessore della copertura, 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.

Le misure effettuate nelle zone occupate dal substrato geologico affiorante o sub-affiorante, hanno mostrato con continuità la presenza di curve a volte piatte o più spesso con contrasti di rigidità a frequenze alte (> 10 Hz), a testimonianza della presenza molto limitata di materiale poco consistente sopra i depositi litoidi; talvolta sono presenti picchi con rapporto H/V non elevato (< 2.5) a frequenze medio-alte, segno di passaggi di consistenza tra le formazioni componenti il substrato. I valori delle V_s rilevato variano dai 200 - 500 m/s nelle parti più superficiali, per arrivare a 700 800 m/s in profondità.

Nelle aree occupate dalle fasce detritiche ed eluvio colluviali i picchi HVSR più rilevanti si trovano a 3- 6 Hz con ampiezze significative ($A > 4$), indice di spessori superficiali variabili (10 - 20 m) di materiale sensibilmente meno compatto ($V_s = 300 - 400$ m/s) sopra il substrato.

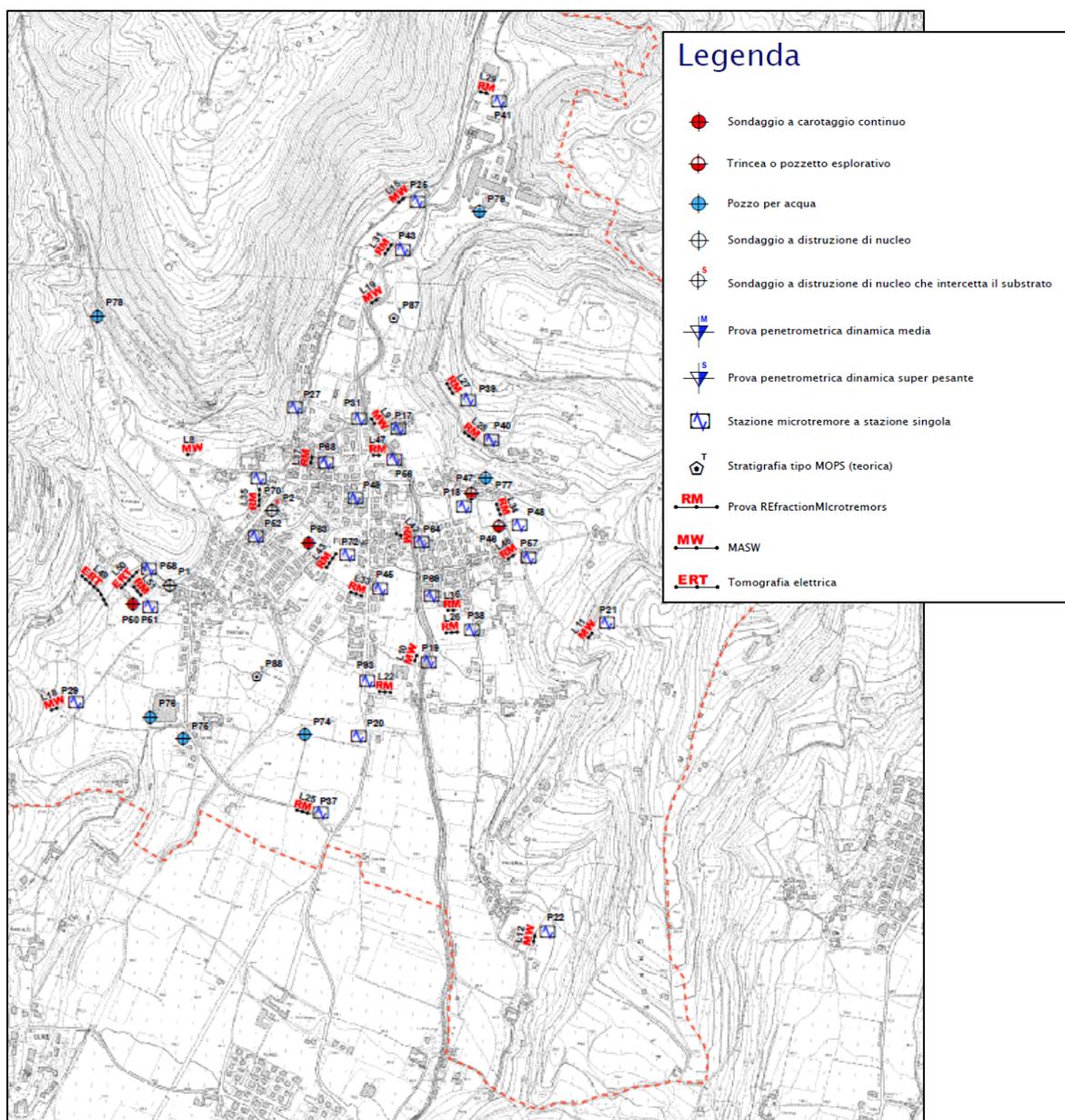
Nel fondovalle, in corrispondenza delle aree interessate da coperture fluviali grossolane e dai conoidi, si evidenziano sia risonanze a frequenze basse (1-2 Hz) sia picchi a frequenze più alte ma più variabili (3-20 Hz) in base allo spessore delle coperture stesse, che possono arrivare anche a 30 -35 m.

7 ELABORATI CARTOGRAFICI

Nel presente capitolo si riportano le descrizioni degli elaborati cartografici prodotti a seguito delle analisi effettuate; nel caso delle carte già presentate per il Livello 1 di Microzonazione sismica, queste sono state **aggiornate** e, dove necessario **modificate**, in virtù dei risultati delle nuove indagini reperite e/o eseguite e delle analisi di approfondimento condotte per la realizzazione del presente lavoro.

7.1 Carta delle indagini

Si tratta della cartografia elaborata sulla base della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, con ubicate le indagini eseguite espressamente per le analisi di MS e quelle desunte da lavori pregressi eseguiti nel comune di Fumane (di seguito è riportato un estratto).



In particolare sono state ubicate le indagini provenienti da:

- Microzonazione sismica di Livello 1

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

- Catalogo ISPRA
- Indagini geofisiche eseguite appositamente per il presente lavoro;
- Indagini pregresse dall'archivio dello scrivente.

Nella figura precedente è riportato un estratto della “Carta delle indagini” prodotta per il presente lavoro che dimostra come sia stato indagato, in modo dettagliato, l'intero territorio comunale; i rapporti delle indagini di nuova realizzazione, insieme a quelle raccolte e /o realizzate per il livello 1 di MS, sono stati schedati, informatizzati e inserite nel supporto informatico allegato, all'interno della cartella “Indagini \ Documenti”.

7.2 Carta geologico-tecnica

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

Questa carta, elaborata sulla base della Carta Tecnica Regionale alla scala 1: 10.000, riguarda l'integrazione e la rivisitazione in chiave sismologica degli elementi geolitologici, geomorfologici e idrogeologici contenuti nel P.A.T. comunale. Sono stati comunque eseguiti rilievi geologici di superficie che hanno permesso di verificare i dati e, dove si è ritenuto necessario, di integrare e modificare i contenuti del P.A.T. stesso, alla luce anche dei risultati ottenuti dalle nuove 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 individuate nel P.A.T. sono state accorpate in modo da rappresentare, in ottica sismica, i depositi presenti nel comune di Fumane.

45

Alla fine, sono state create due unità principali (“Terreni di copertura” e “Substrato geologico”) che contengono una serie di unità litologico - tecniche 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, terrazzi fluviali, anticlinali e sinclinali e valli sepolte).

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

- delimitazione del substrato geologico (roccia) e distinzione dai terreni di copertura: le unità litologiche individuate dal P.A.T. e nella MS1 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, cavità sotterranee che possono esaltare o comunque modificare gli effetti di amplificazione topografica;
- elementi tettonico-strutturali ricavati dai cataloghi nazionali e faglie ricavate dal database ITHACA;
- traccia delle sezioni geologiche rappresentative del territorio comunale riprese dallo studio di MS1;

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

- Individuazione delle aree di attenzione per instabilità, in base alla sovrapposizione delle informazioni desunte del P.A.T., del Catalogo IFFI e dal Piano Stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico Bacino Dell'Adige - Regione Veneto

Per evidenziare i possibili effetti di amplificazione stratigrafica (contrasto di impedenza tra mezzi geologici differenti, ovvero effetti litologico-stratigrafici), sulla base delle carte litologiche del P.A.T. associate alla consultazione della cartografia geologica generale, sono stati individuati i contatti tra litologie che possono rispondere in modo differente alla sollecitazione sismica e, in particolare, sono stati individuati e perimetrati i depositi di copertura detritica e fluviale posti al disopra del substrato geologico.

Le unità litologico - tecniche principali identificate sono le seguenti:

Substrato geologico

GRS	Granulare cementato, stratificato
LPS	Lapideo, stratificato
ALS	Alternanza di litotipi, stratificato
SFLP	Lapideo fratturato o alterato

Terreni di copertura

GCcz	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla di conoide di deiezione
GCec	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla di eluvi/colluvi
GPfd	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie di falda detritica
GPtf	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie di terrazzo fluviale
Rlzz	Terreni contenenti resti di attività antropica di altra origine

46

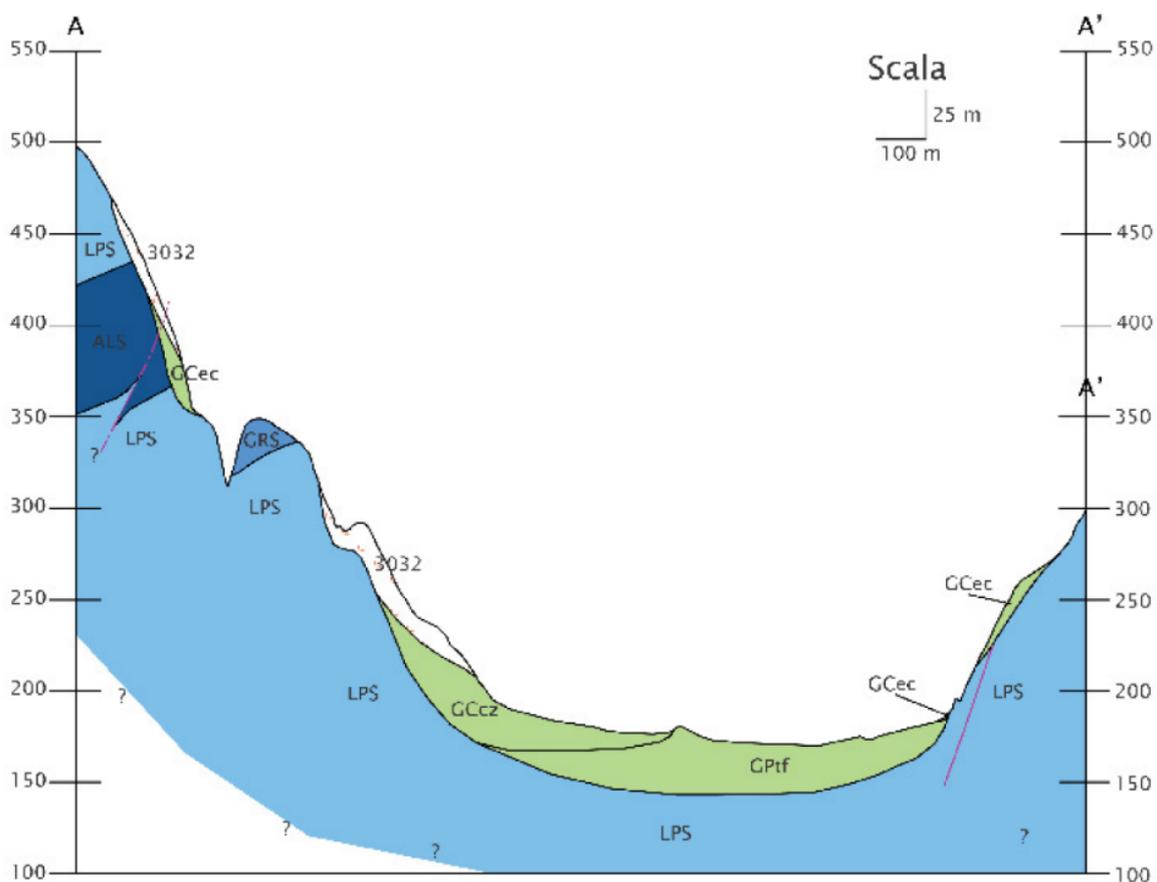
Facendo riferimento alle descrizioni litologiche del paragrafo 3.3, le unità riportate nella tabella precedente individuano e accorpano i seguenti terreni:

Carta Geologico-Tecnica	Carta Geolitologica del P.A.T. (localmente modificata)	
LPS	L-SUB-03	Rocce compatte stratificate (Calcari Grigi di Noriglio, Gruppo di San Vigilio, Rosso Ammonitico, Maiolica, Scaglia Rossa Veneta, Scaglia C i n e r e a, C a l c a r i n u m m u l t i c i, a r e n a r i e quarzifere/biocalcareni dell'Oligocene)
ALS	L-SUB-05	Rocce compatte prevalenti alternate a strati o interposizioni tenere (Maiolica)
GRS	L-SUB-08	Rocce tenere a prevalente attrito interno (tufi e ialoclastiti basaltiche)
SFLP	L-SUB-02 L-SUB-04	Rocce compatte per cementazione ("Breccia Pernice" e "Rosa del Garda") Rocce superficialmente alterate e con substrato compatto (basalti e prodotti della loro disgregazione superficiale)

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

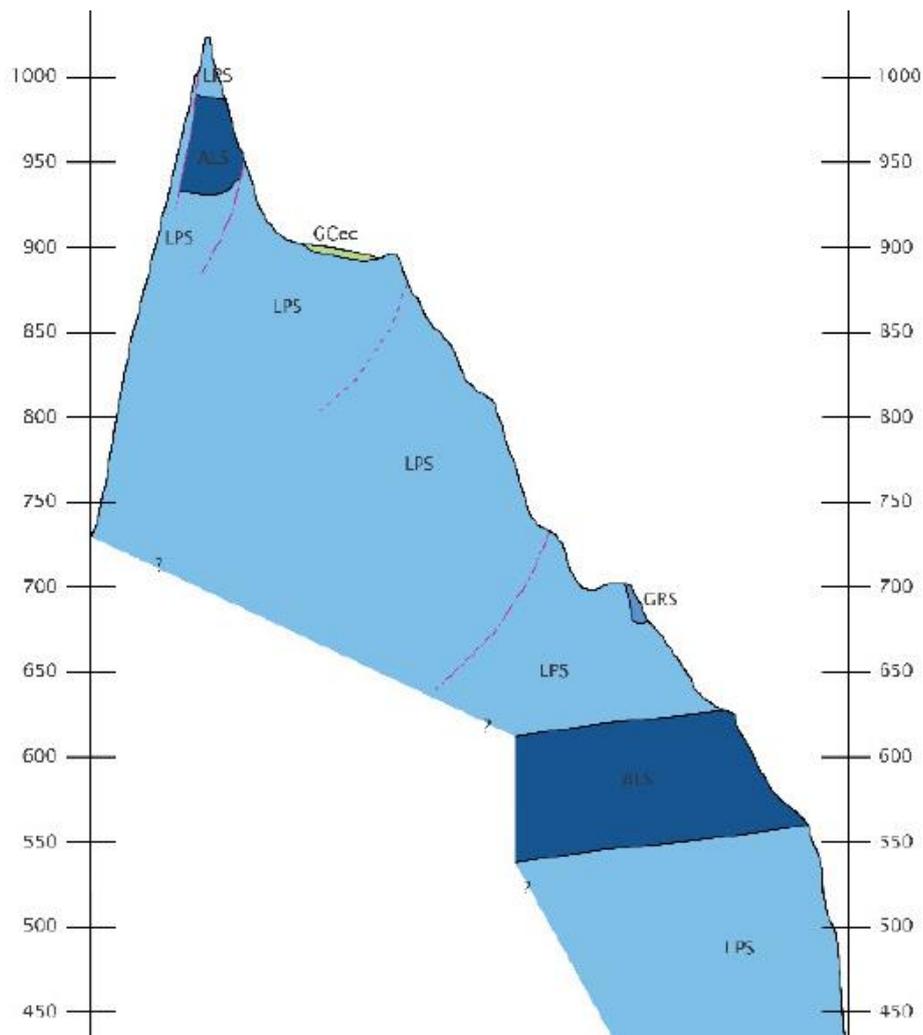
GPtf	L-ALL-01	Materiali granulari fluviali e/o fluvioglaciali antichi a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa piu o meno addensati;
GCcz	L-ALL-02	Materiali a tessitura eterogenea dei depositi di conoide di deiezione torrentizia
GCec	L-DET-02	Materiali della copertura detritica eluviale e/o colluviale poco addensati e costituiti da elementi granulari sabbioso-ghiaiosi in limitata matrice limosabbiosa, con spessore > 3 metri
GPfd	L-DET-07	Materiali sciolti per accumulo detritico di falda a pezzatura grossolana prevalente
RI	L-ART-01	Materiale di riporto

Si riportano di seguito le due sezioni geologiche rappresentative del territorio comunale (ubicazione in CGT), riprese dallo studio di MS1.



