



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009. n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA ILLUSTRATIVA

Regione Lazio
Comune di Alatri



Regione	Soggetto realizzatore	Data
	Dott. Geol. Luca Scerrato Dott. Geol. Paolo Sarandrea Dott. Geol. Giuseppe Verbena Dott. Geol. Carlo Gazzetti	24/03/2015

Sommario

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	3
2.1 Aspetti geologico-strutturali	3
2.2 Idrogeologia	6
2.3 Sismicità	9
3. CARTA DELLE INDAGINI	14
3.1 Approccio metodologico	14
3.2 Prove penetrometriche dinamiche (SPT, DPSH, DL)	15
3.3 Prove geofisiche	16
3.3.1 Prove MASW	16
3.3.2 Sismica a rifrazione	17
3.3.3 Prove HVSR	18
4. CARTA GEOLOGICO – TECNICA	18
5. CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)	20
5.1 Approccio metodologico	21
5.2 Zone stabili	21
5.3 Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica	22
5.4 Zone di attenzione per instabilità	26
6. VALUTAZIONE DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI	27
7. CLASSE DI QUALITÀ DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1	30

1. PREMESSA

La presente Relazione illustrativa è stata redatta dallo scrivente dott. Geol. Luca Scerrato incaricato dal Comune di Alatri con disciplinare “SUB. A” del 30/09/2015, al fine di descrivere i dati acquisiti, le metodologie adottate e i risultati dell’attività di aggiornamento dello studio di microzonazione sismica di livello 1, del territorio comunale di Alatri. Lo studio è stato effettuato secondo gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (di seguito ICMS) e delle Linee guida emanate con DGR Lazio 545 del 26 novembre 2010 e s.m.i. e ai sensi del ai sensi dell’OCDPC n.171 del 19 giugno 2014 e rispettando gli standard di rappresentazione ed archiviazione informatica v. 4.0b emanati dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica nel mese di ottobre 2015.

Il Livello 1 di microzonazione sismica è un livello di base che consiste nella rilettura e successiva rielaborazione ragionata dei dati geologici, geofisici e geotecnici preesistenti e/o appositamente rilevati al fine di poter suddividere qualitativamente il territorio in Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), ovvero in zone caratterizzate da uno stesso comportamento sismico.

L’individuazione delle MOPS tiene conto della necessità di perimetrare le aree suscettibili di amplificazioni e/o di effetti locali permanenti, nell’ottica di procedere alla definizione degli effetti attesi attraverso la caratterizzazione delle unità geologiche del sottosuolo, degli aspetti geomorfologici e, ove necessario, mediante l’individuazione delle più opportune indagini da eseguire per i successivi livelli di microzonazione.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1 Aspetti geologico-strutturali

Il comune di Alatri è ubicato nel Lazio meridionale, in provincia di Frosinone ed occupa un'area di circa 80 km². Il territorio comunale confina a nord con i territori dei comuni di Collepardo e Vico nel Lazio; a sud con il comune di Frosinone; ad ovest con i comuni di Trivigliano, Fumone e Ferentino; ad est con il comune di Veroli.

Il territorio di Alatri si colloca nel settore Sud Occidentale della dorsale carbonatica dei Monti Ernici, che costituiscono il confine regionale tra il Lazio e l'Abruzzo, a cavallo della media valle del Fiume Cosa, originata da importanti lineamenti tettonici di tipo prevalentemente compressivo. La dorsale ernico-simbruina è formata sostanzialmente da una potente successione di rocce carbonatiche mesozoiche con lembi più modesti di depositi miocenici trasgressivi. La dorsale si sviluppa prevalentemente in senso Appenninico da NW a SE e risulta essere limitata a nord dai Monti Carseolani, dalla Valle Latina a WSW, a sud dalla Piana di Cassino e ad est dalla Valle Roveto (Fig. 2.1). La storia geologica dei complessi simbruini-ernici, Valle Latina e Lepini rientra nell'evoluzione geodinamica dell'Appennino Centrale, che risulta essere il risultato della sovrapposizione di differenti effetti, sedimentari e tettonici, che si sono succeduti nel tempo.

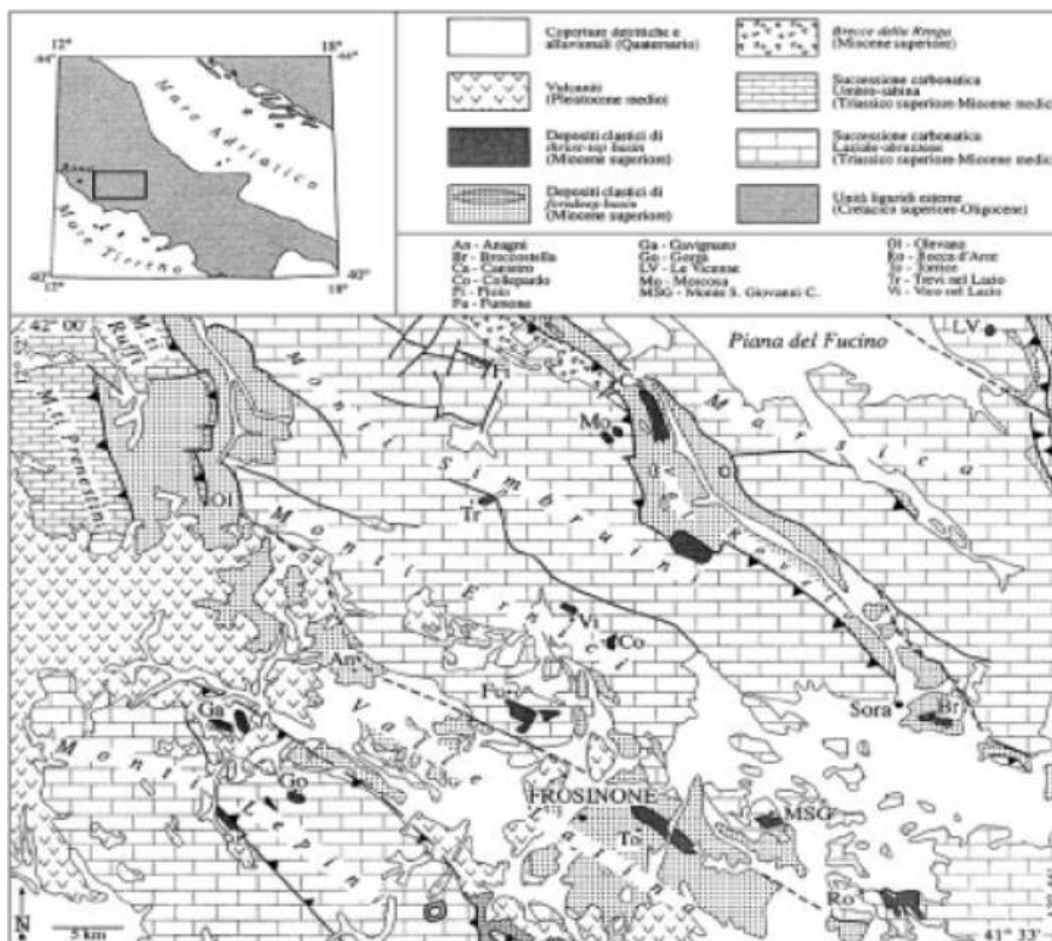


Fig. 2.1 –Schema geologico del settore ernico-simbruino (da Cipollati P. & Cosentino D., 1995)

Il territorio di Alatri, in particolare, si inserisce, quindi, all'interno del comprensorio pre-ernico, dell'Appennino centro meridionale, e va a costituire una fascia di raccordo con l'area depressa della Media Valle Latina.

Dal punto di vista geologico, i terreni presenti sono descritti all'interno del Foglio 151 "Alatri" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100'000 (Fig. 2.2) e parzialmente nel Foglio 389 "Anagni" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50'000.

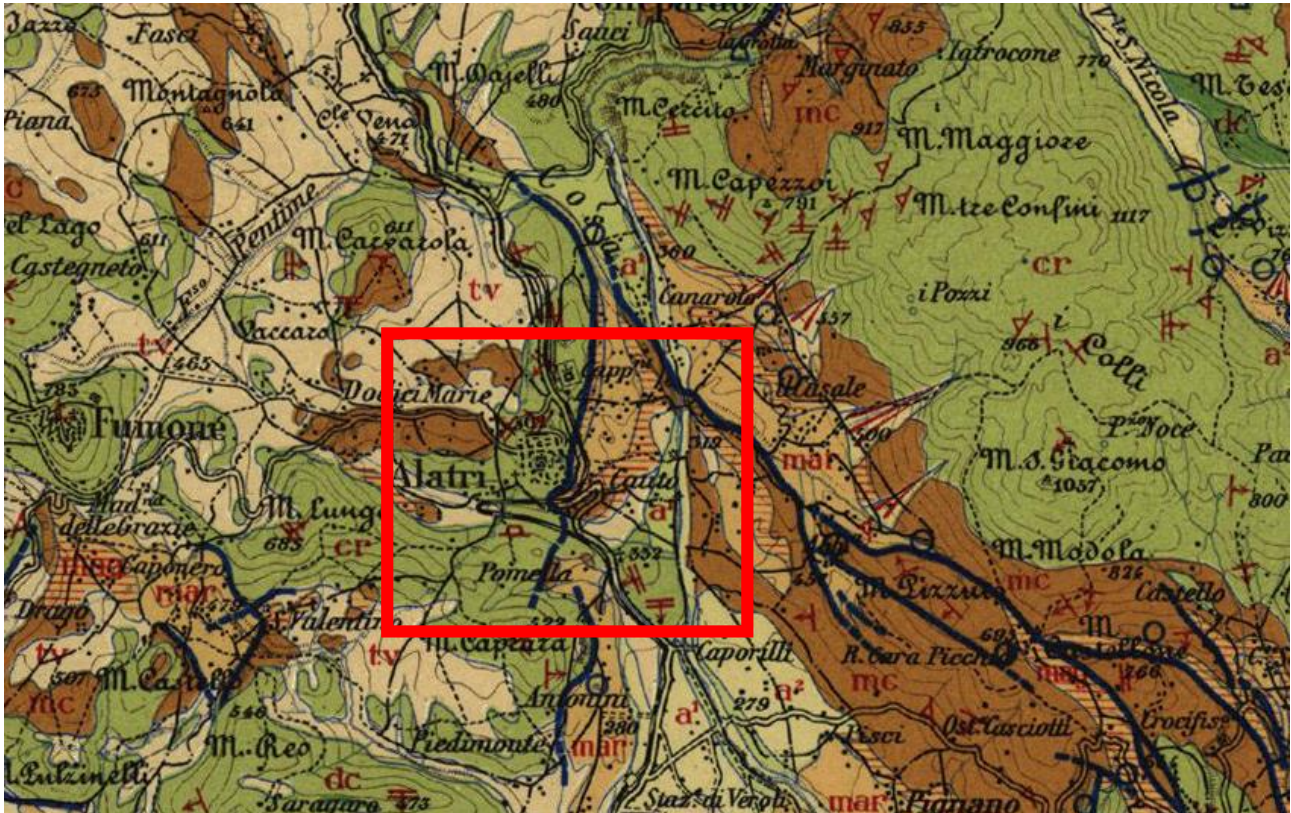


Fig. 2.2 –Stralcio del Foglio 151 "Alatri" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100'000.