Sezione A-A'

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti



Sezione B-B'

Per quanto riguarda le zone di versante potenzialmente instabili, sono state inserite le aree soggette a fenomeni gravitativi descritte nello studio di MS1, verificate e aggiornate in base a quanto riportato nella Variante 3 del Piano Stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico Bacino Dell'Adige - Regione Veneto

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 inserendo gli orli di scarpata morfologica naturale (> 20 m e tra 10 e 20m), cavità sepolte, creste e valli sepolte.

Relativamente ai lineamenti tettonico-strutturali, la consultazione del catalogo ITHACA, come evidenziato al Cap. 4, ha permesso di ubicare all'interno del territorio comunale n°2 faglie attive e capaci.

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

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

In conformità alle linee guida, nel livello 1 di MS, tali faglie erano state indicate come “FPAC - Faglie potenzialmente attive e capaci”, rimandando ad un livello successivo di approfondimento, il loro studio.

L’analisi della bibliografia relativa alle faglie in oggetto, ha mostrato che per le due FAC, contraddistinte dal codice 71400 e 80000, le età riportate nel database ITHACA sono riferibili al “Olocene generico”.

Da rilievi geologici condotti dallo scrivente e dall’analisi fotogrammetrica delle aree interessate dalla potenziale fagliazione, **non sono emerse evidenze morfologiche che dimostrano la recente attività ad opera delle faglie stesse, il che rende difficile una loro precisa ubicazione.**

Quindi, si è deciso di considerare le due faglie come “attive e capaci” e “incerte”, in base alle considerazioni esposte nel dettaglio al Par. 8.3.

7.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1)

La “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” (MOPS), prodotta per il Livello 1 e rivisitata con il presente lavoro in virtù dei risultati ottenuti dalle prove geofisiche condotte, 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 rappresentate le seguenti informazioni:

- misure di rumore ambientale H.V.S.R.;
- elementi morfologici superficiali e sepolti;
- elementi tettonico strutturali;
- traccia delle sezioni per gli approfondimenti delle amplificazioni topografiche.

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

7.3.1 ZONE STABILI

Nel Comune di Fumane con lo studio di livello 1 **non sono state individuate zone “stabili”**. In sostanza, si noti che l’intero territorio era stato considerato in prima approssimazione come suscettibile di amplificazione sismica in quanto è stato verificato che il moto sismico è potenzialmente modificabile rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche locali.

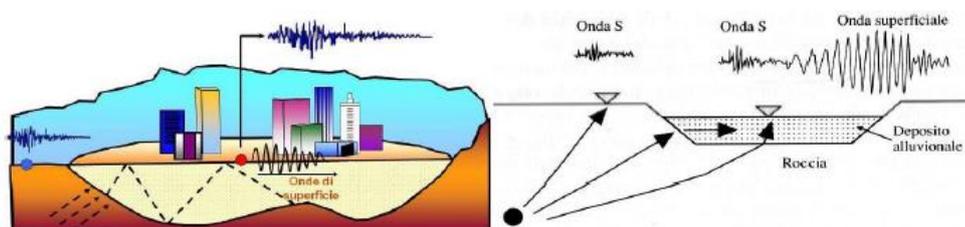
Gli approfondimenti di livello 3, condotti all’interno dei perimetri indicati al Cap.2, hanno evidenziato però, **in alcune aree in roccia e senza topografia acclive, che le modellazioni eseguite restituiscono fattori di amplificazione pari ad 1 per tutti i periodi considerati**; considerando però il contesto geomorfologico comunale molto complesso e articolato ed il fatto che tali modellazioni riguardano solo una parte limitata di territorio, si è cautelativamente deciso di non suddividere tali aree, continuando a considerare le microzone interessate nella loro interezza come ancora suscettibili di amplificazioni nella Carta MOPS ma di evidenziare comunque nelle Carte di MS i fattori di amplificazione unitari scaturiti dalle analisi.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti

7.3.2 ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

Il comune di Fumane risulta quindi suscettibile di amplificazioni locali per i seguenti motivi:

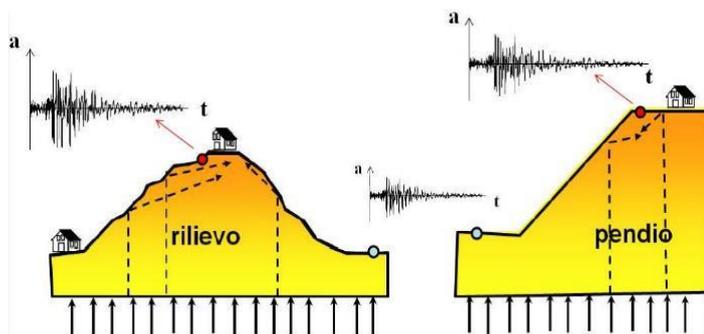
- A. **stratigrafia e caratteristiche dei litotipi.** Come evidenziato nella “Carta geologico-tecnica” e nelle considerazioni fin qui esposte, è stato accertato che sono presenti differenti risposte sismiche variabili in relazione ai diversi ambienti geomorfologici (detrito, roccia, eluvio-colluvio, fluviale, ecc.) ed al contatto tra le coperture ed il substrato roccioso che si ripercuotono sull’amplificabilità sismica del sito;
- B. **Forme sepolte ed effetti morfologici.** Nei fondivalle individuati (sia stretti che larghi) sono possibili sia “effetti di valle” associati alle riflessioni multiple causate dall’intrappolamento delle onde sismiche all’interno dei depositi che riempiono le valli, sia amplificazioni stratigrafiche causate dal contrasto di impedenza tra mezzi geologici diversi (per la presenza di materiali sciolti poggianti su substrato roccioso).



Effetti di valle e bordo (2D o 3D)
Effetti legati alla interazione tra onde sismiche e morfologia sepolta con effetti di focalizzazione delle onde sismiche e generazione di onde di superficie in prossimità dei bordi

50

- C. **amplificazione topografica.** Per quanto riguarda l’amplificazione topografica, è stato qualitativamente coinvolto l’intero territorio collinare/montuoso, 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: Fumane presenta per gran parte del territorio terreni di natura litoide costituenti pendii con inclinazioni superiori a 15° e dislivelli spesso superiori a 20 m. Il territorio è morfologicamente complesso, quindi non assimilabile 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/montuoso 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

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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

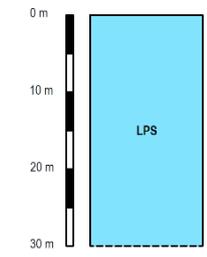
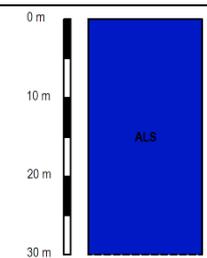
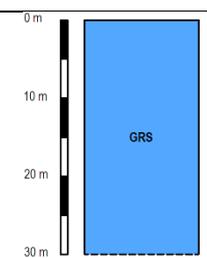
Per tale motivo, facendo riferimento sia alla normativa vigente in materia di costruzioni (NTC-18), sia alle esperienze condotte dagli scriventi in situazioni analoghe (mediante modellazioni numeriche avanzate per la verifica dell'amplificazione topografica), si ritiene che tutto l'ambiente studiato 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 cavità, in cui sono ritenuti possibili effetti di amplificazione topografica. Nella Carta delle MOPS sono stati inseriti gli elementi topografici desunti da fotointerpretazione.

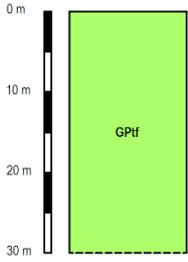
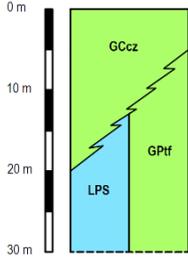
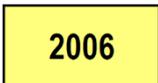
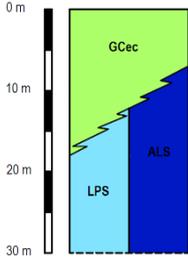
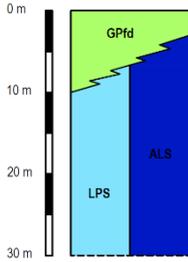
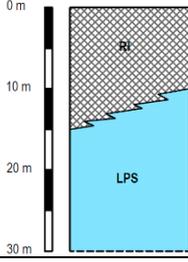
Pertanto, sulla base di quanto finora esposto, sono state create 10 zone ordinate dalla Zona 1 alla Zona 9 più la Zona 99, considerando le caratteristiche litologiche e genetiche dei terreni della "Carta geologico-tecnica" e le potenziali risposte sismiche locali dal punto di vista stratigrafico.

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

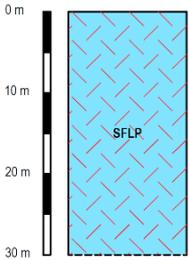
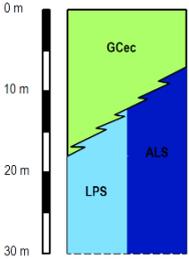
Si ricorda, tuttavia, che nonostante si sia cercato di creare differenti colonnine stratigrafiche per ciascuna combinazione dei terreni di copertura (e relativi spessori) e dei sottostanti substrati, resta comunque un certo grado di incertezza sulla tipologia del substrato al di sotto dei depositi sciolti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

<p>Zona 2001 - Si tratta di rocce lapidee carbonatiche stratificate riferibili alle Formazioni carbonatiche della Successione Trentina affioranti nei Monti Lessini che affiorano in gran parte del territorio di Fumane. Tali litologie (LPS), solitamente presentano in superficie una $V_s < 800$ m/s che aumenta più o meno gradualmente con la profondità e compongono spesso pendii con pendenze superiori a 15°, pertanto è possibile un effetto di amplificazione di tipo sia stratigrafico sia topografico. Gli spessori superano i 30 m.</p>		
<p>Zona 2002 - Tale zona è costituita dai terreni assoggettabili alla Formazione della Maiolica, che presenta un'alternanza di strati calcarei e sottili strati marnoso-argillosi (ALS). Questa Formazione affiora lungo il versante della Valle dei Progni e lungo il versante roccioso della Val d'Adige. Lo spessore di questa litologia è maggiore di 30 m e si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.</p>		
<p>Zona 2003 - Tale zona è costituita formazioni tufacee e ialoclastitiche (GRS) localizzate in piccole aree sparse nella parte montuosa di Fumane. Lo spessore di queste litologie è maggiore di 30 m e in esse si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.</p>		

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

<p>Zona 2004 - Tale zona è rappresentata da depositi prevalentemente ghiaiosi che costituiscono i terrazzi fluviali presenti lungo la Valle del Progni e nell'abitato di Fumane. Lo spessore di questi depositi (GPtf) è maggiore di 30 m e in essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.</p>		
<p>Zona 2005 - Tale zona è costituita da depositi ghiaiosi con matrice argillosa (GCcz) che compongono i conoidi di deiezione presenti in prossimità dell'abitato di Fumane. Questi depositi, prevalentemente ghiaiosi, hanno spessori variabili da 5 a 20 m e si sovrappongono a litologie calcaree (LPS) o alle ghiaie alluvionali (GPtf). In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.</p>		
<p>Zona 2006 - Tale zona è costituita dai depositi eluvio - colluviali prevalentemente ghiaiosi (GCec), sovrapposti a litologie calcaree (LPS) o alternanze stratificate (ALS). Questi depositi ghiaiosi hanno spessori variabili da 7 a 15 m e occupano localmente i versanti montuosi del territorio comunale. In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.</p>		
<p>Zona 2007 - Tale zona è costituita da depositi a tessitura prevalentemente ghiaiosa o ciottolosa (GPfd), derivati dall'erosione delle Formazioni calcaree che compongono la zona montuosa di Fumane lungo la Val d'Adige o la Valle dei Progni. Lo spessore di tali depositi varia da 3 a 10 metri circa ed il loro substrato è costituito dai termini calcarei (LPS) o dalle alternanze calcareo - marnose (ALS). In tale zona si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.</p>		
<p>Zona 2008 - Tale zona è costituita da depositi di origine antropica (RI) a granulometria eterogenea con spessori superiori ai 10 metri, posti al di sopra del substrato calcareo litoide (LPS). Questi depositi possono dare luogo ad amplificazione sismica di tipo stratigrafico.</p>		

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

<p>Zona 2099 - Tale zona è costituita dalle breccie calcaree della Breccia Pernice e del Rosa del Garda, nonché dai basalti fratturati ed alterati presenti in prossimità della Faglia del Monte Pastello nella parte occidentale del territorio comunale. Lo spessore di queste litologie (SFLP) è maggiore di 30 m e in esse si possono osservare effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.</p>		
<p>Zona 2009 - Presenta una stratigrafia simile alla zona 2007 ma è associata alle aree di antiche frane ormai presumibilmente stabilizzate che sono state verificate all'interno dei perimetri di approfondimento di livello 3; si tratta quindi di depositi prevalentemente ghiaiosi (GCec) sovrapposti a litologie calcaree (LPS) o calcareo - marnose (ALS). Questi depositi ghiaiosi hanno spessori variabili da 7 a 15 m e occupano localmente i versanti montuosi del territorio comunale. In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.</p>		

7.3.3 ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ

Per quanto riguarda le Zone di attenzione per instabilità, sono state individuate una serie di **aree di frana** che derivano dalla verifica incrociata tra le cartografie del P.A.T., del PAI e dello studio di MS1.

Le frane presenti nella MOPS coincidono perfettamente con quelle riportate nella “Carta geologico-tecnica”.

Zone di attenzione per instabilità



ZA_{FR} - Zona di attenzione per Instabilità di versante - Zona 2001



ZA_{FR} - Zona di attenzione per Instabilità di versante - Zona 2002



ZA_{FR} - Zona di attenzione per Instabilità di versante - Zona 2003



ZA_{FR} - Zona di attenzione per Instabilità di versante - Zona 2006



ZA_{FR} - Zona di attenzione per Instabilità di versante - Zona 2009

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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 rivelati estremamente utili sin dalle prime fasi di elaborazione delle carte di Livello 1.

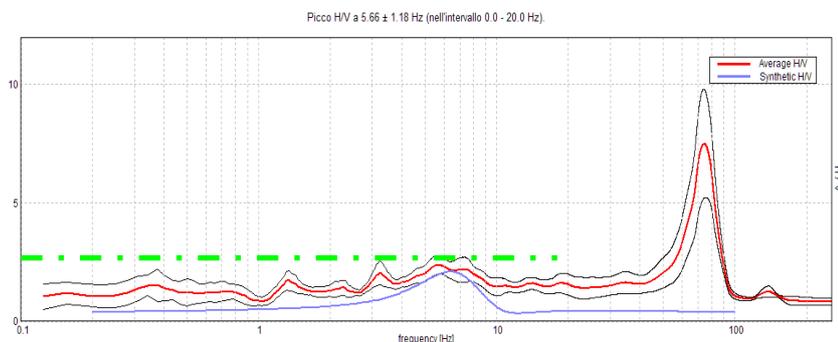
L'analisi dei microtremori attraverso la tecnica *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (H.V.S.R.) consente di mettere in luce fenomeni di risonanza sismica e di stimare le frequenze alle quali il moto del terreno può essere amplificato (frequenza fondamentale di risonanza del terreno, F_0). Il metodo 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.

54

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

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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: 10.000 e riportata in estratto nella figura sottostante, evidenzia come la frequenza di risonanza di un sito sia condizionata dai rapporti litostratigrafici che si sviluppano con la profondità.

Si fa presente che le misure H.V.S.R. quantificano l'amplificazione sismica locale in termini di frequenza e ampiezza in base al solo contributo stratigrafico. Non viene considerata l'amplificazione dovuta agli effetti topografici e alle morfologie complesse sepolte.