In particolare, all'interno del territorio in esame si rinvencono sia i depositi tipici di piattaforma carbonatica meso-cenozoica che i depositi flyschoidi torbiditici silicoclastici di avanfossa, di età miocenica (noti in questo settore con il nome di Formazione di Frosinone). L'insieme di tali depositi vanno a costituire la totalità dei rilievi montuosi e collinari che caratterizzano l'orografia del territorio comunale. L'assetto stratigrafico risulta essere smembrato e complicato da linee tettoniche, la cui azione si concentra in due fasi ben distinte (Cavinato et al. 1990). La prima, a carattere compressivo, è avvenuta in concomitanza del sollevamento orogenico, (Miocene sup.-Pliocene inf.), ed è testimoniata da alcuni sovrascorrimenti aventi direzione prevalente NNW-SSE, e subordinatamente NS. La seconda, a prevalente carattere distensivo, è da far coincidere una fase post orogenica, che ha determinato la formazione di numerose faglie dirette e trascorrenti. Durante questa fase, il territorio in esame è stato investito dai depositi distali dell'intensa attività vulcanica conosciuta come «Vulcanismo della media ed alta Valle del Fiume Sacco», i cui centri eruttivi principali si sono concentrati nei pressi di Patrica, Supino, Frosinone, Anagni e Tecthiena di Alatri, che hanno dato origine, nelle vicinanze dei centri eruttivi stessi, a colate piroclastiche, ignimbriche e laviche, a composizione quasi esclusivamente tefritico-leucitica; mentre, nelle aree più distali, hanno originato prodotti

di ricaduta costituiti da vulcaniti cineritiche le quali hanno colmato gran parte delle aree depresse del territorio. In particolare, l'apparato vulcanico di Tecchiena, ubicato all'interno del territorio comunale di Alatri, è costituito molto probabilmente da una considerevole fenditura, con direzione NNE-SSW (antiappenninica), da attribuirsi ad una delle suddette fasi tettoniche distensive (Picarazzi, 2008). I prodotti di questo centro vulcanico si espandono su una superficie di ampiezza di circa 5 km² e sono ricoperti in buona parte da materiale di alterazione superficiale o da cineriti pedogenizzate.

Completano la geologia locale i depositi alluvionali relativi al Fiume Cosa, affluente in sinistra orografica del Fiume Sacco. Questi depositi sono costituiti da una serie di alluvioni sia antiche, spesso terrazzate e a diverso grado di cementazione, sia recenti ed attuali, spesso grossolane, a testimonianza del carattere torrentizio del fiume stesso.

Dal punto di vista morfologico, il territorio del comune di Alatri può essere suddiviso in maniera riassuntiva in tre differenti settori caratterizzati da lineamenti geologico strutturali e morfologici ben distinti. Il settore nord-orientale è caratterizzato, infatti, da una morfologia montuosa, con rilievi che raggiungono il 1000 m s.l.m., con versanti acclivi. Tale settore coincide con l'affiorano dei calcari cretacici e miocenici, spesso sovrascorsi su depositi torbiditici arenaci che affiorano in lembi.

Il settore nord-occidentale è costituito da rilievi collinari (quote in genere comprese tra 500 e 700 m s.l.m.) con caratteristiche lito-strutturali non dissimili da quelle osservabili nel settore nord-orientale ma con versanti e valli ricoperte da potenti coltri di depositi piroclastici quaternari, sia in posto che rimaneggiati, talvolta alterati e misti a terre rosse e clasti carbonatici.

Il settore meridionale del territorio comunale occupa un'area basso-collinare, con blandi rilievi impostati su diverse litologie connesse con le diverse fasi erosive e deposizionali plio-pleistoceniche. In questo settore i termini più antichi sono quasi sempre rappresentati dai depositi torbiditici arenacei del Miocene (Tortoniano-Messiniano) cui si sovrappongono in discordanza lembi depositi conglomeratici da cementati a poco cementati, profondamente incisi da diversi cicli di erosione fluviale. In questo settore si ha inoltre l'esteso affioramento di materiali piroclastici, anche di notevole spessore, che costituiscono sostanzialmente il colmamento delle depressioni carsiche e delle valli, formate nelle fasi precedenti alla messa in posto delle piroclastiti stesse, che attualmente risultano essere oggetto di una ripresa dell'attività erosiva.

2.2 Idrogeologia

L'area in studio fa parte della struttura idrogeologica dei Simbruini-Ernici-Monte Cairo, che si estende in direzione nord-ovest sud-est e occupa un'area di circa 1.500 Km² (Schema idrogeologico dell'Italia centrale; Bono, Boni, Capelli), i cui limiti possono essere individuati:

- ad ovest lungo la nota linea tettonica “Olevano-Antrodoco”;
- a nord est in corrispondenza del sovrascorrimento sul flysch della Val Roveto;
- a sud-ovest lungo il contatto tettonico con flysch della Valle Latina e i sovrastanti depositi plioquaternari;
- a sud il limite, meno definito, viene posto convenzionalmente al contatto con le vulcaniti del versante settentrionale del vulcano di Roccamonfina e con le alluvioni del Fiume Garigliano.

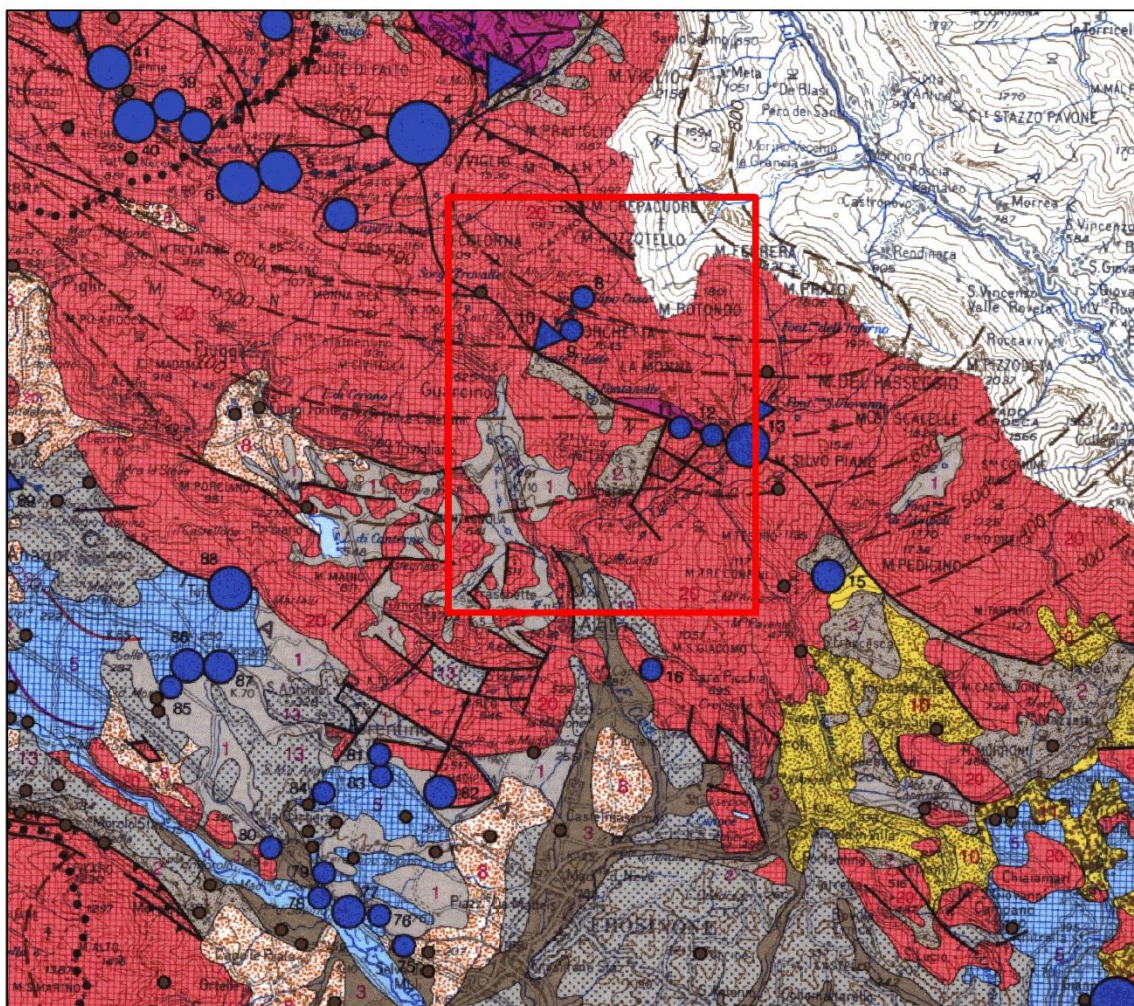


Fig. 2.3 - “Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio” (da C. Boni, P. Bono & G. Capelli, 1986)

La circolazione sotterranea è di notevole entità, grazie alla piovosità media che si aggira intorno ai 1.200 mm annui e all'infiltrazione efficace che risulta compresa tra 750 e 1000 mm/anno e alimenta numerose sorgenti ad elevata portata poste alla periferia della dorsale carbonatica, nei punti a quota più bassa del contatto

tra rocce carbonatiche e flysch e/o dove i corsi d'acqua incidono profondamente le dorsali (sorgenti lineari). Tra le sorgenti più importanti si devono senz'altro segnalare quelle del Gari (18.800 l/s) presso Cassino (recapito finale del deflusso di base della struttura a quota 35 m s.l.m.), quelle di Capo d'Acqua di Aquino (1200 l/s) a 110 m s.l.m., quelle di Tufano (730 l/s) a 284 m s.l.m., tutto il gruppo della Valle dell'Aniene e le copiose sorgenti in quota (Gruppo Simbrivio, F. Cosa ecc.). Le modalità del deflusso idrico sotterraneo sono strettamente condizionate a grande e piccola scala dall'assetto strutturale della catena. La presenza di faglie o di settori dove il complesso liassico dolomitico si trova in posizione rialzata, determina condizioni di ostacolo parziale al deflusso e all'infiltrazione delle acque verso il basso, dando luogo ad improvvisi innalzamenti del livello di saturazione, ed a importanti circolazioni idriche sospese che alimentano sorgenti puntuali e lineari fino a quote di oltre 1.000 m (Fig. 2.3).

Nel recente lavoro pubblicato dalla Regione Lazio, il territorio comunale di Alatri risulta essere ubicato al limite di due differenti unità idrogeologiche. La prima, Unità idrogeologica C13 denominata "Monti Ernici e Monte Cairo", è una unità carbonatica che occupa un'area di 845 km² ed è caratterizzata da una infiltrazione efficace media di circa 950/990 mm/anno (ricarica media annua), con una valutazione delle risorse idriche rinnovabili pari a 25.460 l/s. La seconda, Unità Idrogeologica T9 denominata "Valli dei Fiumi Sacco, Liri e Gariigliano" è una unità detritico alluvionale che occupa un'area di 1205 km² (Fig. 2.4)