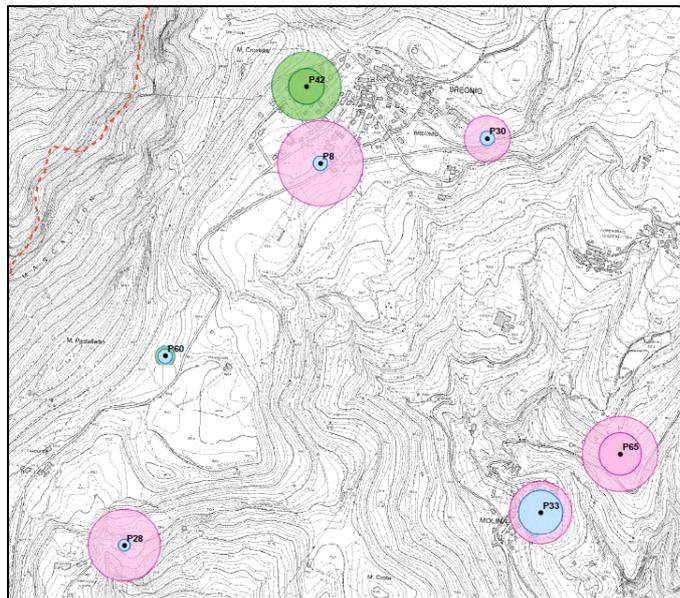
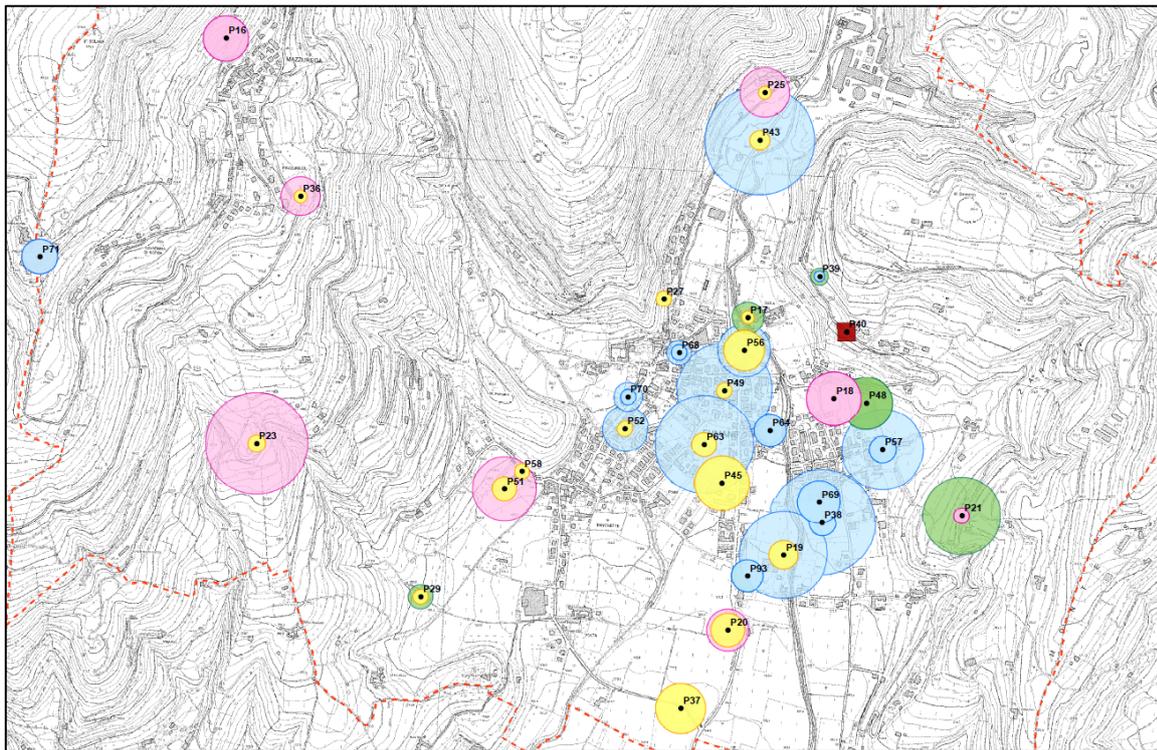
I risultati delle analisi sono stati cartografati tramite dei cerchi di diverso colore in base ai valori della frequenza fondamentale F_0 , della frequenza caratteristica F_{caratt} ed eventualmente di quella secondaria F_{sec} con un diametro proporzionale all'ampiezza del picco. Le misure che non presentano frequenza di risonanza, sono state contrassegnate da un quadrato bordeaux.

In particolare, si nota che i valori della frequenza fondamentale sono all'interno di due *range* con estremi compresi tra 0.3 e 3.5 Hz (casi sporadici presentano frequenze più alte che di solito coincidono con la F_{caratt}) e sono rappresentate con cerchi gialli e azzurri, mentre le frequenze secondarie e le frequenze caratteristiche diverse da F_0 sono all'interno di un ampio *range* con valori estremi compresi tra 2.00 - 20.0 Hz (cerchi magenta e verdi).

Le nuove indagini HVSR realizzate per questo lavoro, hanno sostanzialmente confermato quanto emerso nello studio di livello1 e di seguito riportato.

Osservando la "Carta delle frequenze" (vedi estratti alla pagina seguente) realizzata tramite le misure di rumore ambientale a stazione singola eseguite per il presente studio, di cui si riporta un estratto di seguito, è possibile formulare alcune interessanti osservazioni:

- Il comune di Fiumane presenta un ampio *range* di frequenze di risonanza con valori H/V, in generale, abbastanza elevati, per cui risulta possibile ipotizzare importanti amplificazioni del moto sismico in superficie;
- Il range di frequenza più rappresentato è localizzato alle basse frequenze, ad un valore compreso tra 1,0 Hz e 2,0 Hz;
- è evidente una differenza tra le misure effettuate nelle aree montuose sui litotipi rocciosi del substrato (dove le frequenze sono più alte) e quelle effettuate nelle aree di pianura (dove si hanno contrasti di impedenza a frequenze più basse valori di H/V mediamente più alti), ad indicare i diversi spessore e consistenza dei materiali eventuali di copertura.



Legenda

Frequenza (Fr)

-  $0.3 \text{ Hz} \leq Fr \leq 1.0 \text{ Hz}$
-  $1.1 \text{ Hz} \leq Fr \leq 3.5 \text{ Hz}$
-  $4.2 \text{ Hz} \leq Fr \leq 9.0 \text{ Hz}$
-  $11.0 \text{ Hz} \leq Fr \leq 20.0 \text{ Hz}$
-  0 (non presenta amplificazione H/V < 1.8 nell'intervallo di frequenza 0.1 - 20 Hz)

Ampiezza del picco

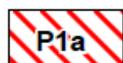
-  2 H/V
-  5 H/V
-  9 H/V

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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 stratigrafici-tettonici complessi. Nel territorio comunale è stato assegnato uno scenario di pericolosità sismica locale come riportato nella seguente descrizione:

P1 : Zone suscettibili di instabilità

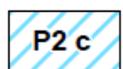


Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi



Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio frana

P2 : Zone suscettibili a liquefazione e cedimenti



Zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici

P3 : Zone suscettibili ad amplificazioni topografiche

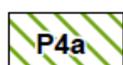


Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica...)

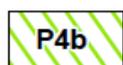


Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate

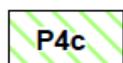
P4 : Zone suscettibili ad amplificazioni litologiche e geometriche



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



Zona di fondovalle strette ($C > 0.25$) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale



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

In particolare, la zona **P4a** è stata associata alla zona di fondovalle più ampia, occupata depositi alluvionali granulari, mentre la zona **P4b** è stata assegnata alla zona ove il fondovalle si stringe e lo spessore dei depositi alluvionali identifica una valle sepolta stretta.

La zona **P4c** è stata assegnata ai depositi detritici di origine eluvio-colluviale e alle conoidi alluvionali presenti a nord del territorio comunale. Infine, la zona **P2c** è stata sovrapposta ai depositi di riporto antropico.

Sono state riportate, infine, le instabilità per frana attiva (**P1a**) e le irregolarità morfologiche con creste (**P3b**), scarpate (**P3a**).

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 Fumane** 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 assoggettabilit�	(soglia)	1°livello	(soglia)	2°livello	(soglia)	3°livello
P1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi				cartografia			Analisi stabilit�
P1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti				cartografia			Analisi stabilit�
P1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana				cartografia	Analisi di stabilit�	Fs prossimo a 1	Analisi stabilit�
P2a	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI PREV.URBAN.* Cedimenti Eventuale verifica	PREV.URBAN.*	Cedimenti
P2b	Zona con depositi granulari fini saturi	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI PREV.URBAN.* Liquefazione Eventuale verifica	PREV.URBAN.*	Liquefazione
P2c	Zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI PREV.URBAN.* Cedimenti	PREV.URBAN.*	Cedimenti
P3a	Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di cava, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc...)				H=10 m; a>15°	Effetti topografici		
P3b	Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita - arrotondata				h=1/3H; a e a2>15°	Effetti topografici		
P4a	Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi				Vs30<800m/s; C<0,25	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 litologici		Effetti lito-geometrici
P4c	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide delizio-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 cavit� sotterranee o sinkhole				cartografia			Comportamenti differenziali

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

8 APPROFONDIMENTI DI LIVELLO 3

Come già indicato in precedenza, nel territorio comunale di Fumane, è stato eseguito dallo “Studio Mastella”, in data luglio 2019, uno studio di MS di Livello 1.

I risultati di quello studio indicavano che il territorio comunale, in base ai dati raccolti, era da considerarsi in gran parte stabile suscettibile di amplificazione. Infatti, è stato verificato che il moto sismico è modificabile rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante in tutto il territorio, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche locali.

Inoltre, per quanto riguarda le “Zone di attenzione per instabilità”, nel territorio comunale sono presenti alcune zone di instabilità di versante e, come anticipato nei paragrafi precedenti, erano state riportate due FPAC - Faglie potenzialmente attive e capaci certe.

Le analisi di approfondimento di livello 3, sono state condotte all’interno di 5 aree concordate con l’amministrazione comunale e corrispondenti, oltre al centro di Fumane, alle località di Breonio, Molina, Castello e Mazzurega; tali analisi hanno l’obiettivo generale di compensare le incertezze del Livello 1 con approfondimenti conoscitivi e di fornire quantificazioni numeriche della modificazione locale del moto sismico in superficie a causa degli assetti litologico - stratigrafici riscontrati e dei fenomeni di instabilità.

Pertanto, gli obiettivi principali del presente studio di MS3 sviluppati nei seguenti capitoli, sono:

1. condurre analisi di risposta sismica locale per la quantificazione numerica dell’effetto amplificativo del moto sismico di base stimando i fattori amplificativi FA (fattore di amplificazione in termini di accelerazione) negli intervalli 0.1-0,5s - 0.4-0.8s e 0.7-1.1s. A tale scopo si utilizzeranno i dati derivanti dalle indagini sismiche di nuova realizzazione e di quelle pregresse, la curva G/G0 e D/D0 fornite dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica;
2. effettuare una verifica della stabilità in condizioni sismiche del versante su cui insiste la frana attiva presente all’interno del perimetro di studio, in modo da determinare l’eventuale l’entità dello spostamento cumulato del pendio;
3. valutare la capacità della faglia di creare dislocazioni in superficie e localizzarla, attraverso rilievi e interpretazioni aerofotogrammetriche.

59

8.1 Analisi di risposta sismica locale

Come illustrato nelle pagine precedenti, il comune di Fumane 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 zone di fondo valle e nelle aree di cresta si potrà generare un’amplificazione del moto sismico atteso in superficie, a causa delle articolate morfologie strutturali sepolte associate agli effetti legati sia alla stratigrafia sia alla topografia. Al contrario, nelle zone più distali della pianura alluvionale, l’effetto topografico può considerarsi nullo, e l’unico fattore che incide sull’amplificabilità del moto sismico di base, è il contrasto di impedenza sismica tra i vari litotipi.

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 Fumane. Tali valutazioni sono state realizzate in corrispondenza delle aree da microzonare al Livello 3, ed in generale su tutto il territorio urbano e urbanizzabile.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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).

8.1.1 Descrizione del metodo

Il codice di calcolo FLAC 2D v.8.0 (Fast Lagrangian Analysis of Continua) della Itasca (2016) 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:

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

60

dove:

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

Il comportamento meccanico dei materiali è espresso dalla legge costitutiva:

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

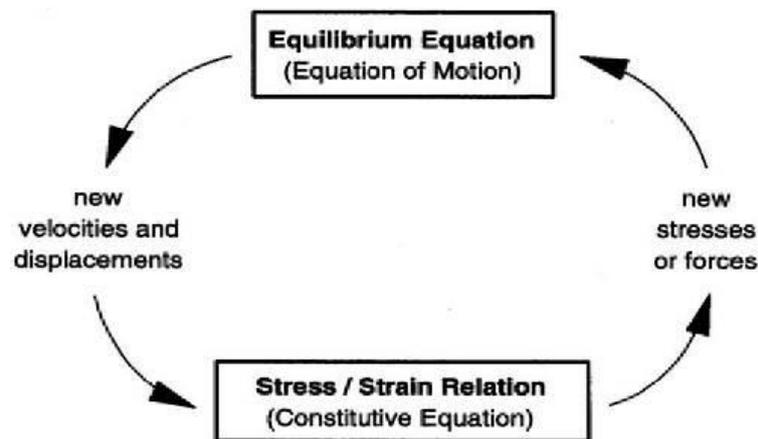
dove k è un parametro che tiene conto della storia di carico, M un funzionale ed $\dot{\epsilon}_{ij}$ il tensore velocità di deformazione espresso dalla:

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

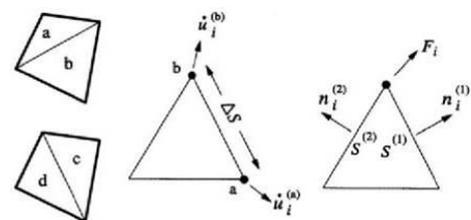
I materiali vengono rappresentati da elementi quadrilateri, o zone, che formano una griglia (*mesh*) che può essere configurata dall'utente in modo da modellare contatti stratigrafici e morfologie superficiali, anche complesse e irregolari. A ciascuna zona si assegnano le proprietà fisiche e meccaniche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

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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



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



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

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

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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:

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

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

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

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:

62

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

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

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

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

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

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

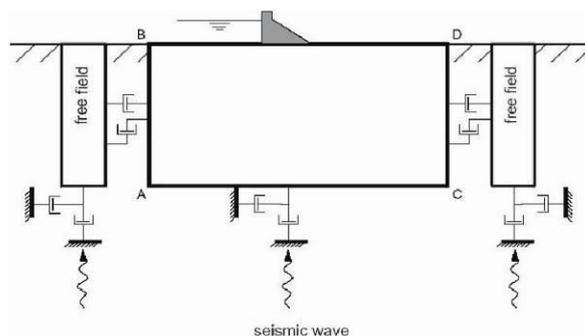
$$\Delta t_{cr} = \min \left\{ \frac{A}{V_p \Delta x_{max}} \right\} \quad (8.8)$$

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 e un ottavo della minima lunghezza d'onda di interesse λ_{min} :

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

La λ_{min} è la lunghezza d'onda che corrisponde alla massima frequenza di interesse ed è legata ad essa dalla velocità di propagazione delle onde di taglio. I metodi alle differenze finite, così come quelli agli elementi finiti, si basano sulla discretizzazione, tramite una *mesh* di nodi, di una porzione finita dello spazio, per cui appropriate condizioni al contorno vanno imposte ai confini artificiali di tale regione. In ogni problema di propagazione di onde sismiche, parte dell'energia si allontana indefinitamente dalla regione di interesse verso il semispazio circostante per fenomeni di diffrazione e riflessione, dando luogo 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 viscose (*quiet boundaries*). La definizione delle condizioni al contorno è strettamente correlata all'applicazione della sollecitazione dinamica, come discusso in seguito.

63



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

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

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

tensionale e deformativo all'interno del modello. All'atto dell'applicazione delle condizioni *free-field*, tutte le variabili di stato determinate dall'equilibrio statico vengono quindi applicate alle colonne monodimensionali ai bordi del modello.

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

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

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

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

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

64

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

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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

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

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

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

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

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

dove α_R e β_R sono i coefficienti di Rayleigh che hanno dimensione rispettivamente di s^{-1} e s . 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:

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

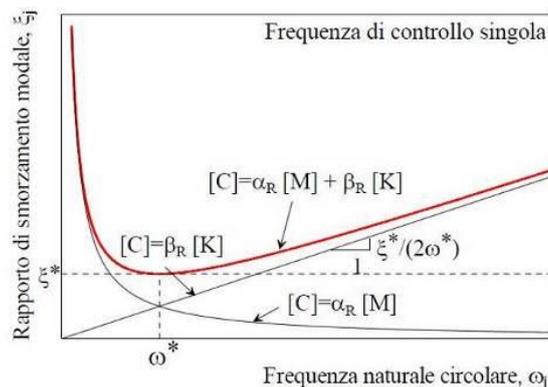
$$\alpha_R = \xi^* \omega^* \quad , \quad \beta_R = \frac{\sigma^*}{\omega^*} \quad (8.13)$$

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.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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 sopraccitate grandezze, in funzione della profondità o lungo un generico profilo.