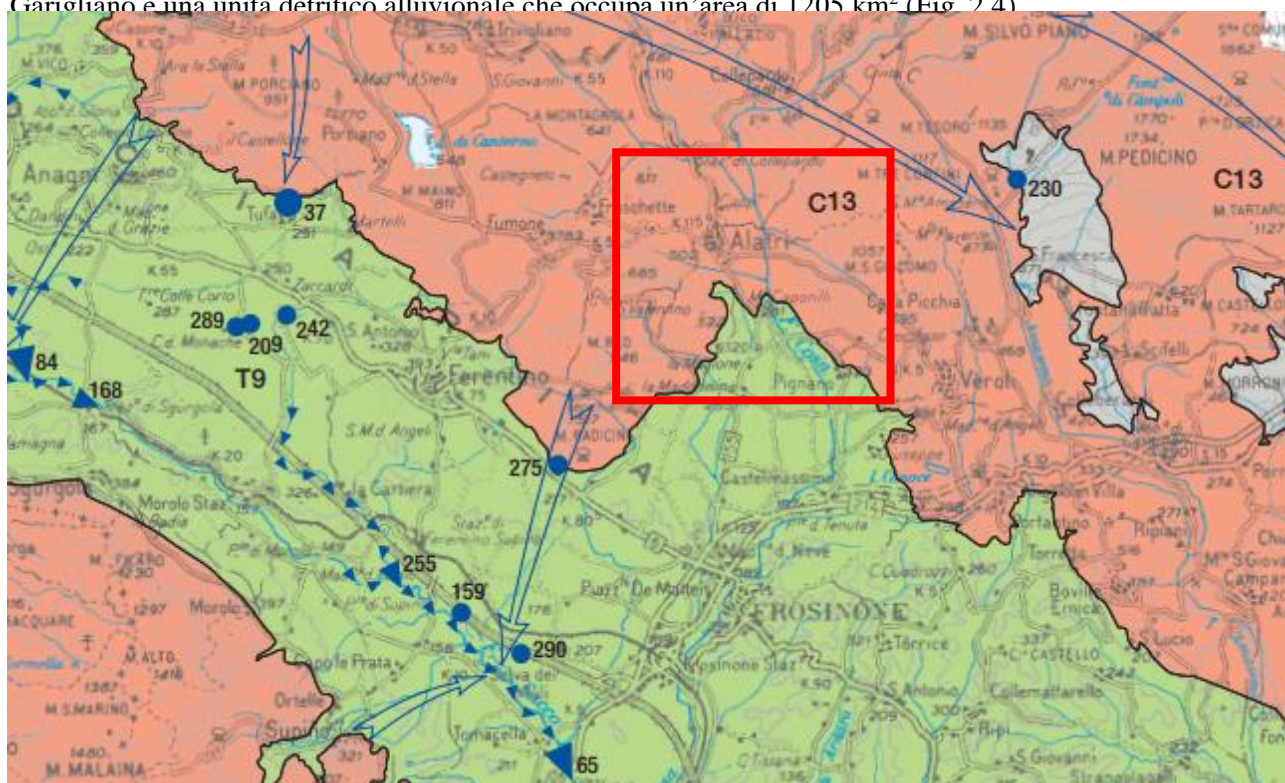


Fig. 2.4 –Stralcio della Carta delle unità idrogeologiche della Regione Lazio.

All'interno dell'area comunale sono distinguibili differenti complessi idrogeologici (Fig. 2.5) ed in particolare:

- **Complesso dei calcari di piattaforma (23)** - Caratterizzato da una potenzialità acquifera altissima, è sede di imponenti ed articolati acquiferi che alimentano le più importanti sorgenti a scala regionale.
- **Complesso calcareo - marnoso di bacino (17)** – Caratterizzato da una potenzialità acquifera medio-bassa, tale complesso nelle situazioni in cui circonda con continuità le strutture carbonatiche esercita un ruolo di chiusura idraulica nei confronti degli acquiferi regionali.
- **Complesso calcareo – marnoso di piattaforma (16)** – Caratterizzato da potenzialità acquifera medio-alta, gli affioramenti dei litotipi calcarei contribuiscono alla ricarica degli acquiferi carbonatici, mentre i litotipi marnosi riducono la capacità di ricarica e sostengono falde di modesta entità e di importanza locale.
- **Complesso dei tufi stratificati e delle facies freatomagmatiche (9)** – Caratterizzato da potenzialità acquifera bassa, tale complesso può localmente influenzare la circolazione idrica sotterranea assumendo il ruolo di limite di flusso e sostenendo esigue falde superficiali.
- **Complesso dei depositi alluvionali recenti (1)** – Caratterizzato da potenzialità acquifera da bassa a medio-alta, può essere sede di falde multistrato sia di importanza regionale che locale in funzione degli spessori dei depositi alluvionali stessi.