8.1.2 Analisi numeriche condotte

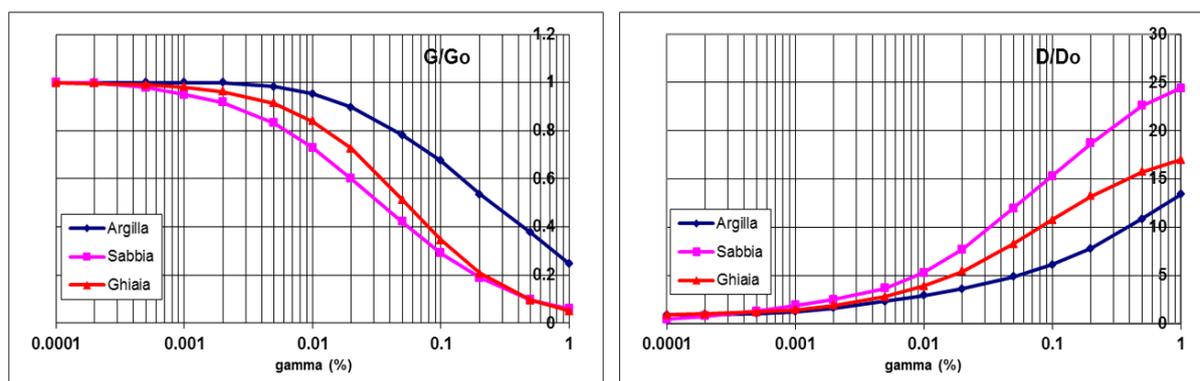
Per quantificare l'azione sismica in superficie sono state realizzate delle sezioni di rigidità del sottosuolo in corrispondenza delle aree da approfondire al Livello 3; su tali profili è stata successivamente condotta la modellazione numerica, come precedentemente spiegato. Le sismostratigrafie e i 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 monodimensionale.

Per limitare la riflessione delle onde in corrispondenza della frontiera inferiore del modello, sono stati utilizzati degli smorzatori viscosi (*quiet boundaries*), mentre le proprietà dissipative dei materiali sono state ottenute attraverso la formulazione di Rayleigh per quanto riguarda il *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.

67



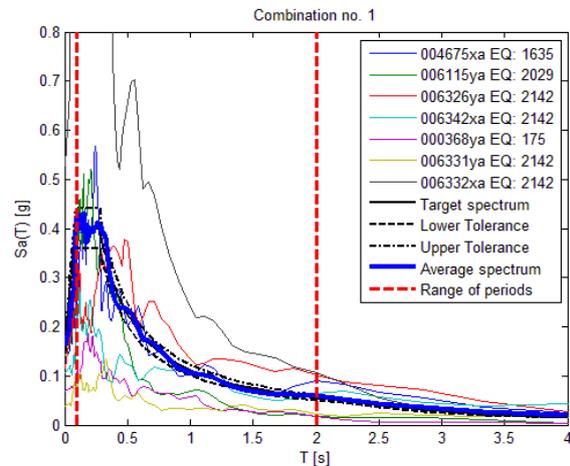
Nel rispetto della normativa vigente - D.M. 17/01/2018 - è stata assunta una severità dell'azione sismica con la probabilità di superamento (P) e con il periodo di ritorno (T_r) relativi allo stato limite considerato. In particolare, è stata considerata una vita nominale della costruzione (V_n) di 50 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).

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti

Gli *input* sismici utilizzati sono rappresentati da una settupla di storie accelerometriche applicate alla base del modello per lo stato limite considerato e riferite agli spettri di normativa calcolati per il sito in esame, considerando un sottosuolo di roccia affiorante (classe A) con topografia sub-orizzontale (T1) e correttamente deconvoluto (v. Dynamic Analysis della ITASCA, 2018).

In particolare, gli accelerogrammi sono stati ricavati tramite l'utilizzo del software REXEL - *computer aided record selection for code-based seismic structural analysis*.

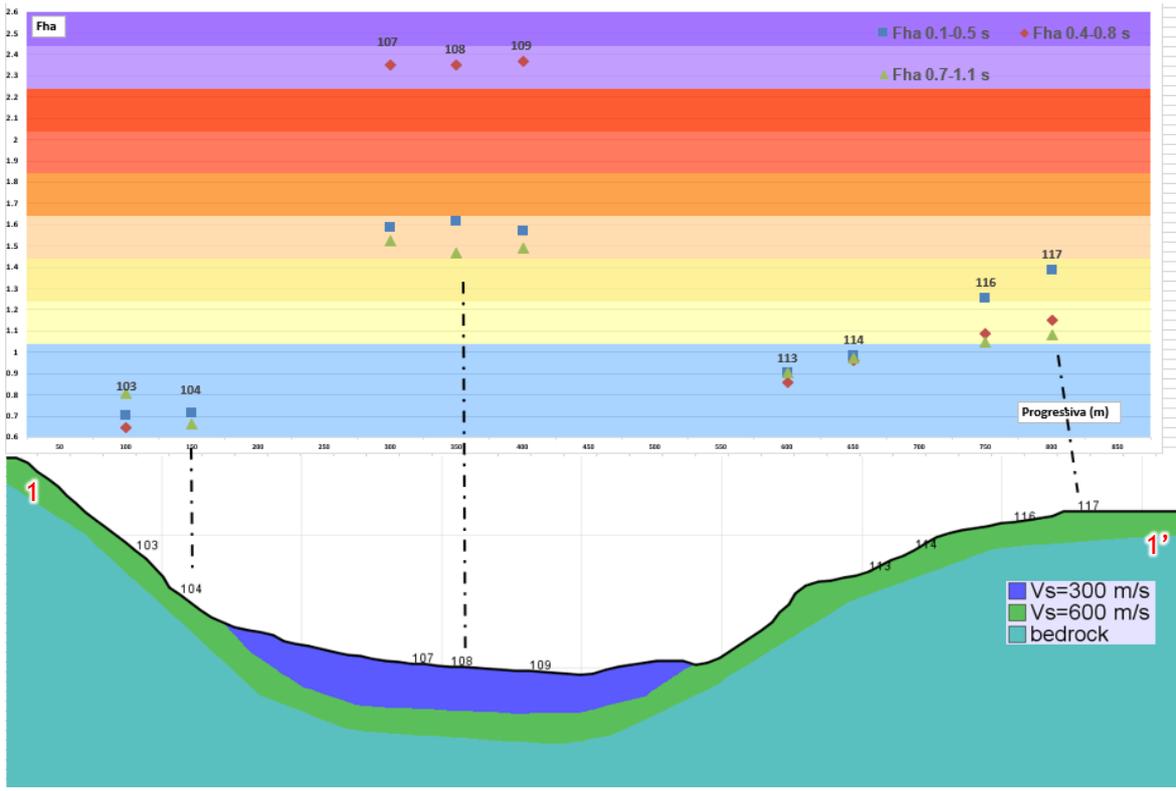
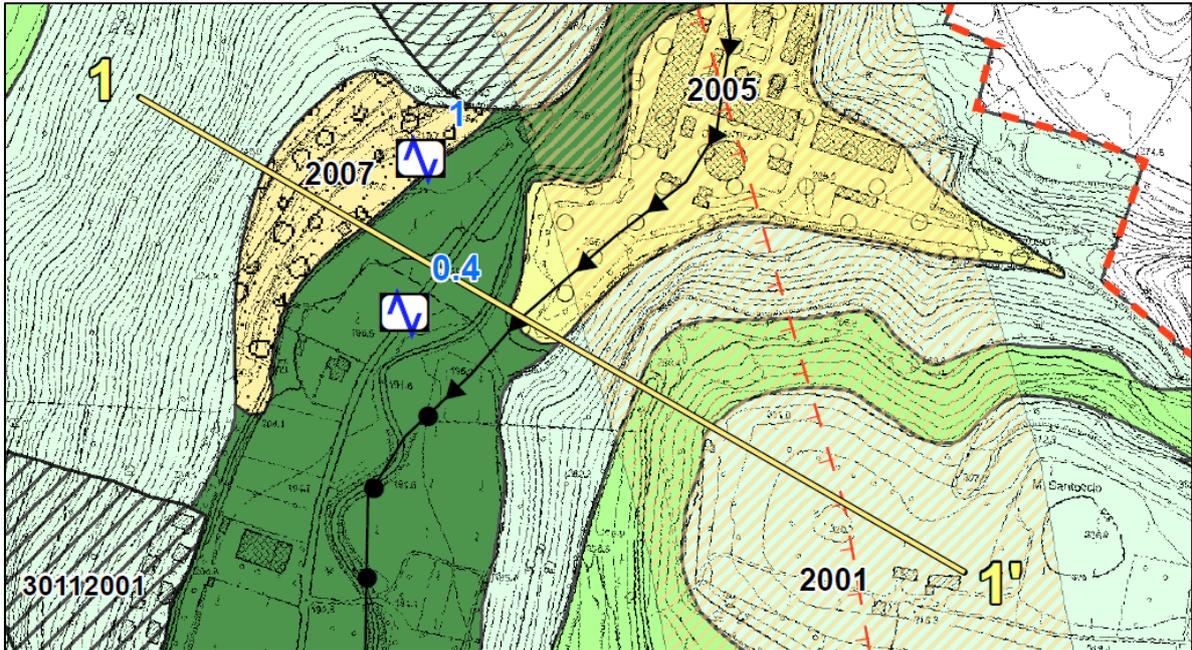
La *history* (storia temporale) ricavata al tetto del modello (per ogni input sismico applicato) rappresenta la storia accelerometrica orizzontale attesa nel sito d'indagine: ogni *history* è stata successivamente plottata in uno spettro di risposta elastico e mediata in una curva rappresentativa (accelerogramma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



Di seguito si riporta, per le n°5 sezioni analizzate, la traccia in pianta della sezione nella Carta MOPS il modello sismo - stratigrafico utilizzato per le analisi, e un profilo con i valori dei fattori di amplificazione FA in ciascun punto analizzato nella sezione.

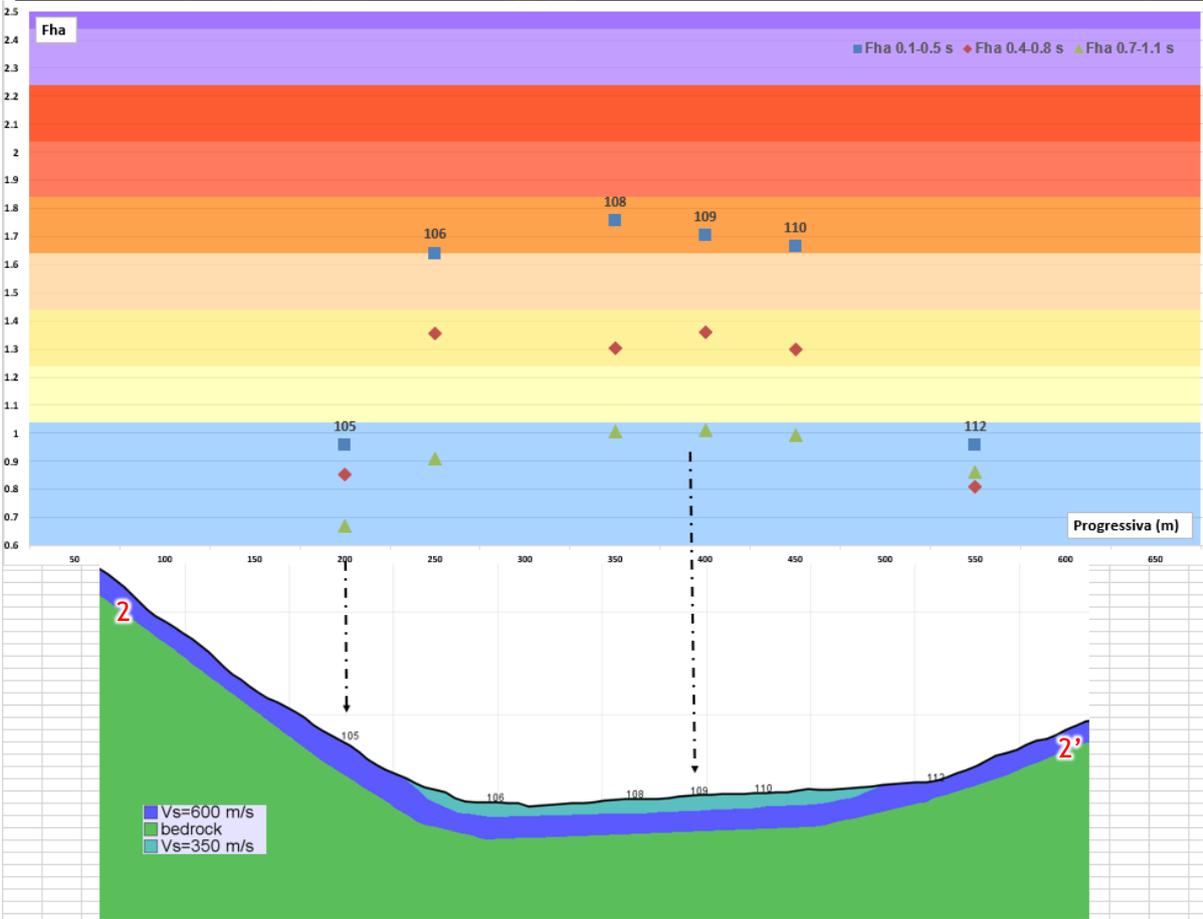
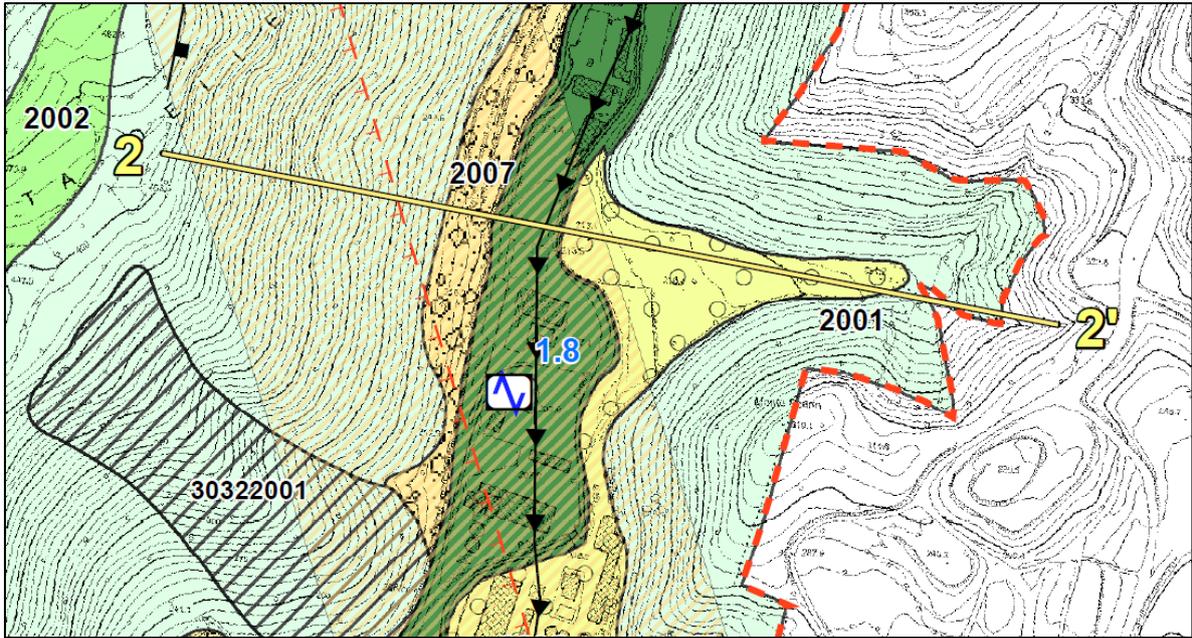
Inoltre, come è possibile osservare dai profili di FA, all'interno di ogni area MOPS sono state inserite diverse *history*, che hanno fornito valori di amplificazione variabili a seconda delle condizioni morfologiche e topografiche. Successivamente, è stata fatta la scelta del fattore di amplificazione rappresentativo per il sito e per le MOPS analizzate, e riportato nelle cartografie prodotte.

MODELLAZIONE 1-1'



	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1
Mops 2001 + 2002 + 2003 (versante)	1.0	1.0	1.0
Mops 2001 (alto topografico)	1.3	1.1	1.1
Mops 2004	1.5	2.3	1.5

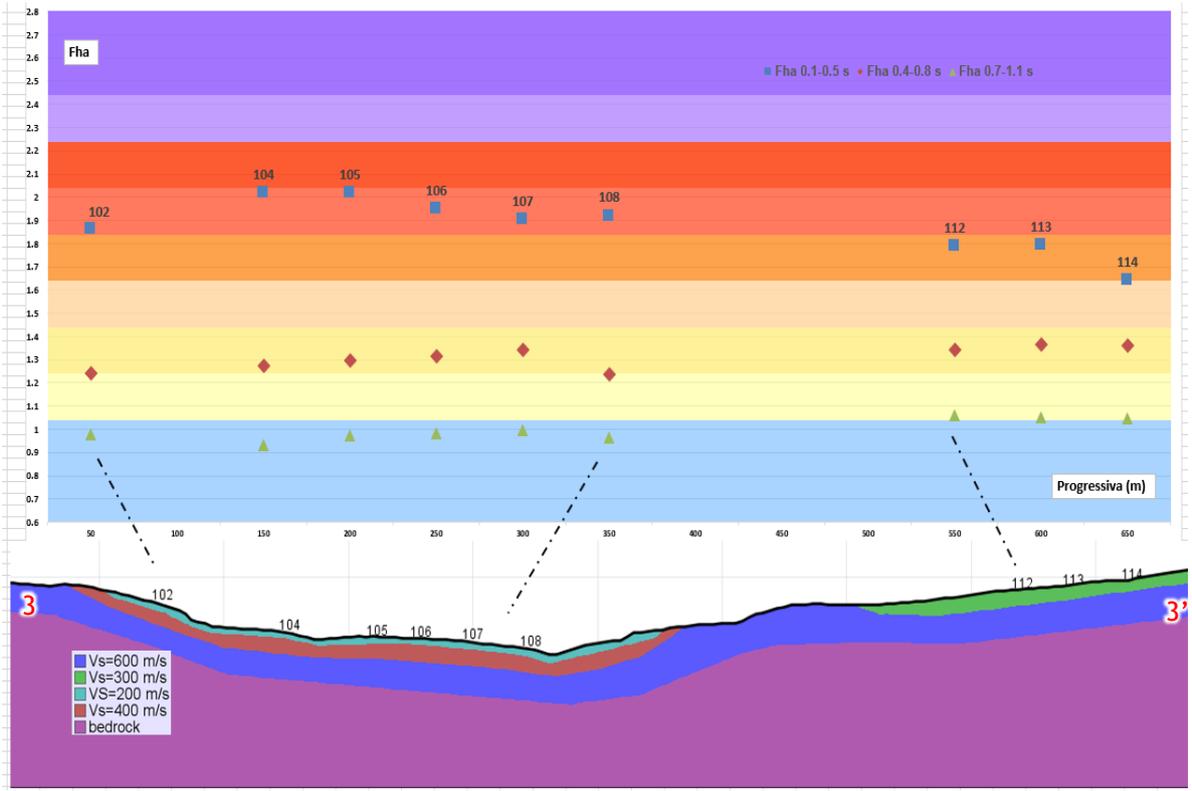
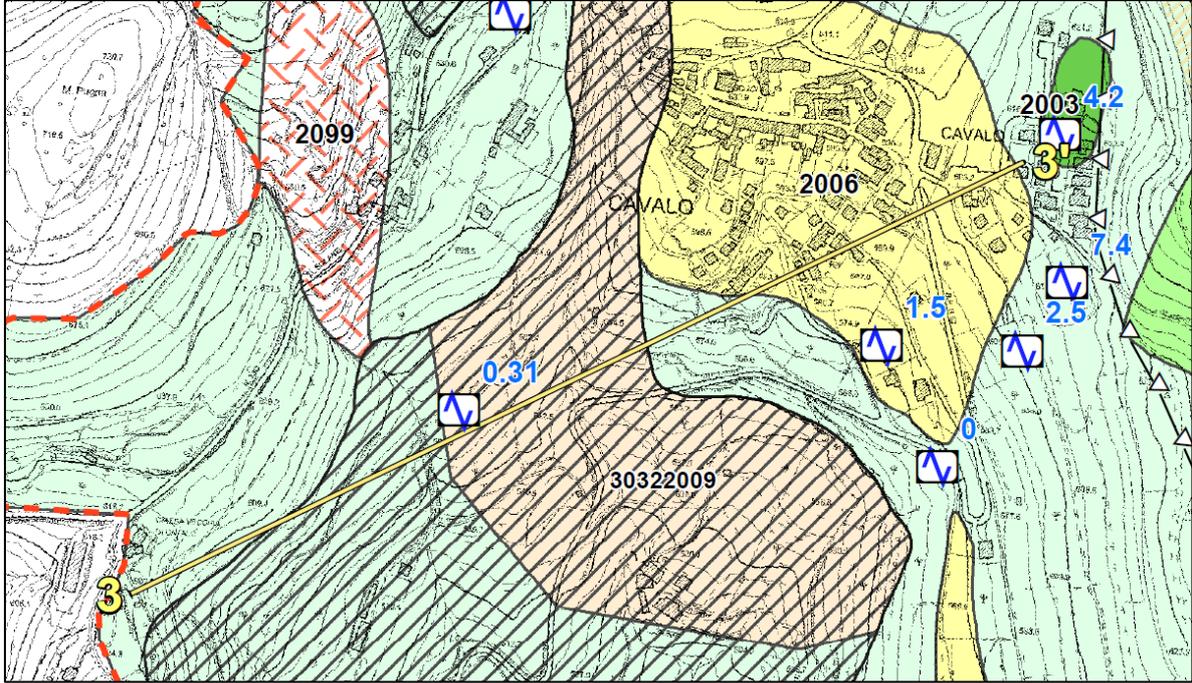
MODELLAZIONE 2-2'



70

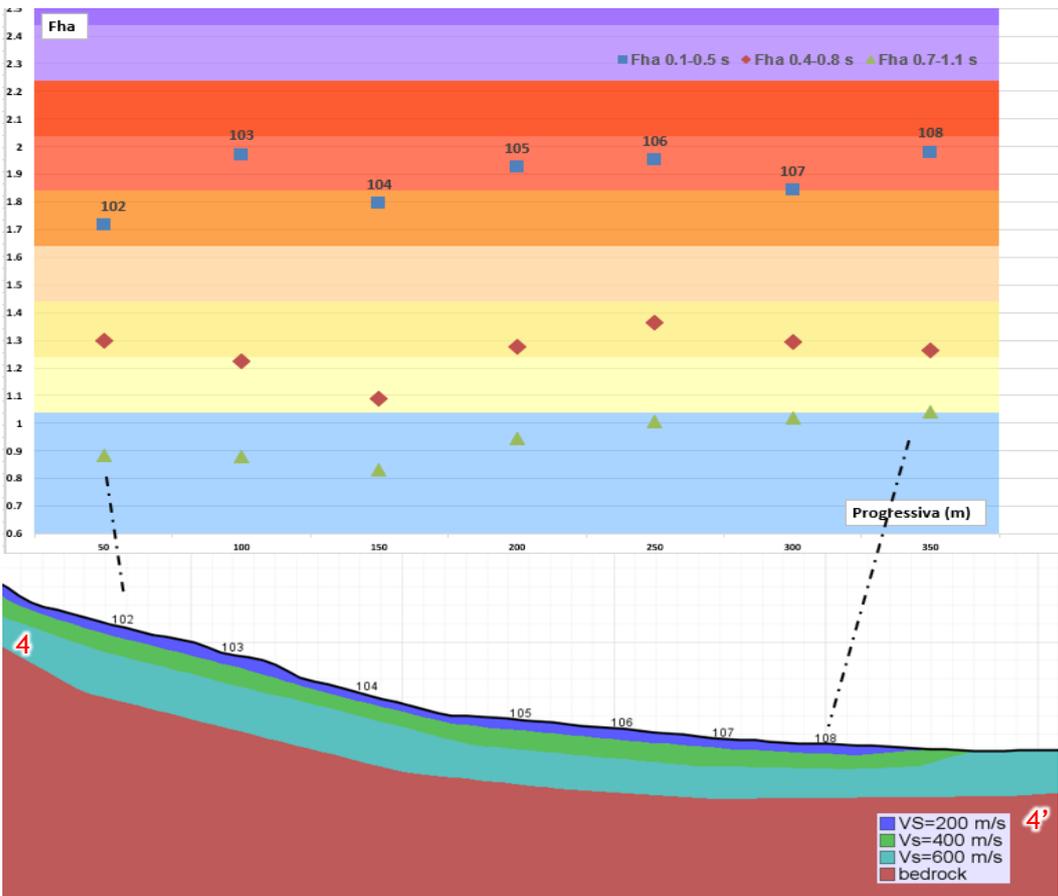
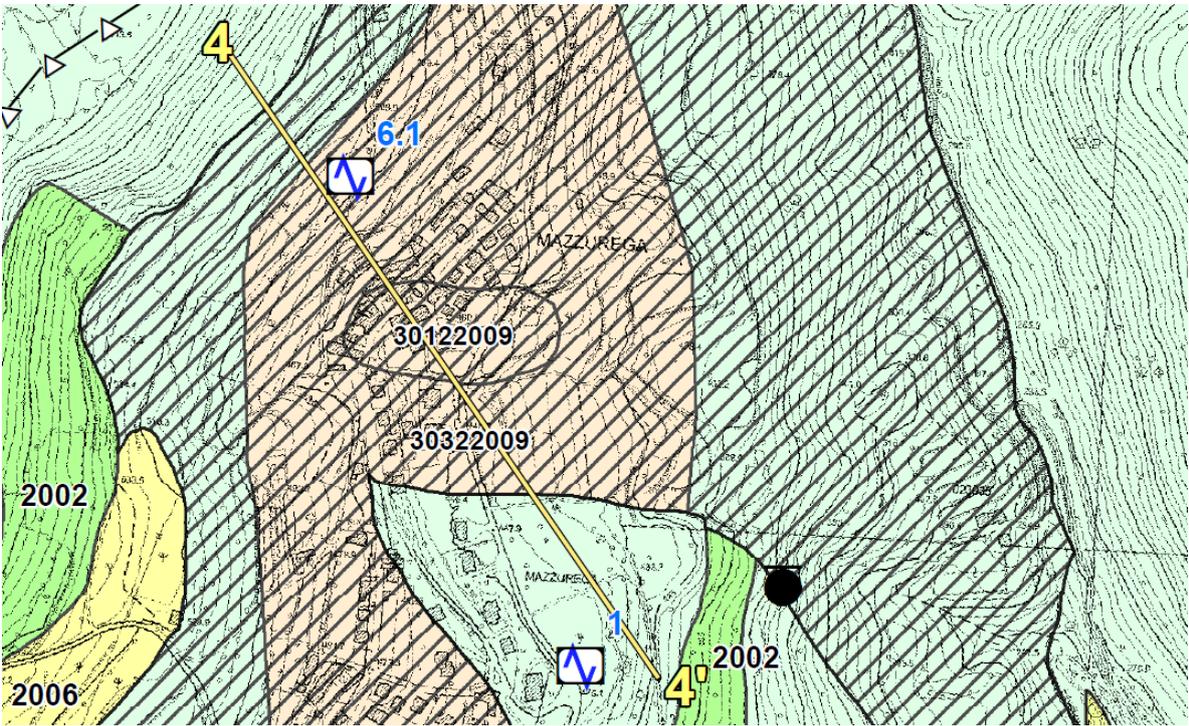
	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1
Mops 2001 + 2002 + 2003 (versante)	1.0	1.0	1.0
Mops 2005 + 2007	1.7	1.3	1.0

MODELLAZIONE 3-3'



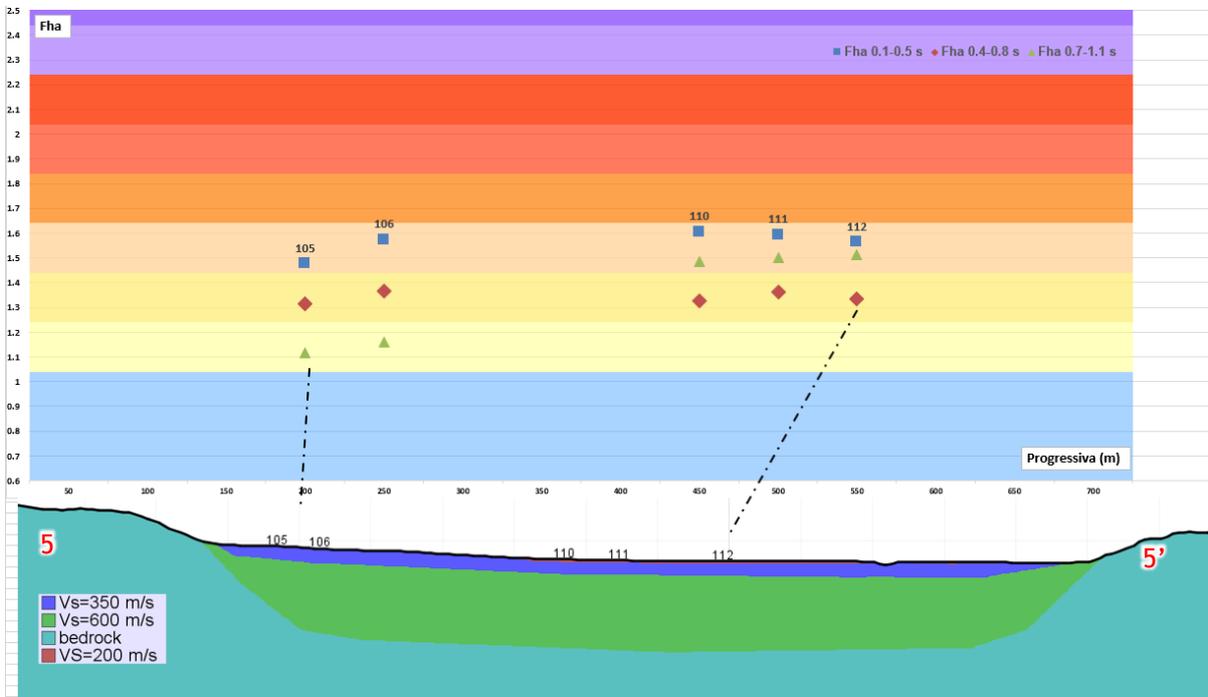
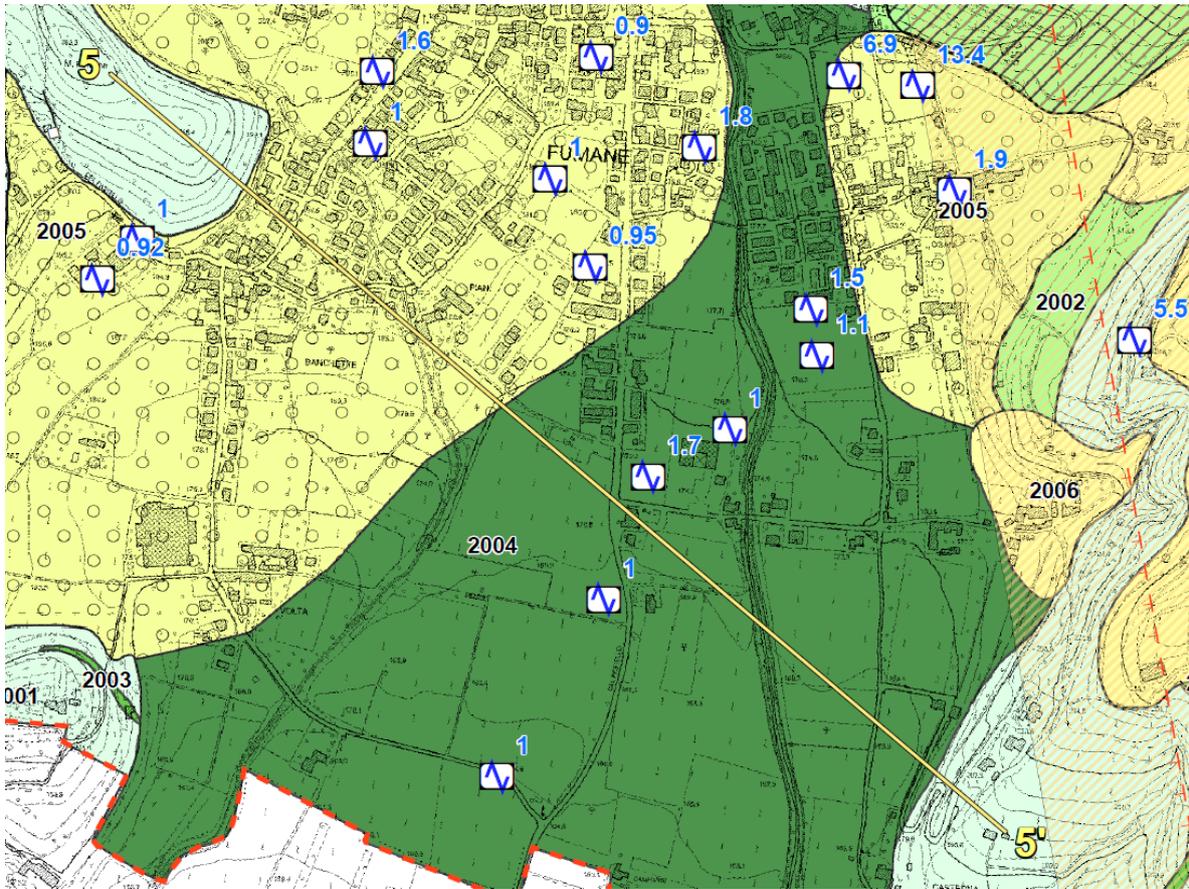
	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1
Mops 2009	1.9	1.3	1.0
Mops 2006	1.7	1.3	1.1

MODELLAZIONE 4-4'



	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1
Mops 2009	1.9	1.3	1.0

MODELLAZIONE 5-5



	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1
Mops 2005	1.5	1.3	1.1
Mops 2004	1.5	1.3	1.5

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

A partire dai risultati ottenuti e sopra illustrati è stato possibile ottenere le Carte di Microzonazione Sismica, riportanti i fattori di amplificazione nei tre periodi previsti dagli Standard (0,1-0,5s - 0,4-0,8s - 0,7-1,1).