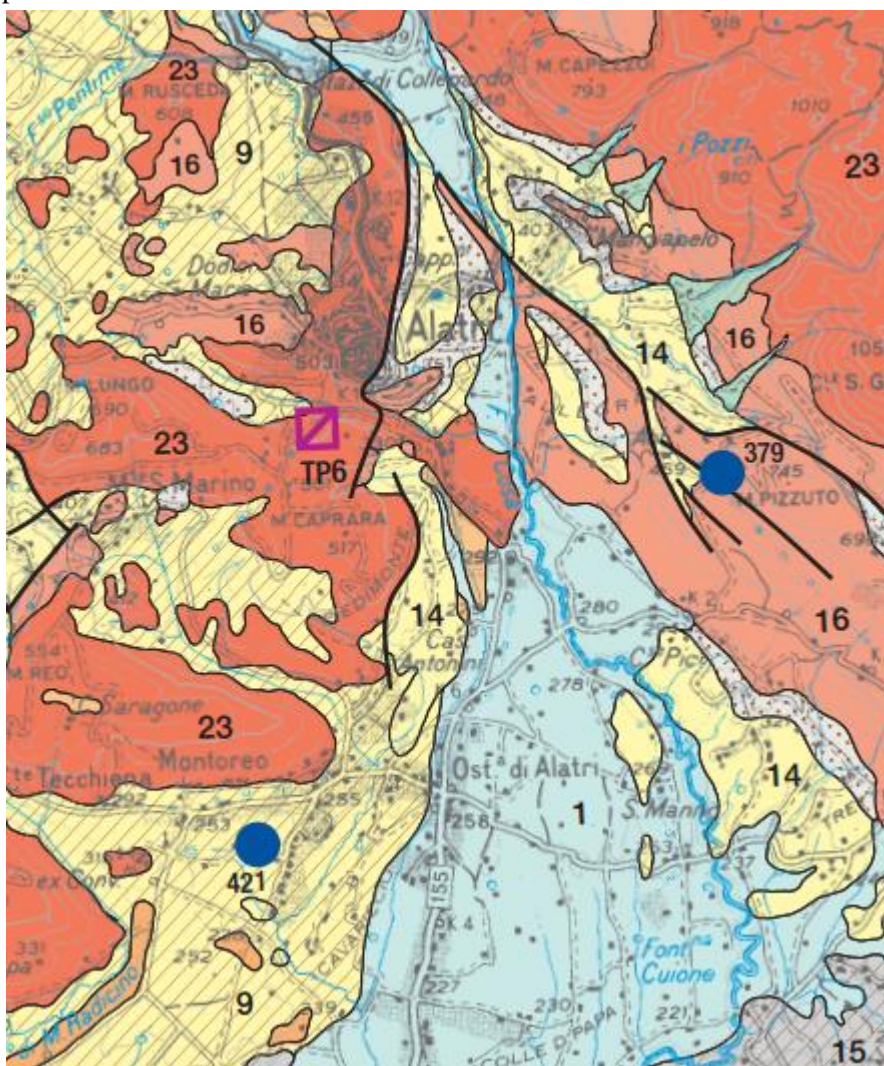


Fig. 2.5 –Stralcio della Carta dei Complessi idrogeologici della Nuova Carta Idrogeologica della Regione Lazio.

2.3 Sismicità

Il Lazio è caratterizzato da una sismicità che si distribuisce lungo fasce sismiche omogenee (zone sismogenetiche), allungate preferenzialmente secondo la direzione appenninica NW-SE, con centri sismici sia all'interno alla regione sia esterni. Storicamente, terremoti di media intensità (fino all'VIII° MCS/MSK), ma molto frequenti avvengono in alcune aree del Frusinate e terremoti molto forti (fino al X-XI° MCS/MSK), ma relativamente poco frequenti, avvengono invece nelle conche di origine tettonica della provincia di Rieti e del basso Frusinate. Questo andamento a fasce trova riscontro nella distribuzione degli effetti sismici osservabili nei Comuni del Lazio, con massimi danneggiamenti nelle zone pedemontane del frusinate e del reatino e gradualmente minori spostandosi verso le aree costiere (Fig. 6). In particolare, nella zona del frusinate, può essere messa in evidenza la mancanza di comuni che abbiano risentito di intensità macrosismiche inferiori all'VIII° MCS (Fig. 2.6).

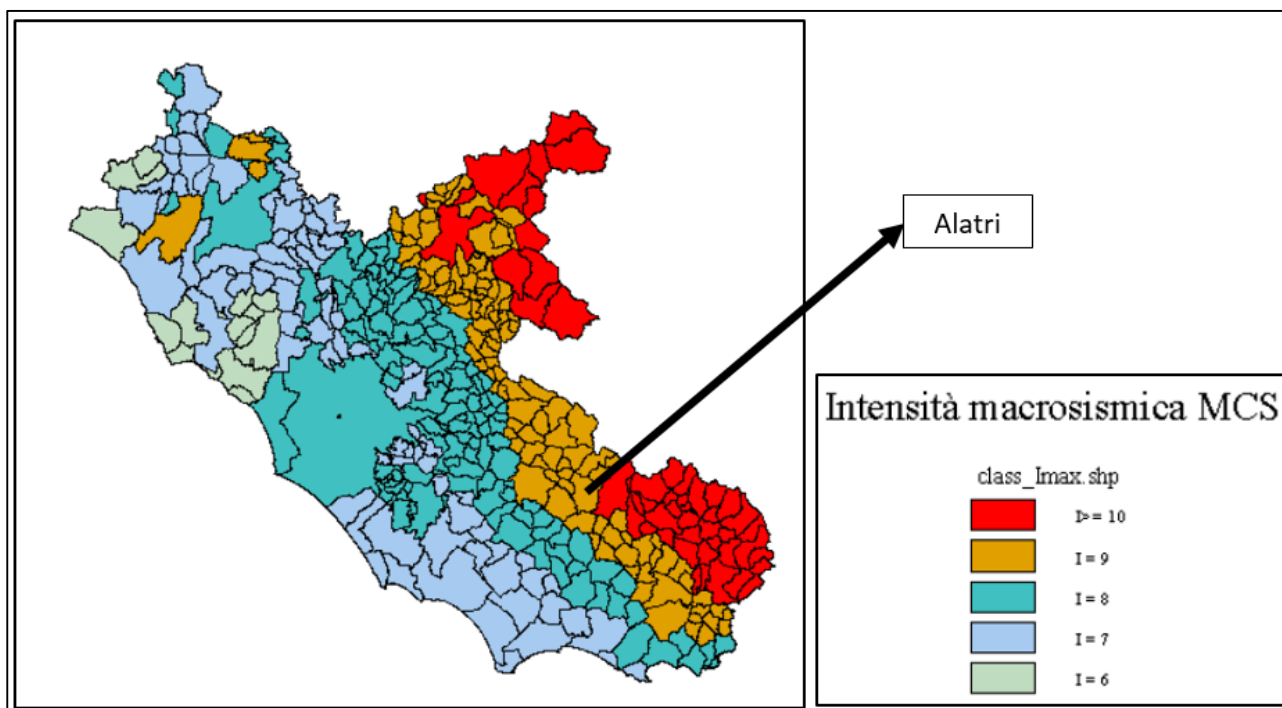


Fig. 2.6 - distribuzione sul territorio regionale delle massime intensità macrosismiche osservate.