Dall'osservazione degli elaborati si evince che:

- il Comune di Fumane è caratterizzato da valori amplificati del moto sismico di base che variano da 1,0 a 2,3;
- 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 ai litotipi e legati a diversi gradi di rigidità della roccia andando in profondità. I valori massimi si sono ottenuti in corrispondenza degli alti topografici, mentre in versante si registrano deamplificazioni (FA=1.0);
- i valori amplificativi massimi di Fa 0,1-0,5s (sensibili ai contrasti superficiali) sono associati alle aree con depositi eluvio-colluviali o con depositi di conoide della zona settentrionale. Essendo gli spessori di copertura ridotti, i principali contrasti di impedenza sono a profondità minori di 30 m; in accordo con quanto detto, le conoidi presenti a sud del territorio, in cui i sondaggi geognostici hanno mostrato spessori maggiori di 50 m prima di incontrare il substrato, presentano fattori di amplificazione minori ai bassi periodi;
- per quanto riguarda i depositi di fondovalle, (Zona 2004), è interessante osservare il comportamento dei fattori di amplificazione che varia procedendo dalle porzioni di valle più strette verso la valle più larga, da nord a sud di Fumane. Nel caso dei fattori relativi al periodo 0,1-0,5s, sensibili ai contrasti superficiali, i depositi fluviali rispondono in modo omogeneo lungo tutta la vallata con FA prossimi a 1,5. Per periodi più alti, l'effetto di valle influisce in maniera rilevante a nord con FA>2 nel periodo 0,4-0,8s (contrasti sismici a profondità 30-50 m dal p.c.); nella valle larga, i contrasti sono profondi (>100 m), perciò l'entità degli FA è minore (valore massimo 1,5) ma si osserva bene che il fattore a periodi maggiori (FA 0,7-1,1s) risulta più alto rispetto ai medi periodi.

74

8.2 Verifica della stabilità del versante in condizioni sismiche mediante metodo pseudo-statico di Newmark

Per quanto riguarda le **aree di frana** riportate negli elaborati di MS, si ricorda che queste sono state desunte dal controllo incrociato di CARG, PAI e PAT. Come previsto dagli standard nazionali, come zone di attenzione per instabilità di versante sono state inserite le frane con qualsiasi grado di attività.

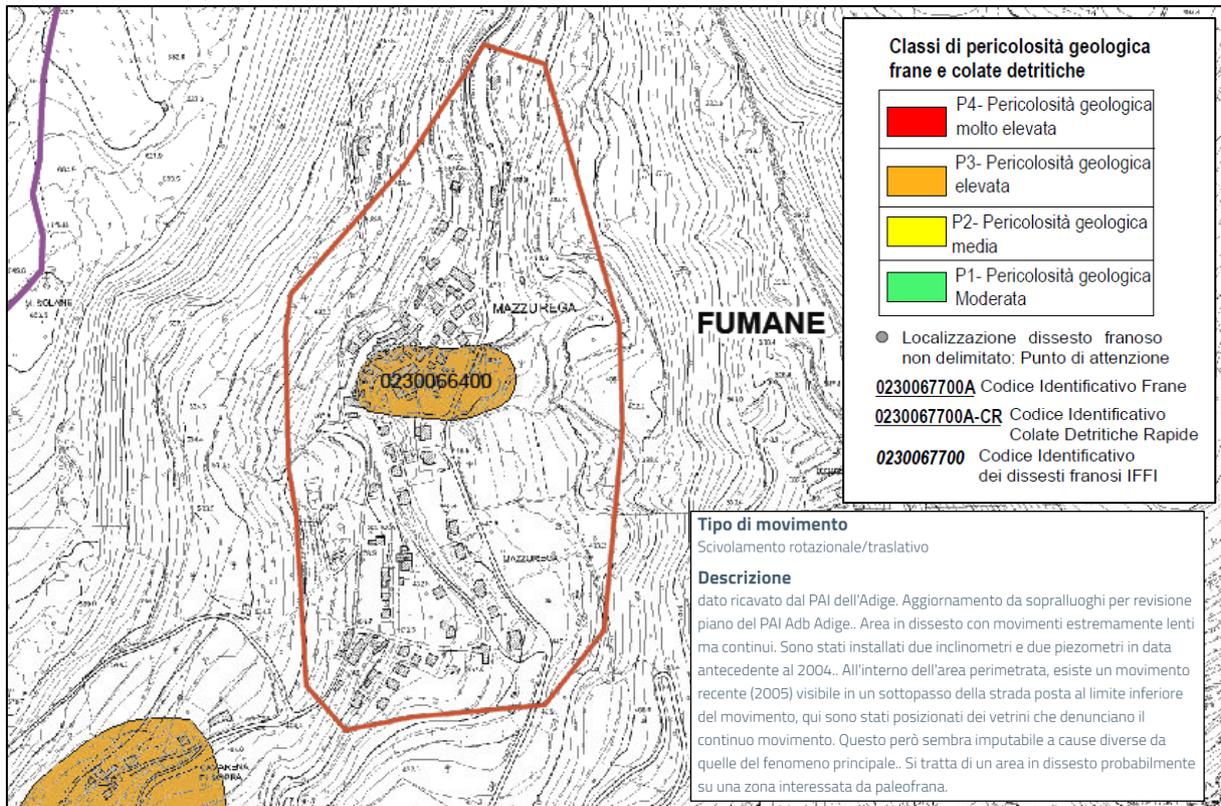
Per quanto riguarda il Comune di Fumane si tratta di 6 perimetri di fenomeni indicati come attivi mentre le restanti aree sono state considerate come paleofrane ormai inattive.

All'interno delle perimetrazioni di livello 3 ricade solo uno dei fenomeni considerati attivi dal PAI, quello posto nella zona di Mazzurega (vedi immagine seguente).

Dott. Geol. Matteo Collareda con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Laura Guerra Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti
--	--



Al fine di verificare la stabilità in condizioni sismiche, è stato effettuato uno studio di stabilità di versante in condizioni dinamiche, secondo il metodo pseudo-statico di Newmark su tale dissesto, segnalato nella cartografia PAI come frana di scorrimento attiva con pericolosità elevata (cod. 0230066400 - P3).



Metodo di verifica

La valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità è stata condotta mediante il programma di calcolo SLOPE v.2022 della GEOSTRU. In particolare, in questa sede si è fatto riferimento al metodo di Janbu, che prevede l'utilizzo di superfici di scivolamento di forma qualsiasi.

Il metodo di Janbu è un semplice, ma accurato, metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in n strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale Ni agisca nel punto medio della base della striscia.

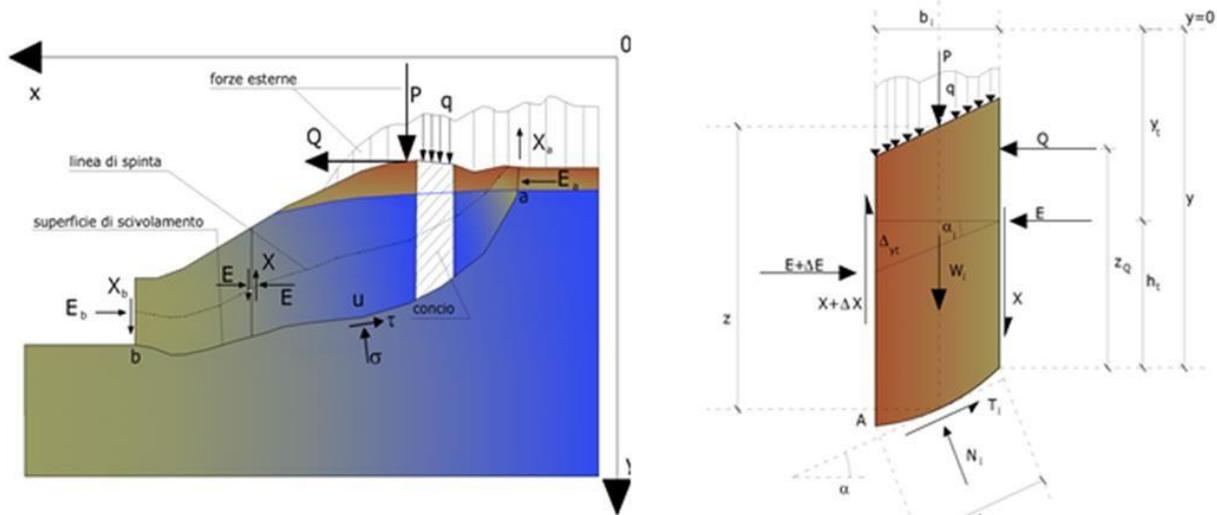
Le equazioni da prendere in considerazione sono:

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio dei momenti.

Il fattore di sicurezza risulta calcolato dalla seguente formula:

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

in cui i diversi parametri assumono i significati descritti nella seguente figura.



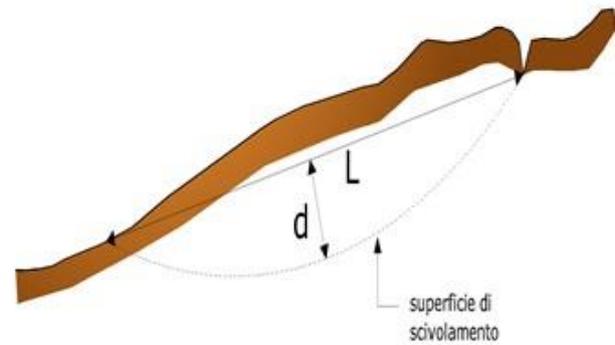
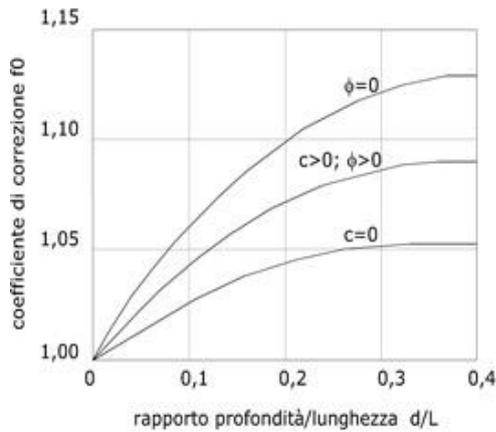
Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Janbu, inoltre, propone un metodo per la correzione del fattore di sicurezza che tiene conto della forma della frana e dei parametri geotecnici:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove f0 è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici (figura seguente). Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti



Correzione del fattore di sicurezza in funzione della forma della frana e dei parametri geotecnici

La stabilità nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico considerando un incremento della spinta a tergo del blocco dovuta all'accelerazione (verticale ed orizzontale) provocata dal sisma stesso. Tali valori dell'accelerazione provocata dal sisma sono valutati come una frazione dell'accelerazione di gravità g e i coefficienti moltiplicatori di g (K_x e K_y) variano con le caratteristiche sismiche della zona. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono quindi considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

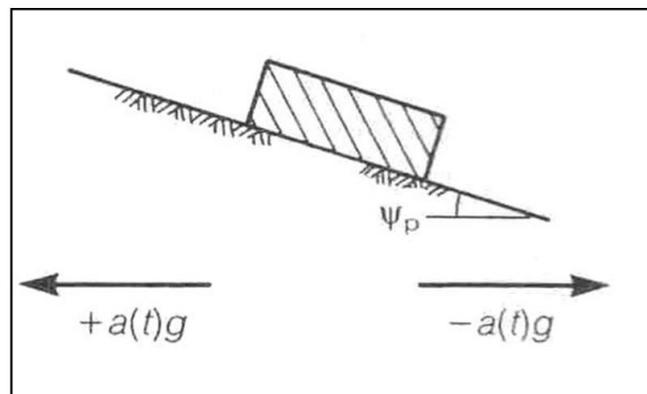
$$F_V = K_y W$$

Essendo F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro di ogni concio, W il peso del concio e K_x e K_y i coefficienti sismici orizzontale e verticale già introdotti in precedenza.

77

Gli effetti dello spostamento indotto dal sisma sono stati calcolati con il metodo di Newmark.

L'analisi alla Newmark è un metodo di analisi numerica utile alla definizione dello spostamento di una frana potenziale, considerata come un blocco rigido disposto su un pendio, imponendo le forze dinamiche (sisma) agenti sul blocco stesso. In sostanza il metodo valuta lo spostamento di un blocco di massa pari a quella del corpo in frana, sottoposto alla accelerazione indotta dal sisma.



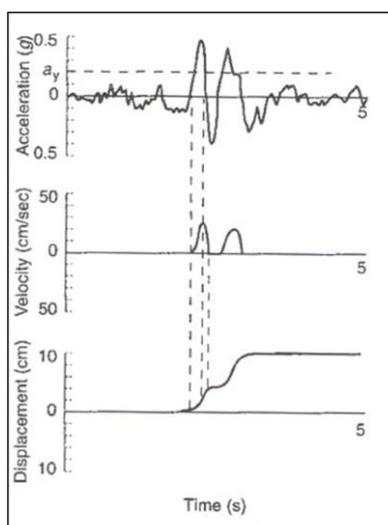
Schematizzazione del metodo di Newmark

Una volta definita la superficie di scorrimento il programma utilizzato (soft QSIM) definisce l'accelerazione critica che determina il movimento del blocco equivalente al volume della frana e

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

successivamente confronta tale valore con l'accelerogramma del sito per valutare per quanto tempo il blocco rimane in condizioni di accelerazione superiori a quella critica.

Il calcolo degli spostamenti permanenti avviene attraverso la doppia integrazione (accelerazione>>velocità>>spostamento) delle porzioni dell'accelerogramma che supera il valore di accelerazione critica (al di sopra del quale si ha instabilità).



Esemplificazione della metodologia di Newmark, con doppia integrazione dell'accelerogramma

In pratica il programma calcola lo spostamento massimo per ciascun accelerogramma considerato di riferimento, per la porzione di pendio di cui il metodo pseudostatico ha definito il fattore di sicurezza minimo.

Verifica di stabilità

78



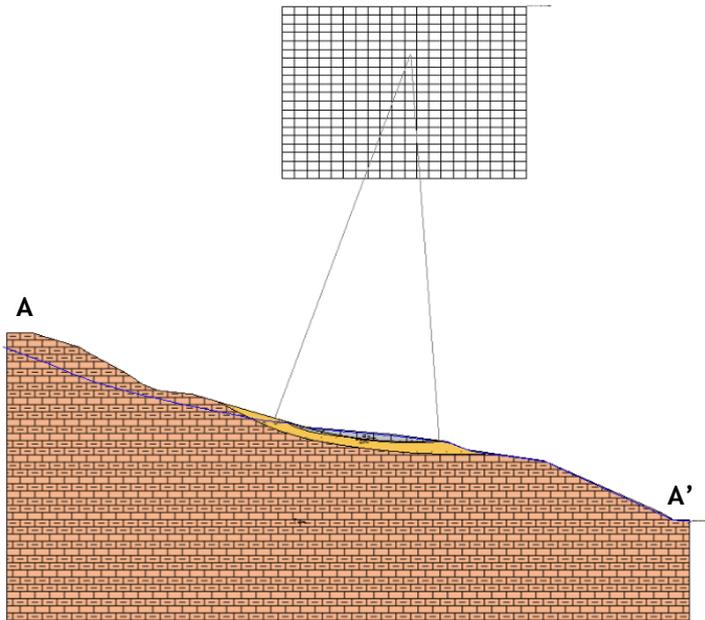
Traccia della sezione

La verifica è stata effettuata sulla zona di suscettibilità per instabilità di versante 30012009 mostrata nelle immagini. Il modello è stato definito considerando la sezione topografica più sfavorevole (zona di massima acclività) e quindi cautelativa; per il modello geologico ci si è rifatti alle indagini

geognostiche condotte nelle aree limitrofe, mentre si è effettuato uno studio di back- analysis per la restituzione dei parametri geotecnici del deposito instabile.