Dagli studi svolti dall'ENEA per conto della Regione Lazio¹, sulla base dell'analisi delle informazioni di sismica storica e di elaborazioni statistiche degli spettri di risposta sismica, sono state individuate le Unità Amministrative Sismiche (UAS) caratterizzate da una pericolosità sismica omogenea (Fig. 2.7). L'analisi della pericolosità sismica storica locale nelle UAS del Lazio è stata eseguita utilizzando le informazioni macrosismiche messe a disposizione della comunità scientifica, a seguito del Progetto S1 dell'INGV, ed in

¹ Convenzione ENEA Regione Lazio finalizzata allo svolgimento di attività per la mitigazione del rischio sismico del territorio regionale del Lazio. Martini G, Paciello A., Paolini S., Poggi F. & Zini A. - Relazione finale.

particolare il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI04 [Gruppo di lavoro CPTI, 2004] ed il Database Macrosismico BDMI04 [Stucchi et al., 2007].

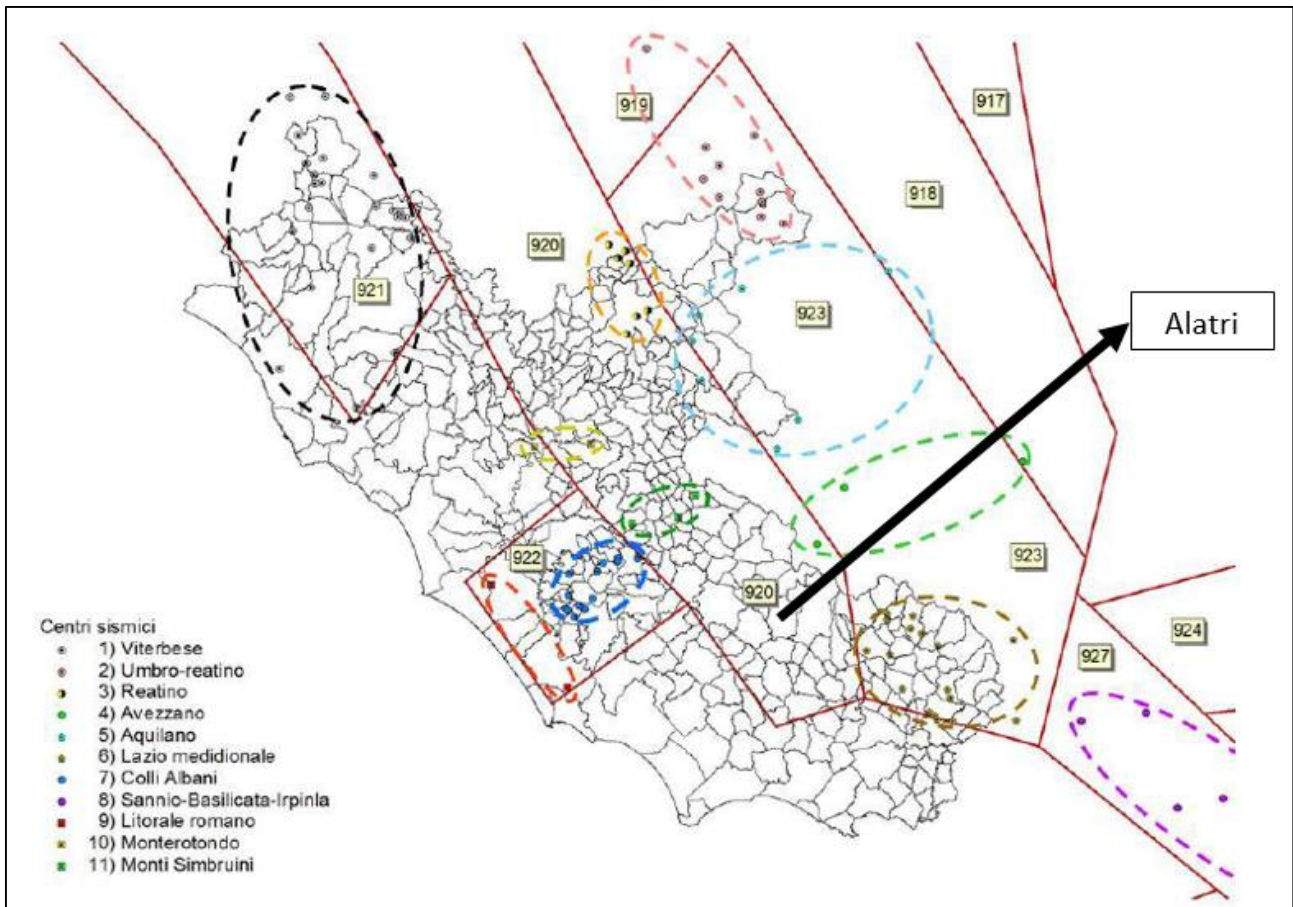


Fig. 2.7 – Distribuzione degli eventi che hanno generato nel territorio della Regione Lazio una intensità superiore alla soglia di danno. (Martini G. et alii).