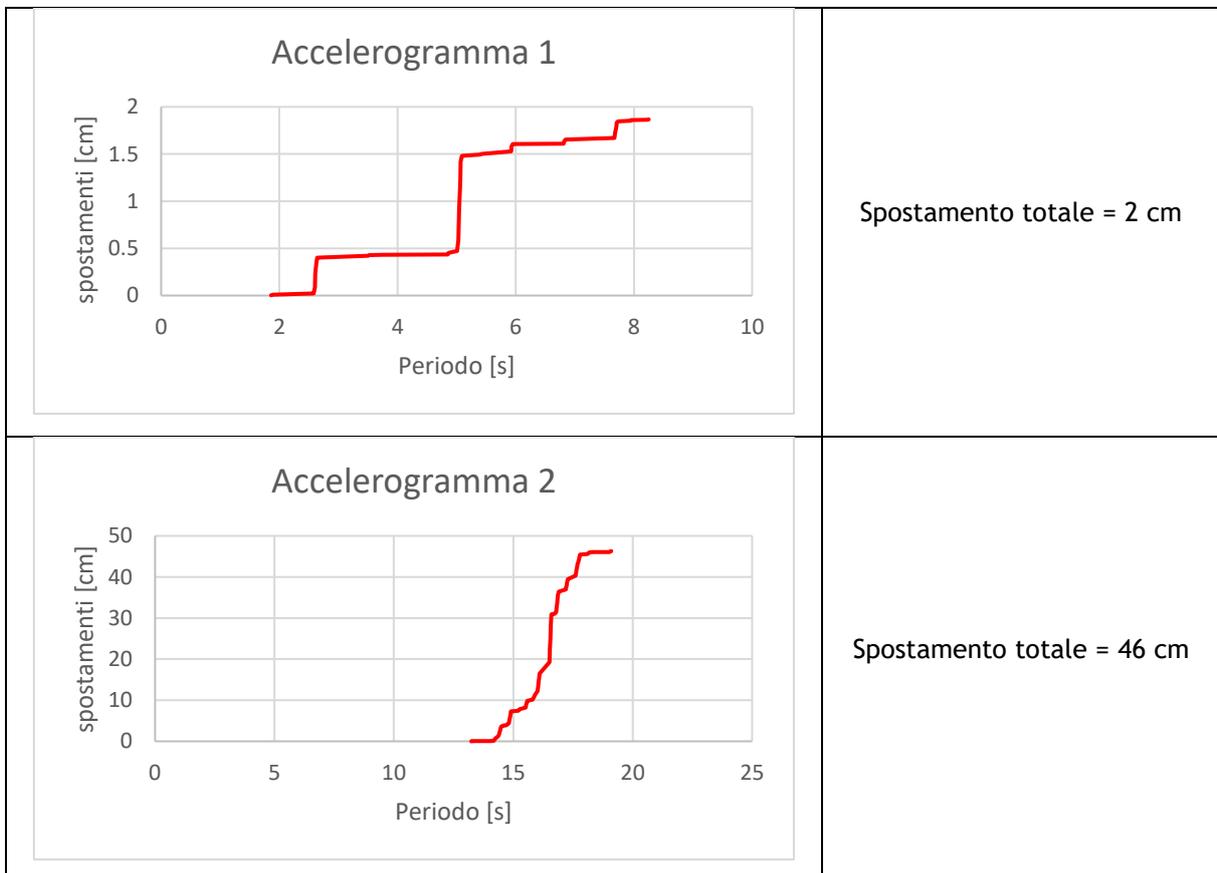
Sono state calcolate quindi le superfici di scorrimento ed i relativi fattori di sicurezza. Successivamente, sulla superficie con F_s minore, è stata calcolata l'accelerazione critica ed è quindi stata effettuata l'analisi dinamica.

Lo spostamento sismo-indotto è risultato pari a 28 cm, che rappresenta la media degli spostamenti calcolati per gli accelerogrammi ottenuti dall'analisi di RSL.

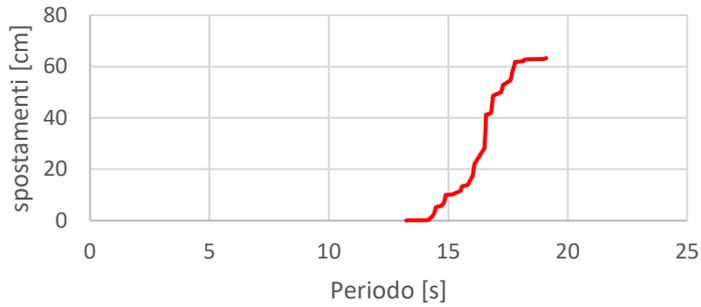


Unità	Phi [°]	C' [kg/cm ²]
Copertura	22-25°	0
Substrato	34	1.0

A seguire si riportano i grafici degli spostamenti ottenuti per ciascuno degli accelerogrammi.

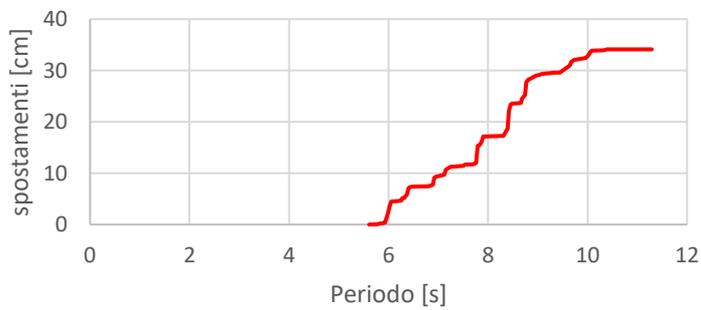


Accelerogramma 3



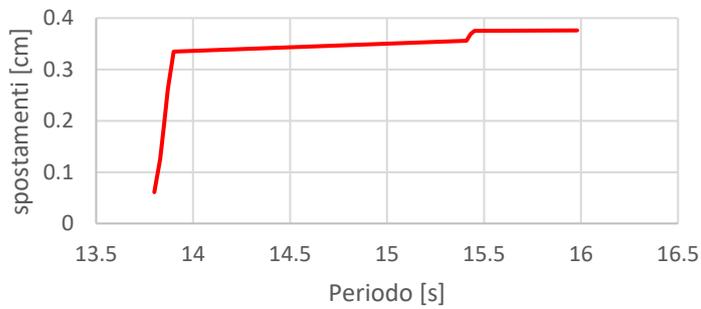
Spostamento totale = 63 cm

Accelerogramma 4



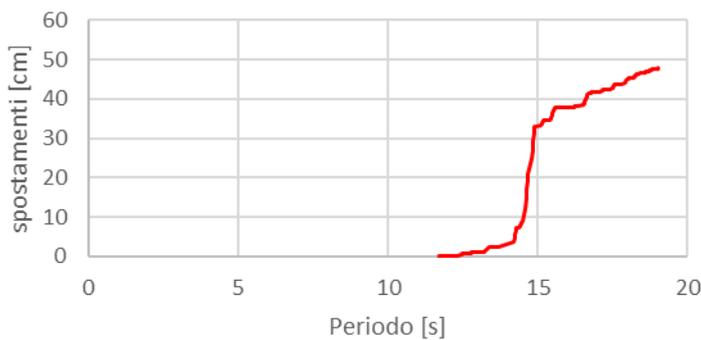
Spostamento totale = 34 cm

Accelerogramma 5



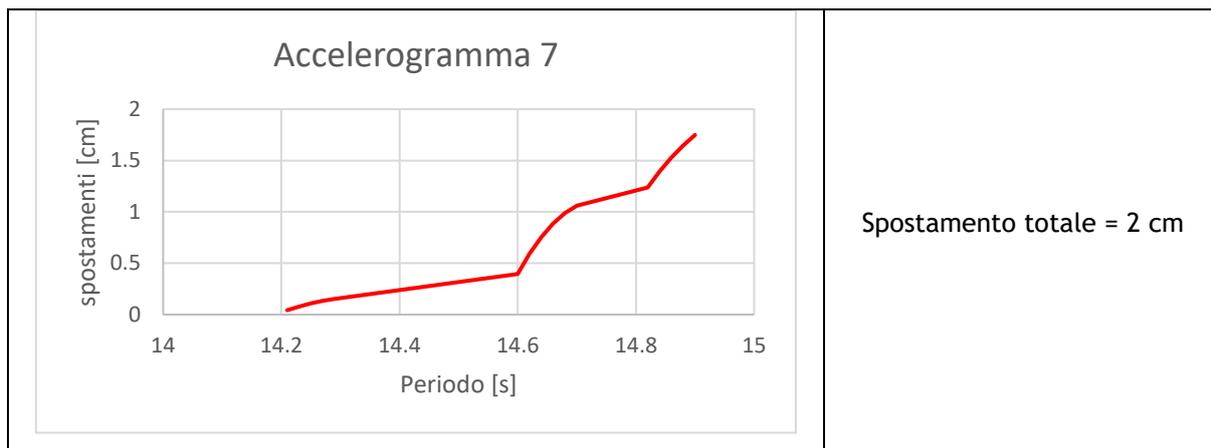
Spostamento totale = 0.4 cm

Accelerogramma 6



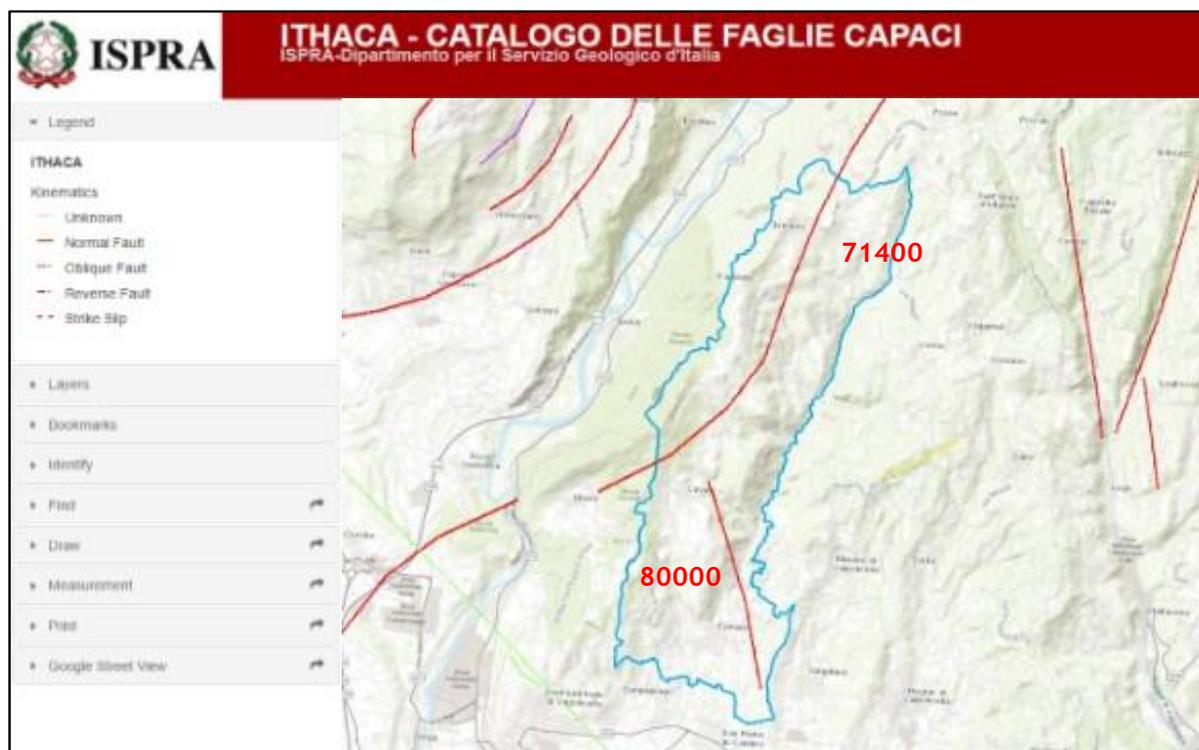
Spostamento totale = 49 cm

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli
	Dott. Geol. Patrizio Pacitti



8.3 Approfondimenti sulle zone di attenzione per “faglie potenzialmente attive e capaci”

Relativamente ai lineamenti tettonico-strutturali, la consultazione del catalogo ITHACA ha permesso di ubicare all’interno del territorio comunale due faglie attive e capaci, disposte indicativamente come nella figura riportata a seguire, e riportata nella cartografia del livello 1 di MS del comune di Fumane come FPAC - Faglie potenzialmente attive e capaci.



L’esatta ubicazione delle faglie risulta alquanto incerta poiché in parte celate al di sotto delle coperture sedimentarie e non sono presenti, in superficie, indicatori morfologici in grado di accertarne la presenza. Inoltre, la capacità di creare deformazione in superficie durante un evento sismico di magnitudo rilevante risulta, ad oggi, di dubbia attribuzione. A seguire si riportano le caratteristiche dei lineamenti in esame.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti
con la collaborazione di:	

Nome faglia	M. Pastello
Tipo Faglia	Inversa
Codice faglia	71400
Regione	Veneto
Sistema	M. Pastello Line
Ordine	Primaria
Direzione media	200
Direzione di immersione	W
Lunghezza (km)	19.6
Ultima attività (anni)	Olocene generico (<10000)
Evidenze sull'attività	Deformazioni nei depositi del Pleistocene/Olocene
Qualità dello studio	Sufficiente
Nome faglia	M. Fumana
Tipo Faglia	Diretta
Codice faglia	80000
Regione	Veneto
Sistema	M. Fumana
Ordine	ND
Direzione media	340
Direzione di immersione	W
Lunghezza (km)	4.7
Ultima attività (anni)	Olocene generico (<10000)
Evidenze sull'attività	Deformazioni nei depositi del Pleistocene/Olocene
Qualità dello studio	ND

82

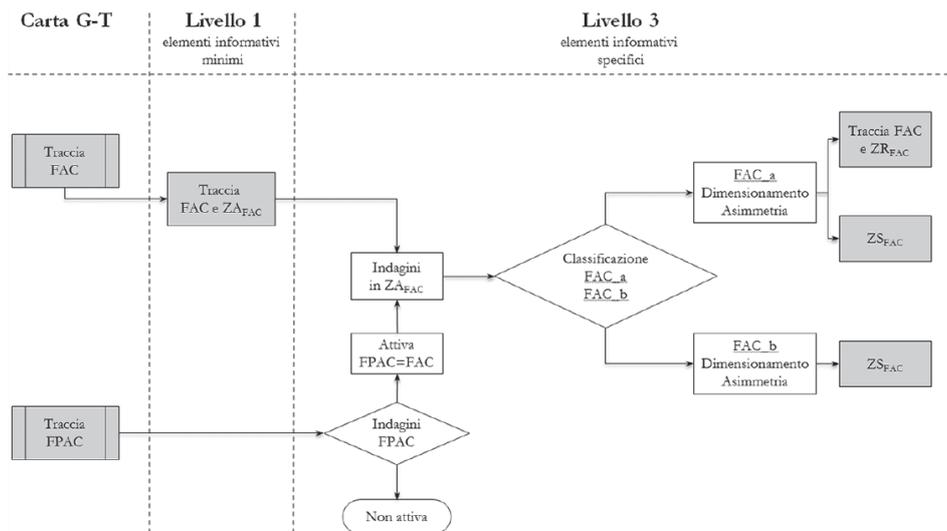
In accordo con quanto stabilito negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), è considerata attiva una faglia che si è movimentata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene) ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo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

Le FAC possono essere classificate in due categorie in funzione delle incertezze nella loro identificazione:

CATEGORIA (FAC_x)¹	DEFINIZIONE DELLA FAC_x	NOTE ESPLICATIVE
FAC_a	Certa e definita	Il piano di rottura principale e fenomeni cosismici ad essa collegati sono riconosciuti con certezza. In questa categoria sono comprese anche le strutture tettoniche secondarie e le zone di trasferimento tra segmenti distinti di una faglia attiva e capace.
FAC_b	Incerta	Gli elementi che compongono una faglia attiva e capace e i fenomeni cosismici collegati non sono cartografabili con certezza e/o dettaglio, per assenza di dati o perché non possono essere identificati (zone di trasferimento, gap, erosione, coperture, ecc.).

In particolare, secondo quanto riportato nel diagramma di flusso riportato nelle linee guida sulle faglie attive e capaci, le FPAC vengono riportate nella Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT_MS) nel livello MS1 ma non nelle MOPS. Nel livello 3 tali faglie verranno investigate con indagini appropriate al fine di identificarne l'eventuale attività negli ultimi 40.000 anni, oltre che definirne con certezza la geometria.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti



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

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

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

83

Nel caso di Fumane, i primi due indicatori sono confermati mentre non ci sono indizi superficiali della recente attività sismica né dalla consultazione di ortofoto né da rilievi sul campo effettuati dallo scrivente, anche tenendo conto che in questa zona, per la maggior parte della loro lunghezza, le faglie interessano il substrato marino litoide.

Dalle considerazioni sopra riportate, non è possibile, ad oggi, accertare e localizzare con la presenza di faglie attive e capaci di creare dislocazioni in superficie all'interno del territorio comunale di Fumane.

Tuttavia, dato il rischio sismico che una attività di dislocazione tettonica può provocare in superficie, si è deciso cautelativamente di assegnare alle due faglie la capacità di produrre deformazioni in superficie e, pertanto, è stata assegnata una "Fascia di Suscettibilità" definita come "Zona di suscettibilità per faglia attiva e capace (caratterizzante e non vincolante in quanto l'ubicazione della faglia è incerta poiché non sussistono evidenze morfologiche di una recente attività)".

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

9 PROPOSTA PER LE NORME TECNICHE OPERATIVE (NTO)

Nel presente capitolo viene proposta una norma di riferimento da inserire all'interno delle "Norme Tecniche Operative - NTO" del Comune di Fumane, al fine di recepire e rendere operativo lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 3.

Art. X Riduzione del rischio sismico

Lavoro di riferimento: Studio di Microzonazione Sismica di Livello 3.

Lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 3 identifica vari scenari di pericolosità sismica locale che concorrono alla definizione delle scelte di Piano.

Lo studio è parte integrante dello strumento urbanistico comunale, ma nel caso di esecuzione di opere o di interventi nel territorio non potrà in alcun modo sostituire le indagini e le elaborazioni puntuali, esplicitamente previste dalle vigenti Norme Tecniche sulle Costruzioni, con le successive modifiche e integrazioni.

Lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 3 ha chiaramente evidenziato le criticità sismiche del territorio comunale per quanto riguarda l'amplificazione sismica locale, a causa di un assetto tettonico-strutturale complesso, dei contatti sismo-stratigrafici tra litologie che possono rispondere in modo differente alla sollecitazione sismica e delle condizioni topografiche. In particolare, lo studio ha mostrato che:

- l'area studiata è interessata da una discreta variabilità dei fattori di amplificazione (1,0 - 2,3);
- in genere i fattori di amplificazione più elevati sono rilevati all'interno del periodo 0,1 - 0,5 (contrasti superficiali) e associati alle aree con depositi eluvio-colluviali o con depositi di conoide, aventi spessori delle coperture non superiori ai 30 m.
- 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 ai litotipi e legati a diversi gradi di rigidità della roccia andando in profondità. I valori massimi si sono ottenuti in corrispondenza degli alti topografici, mentre in versante si registrano deamplificazioni (FA=1.0);
- per quanto riguarda i depositi di fondovalle, (mops 2004), è interessante osservare il comportamento dei fattori di amplificazione che varia procedendo dalle porzioni di valle più strette verso la valle più larga da nord a sud di Fumane. Nel caso dei fattori 0,1-0,5s, sensibili ai contrasti superficiali, i depositi fluviali rispondono in modo omogeneo lungo tutta la vallata con FA prossimi a 1,5. Per periodi più alti, l'effetto di valle influisce tantissimo a nord su FA 0,4-0,8s che supera 2 (contrasti sismici a profondità 30-50 m dal p.c.); nella valle larga, i contrasti sono profondi (>100 m), perciò l'entità degli FA è minore (valore massimo 1,5) ma si osserva bene che il fattore a periodi maggiori (FA 0,7-1,1s) risulta più alto rispetto ai medi periodi.

Inoltre, l'analisi dei microtremori attraverso la tecnica Horizontal to Vertical Spectral Ratio (H.V.S.R.) ha consentito di stimare le frequenze di risonanza dei depositi, che dal punto di vista ingegneristico-strutturale rappresentano un parametro fondamentale per una corretta progettazione sismica delle strutture (cfr. Carta delle frequenze).

Per questo, in fase di progettazione, attraverso la consultazione delle cartografie dello studio di MS, si dovranno valutare le condizioni di amplificabilità / risonanza del sito al fine di valutare la metodologia più appropriata per determinare l'azione sismica:

- modellazioni numeriche di Risposta Sismica Locale;
- approccio semplificato da Categoria di Sottosuolo e Categoria Topografica.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

La determinazione della velocità delle onde di taglio Vs, indispensabili per la ricostruzione del modello sismo-stratigrafico, dovrà essere fatta utilizzando appropriate indagini sismiche, in foro (cross-hole, down-hole, cono sismico) o in superficie (MASW, Re.Mi., ESAC, sismica a rifrazione).

Alla luce di quanto sopra indicato si ritiene opportuno che in fase di progettazione si tengano in debita considerazione gli spettri di risposta sismica locale elaborati per questo studio per le varie microzone; il progettista attraverso il confronto tra gli spettri proposti e quelli derivanti dall'utilizzo delle categorie di sottosuolo delle NTC18, valuterà se sia necessario o meno svolgere una analisi di RSL per l'intervento di progetto.

Relativamente ai lineamenti tettonico-strutturali, la consultazione del catalogo ITHACA ha permesso di ubicare all'interno del territorio comunale due faglie che, secondo tale catalogo, sono state attivate durante l'Olocene (<10000 anni - faglie di M. Pastello e di M. Fumana con codici rispettivamente 71400 e 80000).

Le analisi e le considerazioni effettuate all'interno degli studi della microzonazione di livello 3 hanno attribuito cautelativamente alle due faglie la capacità di produrre deformazioni in superficie ma hanno evidenziato come risulti alquanto incerta la posizione della traccia del piano di faglia, non essendo presenti indicatori morfologici (fenomeni cosismici ad essa collegati quali scarpate morfologiche, zone di trasferimento, gap, erosione, coperture) in grado di accertarne la corretta ubicazione.

Pertanto, tali lineamenti sono stati ambedue classificati come FAC_b - faglia attive e capaci incerte, alla quale, secondo quanto previsto dalle linee guida per gli studi di MS, è stata assegnata una zona di suscettibilità contraddistinta da un buffer di 300 m a cavallo del supposto piano di faglia.

La pianificazione urbanistica e territoriale in zone interessate dalla presenza di faglie attive e capaci è chiamata a disciplinare gli usi del suolo e le previsioni di trasformazione urbana, tenendo conto della relazione tra la pericolosità sismica e i diversi contesti insediativi.

Nel caso in questione, l'assenza di evidenze morfologiche di una recente attività unita a un errore intrinseco nella rappresentazione del dato (database ITHACA - mapping scale 1:500.000), crea una rilevante incertezza sull'ubicazione della FAC che non può essere rappresentata esclusivamente dal buffer di 300 m prescritto dalle linee guida.

Pertanto non si ritiene possibile individuare fasce di vincolo o microzone specifiche da inserire negli strumenti pianificatori comunali.

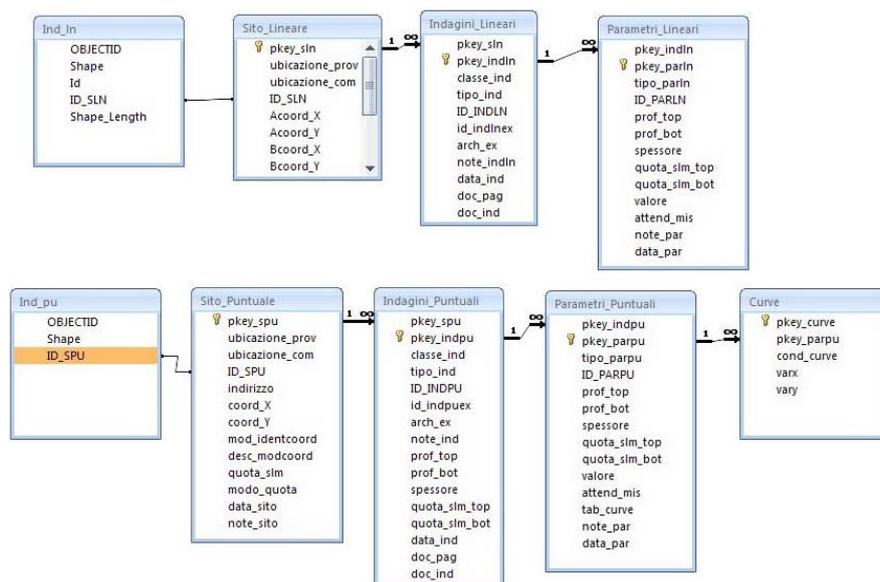
10 REDAZIONE CARTOGRAFICA E CREAZIONE BASI INFORMATIVE

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

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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 **Cdl_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 shapefile	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
Forme	Poligonali	Forme di superficie e sepolte

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

Nome file	Tipo shapefile	Descrizione
Stab	Poligonale	Zone stabili suscettibili di amplificazione locale
Instab	Poligonale	Zone instabili

87

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

Nome file	Tipo shapefile	Descrizione
Stab	Poligonale	Zone stabili suscettibili di amplificazione locale
Instab	Poligonale	Zone instabili

Tutti gli spetti di risposta elastici calcolati sono stati salvati nella cartella “MS23/Spettri” della struttura di archiviazione dei file. In particolare, secondo gli Standard, è necessario fornire, per ogni terna di fattori di amplificazione, lo spettro medio risultante.

Pertanto, nella cartella “MS23/Spettri”, si riportano n°8 file .txt contenenti gli spettri medi ottenuti dall’elaborazione numerica dei n.7 accelerogrammi di input nominati con un codice progressivo (FumanePSAO01.txt FumanePSAO8.txt).

Quindi, dal punto di vista operativo, un professionista che necessita di recuperare lo spettro relativo ad una determinata area del comune di Fumane dovrà:

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

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. FumanePSAO02);

3. Andare nella cartella "Spettri" e cercare la cartella con il nome suddetto: al suo interno troverà lo spettro elastico medio ottenuto dalla modellazione.

All'interno della cartella "BasiDati" sono state inserite le seguenti sezioni *raster* geoferenziate della C.T.R. scala 1:10.000 prodotte dalla Regione Veneto, che sottendono l'intero territorio comunale:

103140	Isola Vicentina
103150	Dueville
125030	Vicenza - Nord

Le coordinate riportate nelle tabelle del database (.mdb) e gli *shapefiles* allegati al progetto sono nel formato **WGS84 UTM33N**.

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 Fumane.

tabelle del database (.mdb) e gli *shapefiles* allegati al progetto sono nel formato **WGS84 UTM33N**.

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

11 BIBLIOGRAFIA

1. Artoni A., Rebesco M. (1990) - Deformazione per thrusting nei Lessini nord-occidentali (Verona - Italia settentrionale). Studi Geologici Camerti, volume speciale BARONI C. (1985), Note sulla paleogeografia della costa occidentale del lago di Garda. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 8, 49-61. 1985
2. Brammerini F., Di Pasquale G., Naso G., Severino M. (2008) - Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica - Parti I e II - Gruppo di lavoro "Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica" del Dipartimento della Prot. Civile
3. Carton A. & Castaldini D. (1985), Approfondimenti di morfoneotettonica tra il lago di Garda ed il torrente Alpone (provincia di Verona). Boll. Mus. Civ. St. Nat. Verona, 12, 461- 491. 1985
4. Castaldini D. & Panizza M. (1991), Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como (Italia settentrionale). Il Quaternario, 4(2), 333-410. 1991
5. Castellarin A. (1982) - Lineamenti ancestrali sudalpini. In Castellarin A., Vai G. B.: Guida alla geologia del Sudalpino centro-orientale. Guide geol. reg. S.G.I., pagg 41-55.
6. Castellaro S., Albarello D. (2011). Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. Ingegneria sismica, pp. 32-62
7. Castellaro S., Mulargia F., Bianconi L. (2005). Passive Seismic Stratigraphy: A new efficient, fast and economic technique. Geologia tecnica e ambiente, pp. 77 - 102
8. CERI Centro di ricerca "Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici" (2004) - La microzonazione sismica. Metodi, esperienze e normativa
9. Chopra L. (1995). Dynamic of Structures: theory and applications to earthquake engineering. Prentice Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics. Prentice - Hall
10. Dey A. and Morrison H.F. (1979) - Resistivity modelling for arbitrary shaped two-dimensional structures. Geophysical Prospecting, 27, 1020-1036
11. Doglioni C, Bosellini A. (1987) - Eoalpine e mesoalpine tectonics in the Southern Alps. Geol. Rundsch., 76, pagg 735-754.
12. F. Galadini, P. Galli, A. Cittadini, B. Gioiaccio (2001) - Late Quaternary fault movements in the Mt. Baldo - Lessini Mts. Sector of the Southalpine area (northern Italy)
13. 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
14. 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
15. 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
16. 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
17. Lanzo G., Pagliaroli A., D'Elia B. (2003). Numerical study on the frequency-dependent viscous damping in dynamic response analyses of ground. In Latini e Brebbia (eds), Earthquake Resistant Engineering Structures, WIT Press, Southampton, Boston, pp. 315-324
18. 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
19. Lanzo G., Silvestri F. (1999) - Risposta Sismica Locale. Hevelius Ed.
20. Louie, J. N. (2001). Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, Bull. Seism. Soc. Am., 91, 347-364
21. Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/dbmi/dbmi15.4>
22. 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
23. 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
24. Mucciarelli M (2011) - Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici - Progetto ricerca 2007PTRC4C - Aracne editrice
25. Panizza M., Slejko D. et al. (1981) - Modello sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda e il Monte Grappa
26. 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
27. 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>
28. Sarti M., Bosellini A., Winterer E.L. (1992) - Basin geometry and architecture of a Tethyan passive margin (Southern Alps, Italy): implications for rifting mechanisms. In: WATKINS J.S., ZHIQIANG F., MCMILLEN F. - Eds, Geology and Geophysics of Continental Margins. AAPG Memoir, 53, pagg. 241-258.
29. Sauro U. & Meneghel M. (1980) Dati preliminari sulla neotettonica dei fogli 21 (Trento) (p.p.), 35 (Riva) (p.p.), 36 (Schio) (p.p.), 49 (Verona) (p.p.). CNR (1980) - Contributi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, P.F. Geodinamica, Pubbl. 356, 331-357. 1980
30. SESAME Project (2005) - "Site Effects Assessment Using Ambient Excitations"
31. Slejko D. et al (1987) - Modello sismotettonico dell'Italia Nord - Orientale. CNR
32. 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>
33. Viganò A., 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
34. Zanferrari A., Bollettinari G., Carobene L., Carton A., Carulli G.B., Castaldini D., Cavallin A., Panizza M., Pellegrini G.B., Pianetti F. & Sauro U. (1982), Evoluzione neotettonica dell'Italia Nord-Orientale. Mem. Soc. Geol., 35, 355-376, Padova. 1982

Dott. Geol. Matteo Collareda	Dott.ssa Geol. Laura Guerra
con la collaborazione di:	Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli Dott. Geol. Patrizio Pacitti

12 ALLEGATI FUORI TESTO

- | | |
|---|----------------|
| 1. Carta delle indagini | Scala 1:10.000 |
| 2. Carta geologico-tecnica | Scala 1:10.000 |
| 3. Carta delle frequenze | Scala 1:10.000 |
| 4. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica | Scala 1:10.000 |
| 5. Carta della Pericolosità Sismica Locale | Scala 1:10.000 |
| 6. Carta di microzonazione sismica FA 0,1-0,5s | Scala 1:10.000 |
| 7. Carta di microzonazione sismica FA 0,4-0,8s | Scala 1:10.000 |
| 8. Carta di microzonazione sismica FA 0,7-1,1s | Scala 1:10.000 |
| 9. DVD contenente i file pdf dello studio e le basi informative | |