Dallo studio richiamato si può osservare che le più elevate intensità sismiche risentite nell'area di Alatri sono connesse con i seguenti centri sismici (Fig. 2.8):

- Centri sismici 4) Avezzano e 5) Aquilano, caratterizzati da eventi con magnitudo 6.5–7.0 ed intensità epicentrali tra il IX-X e l'XI grado MCS. La distribuzione dei risentimenti degli eventi collegati a questi centri sismici presenta un andamento a carattere regionale.
- Centro 6) Lazio meridionale, con magnitudo 6.0-6.5 ma intensità epicentrali tra il IX-X e il X MCS e tendenza ad una maggiore attenuazione delle intensità con la distanza epicentrale, cui corrisponde una distribuzione a carattere provinciale.

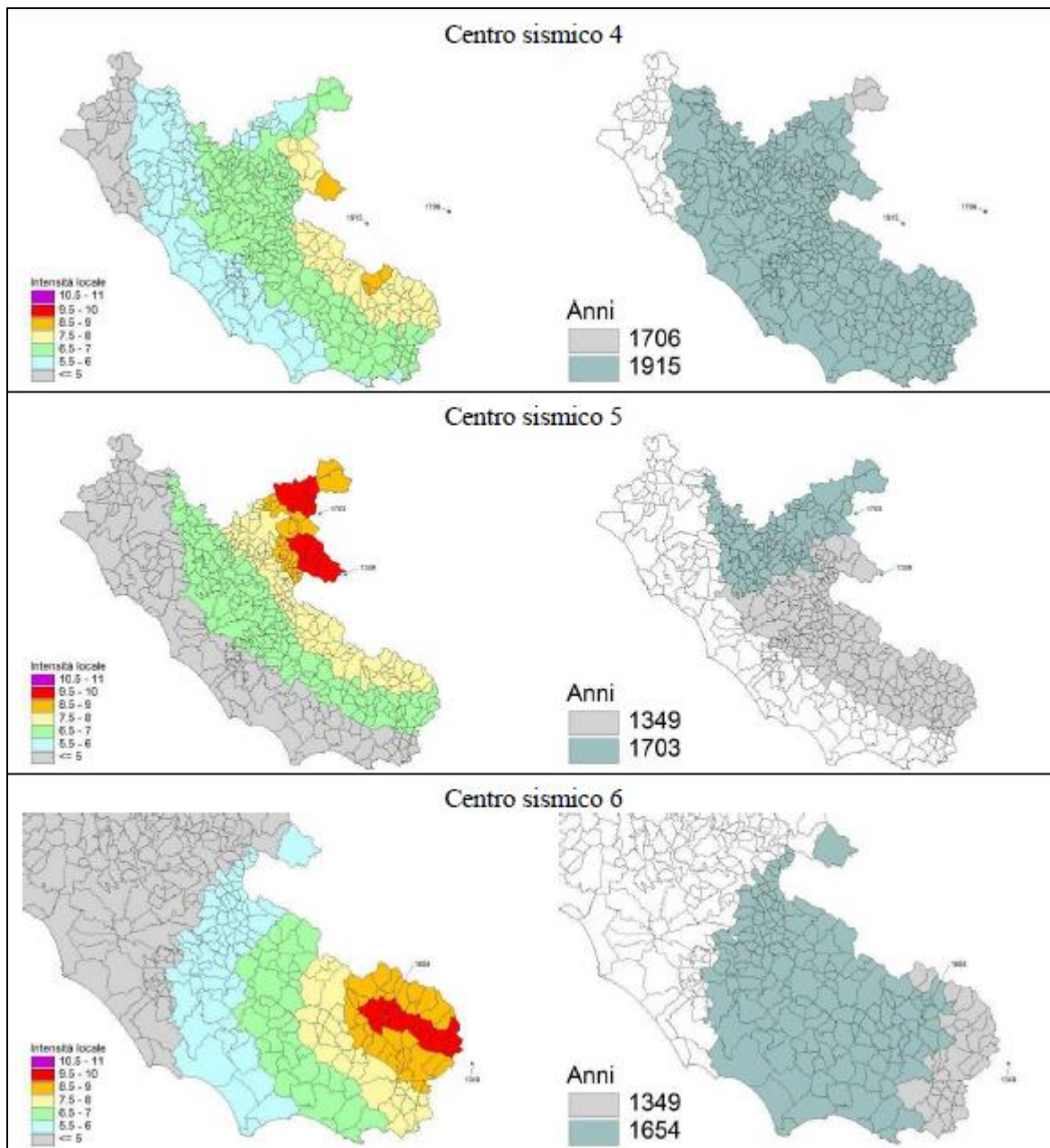


Fig. 2.8 – Distribuzione delle intensità locali (a sinistra) e dei rispettivi terremoti (a destra) per i diversi Centri sismici

Al fine di evidenziare la storia sismica del territorio in esame, viene utilizzato il recente Database Macrosismico Italiano DBMI11 (versione DBM11), pubblicato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – I.N.G.V. (DATABASE MACROSISMICO ITALIANO *VERSIONE DBMI11* a cura di M. LOCATI, R. CAMASSI E M. STUCCHI, 2011). Analizzando i dati riportati nel database, è stato possibile rilevare che il territorio comunale di Alatri ha risentito degli effetti di 33 differenti eventi sismici che vengono riportati in figura 2.9 in ordine di data crescente.

Storia sismica di Alatri [41.726, 13.344]				
Numero di eventi: 33				
Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
F	1654 07 24 00:25	Sorano-Marsica	44	9-10 6.29 ±0.20
6	1873 07 12 06:06	Monti della Meta	62	7-8 5.35 ±0.20
4	1874 12 06 15:50	Monti della Meta	43	7-8 5.52 ±0.24
4	1875 12 06	S.MARCO IN LAMIS	97	8 5.98 ±0.16
3	1876 10 26 14:18	PALESTRINA	29	7 4.94 ±0.34
6	1877 08 24 02:45	Lazio meridionale	54	7 5.23 ±0.22
3-4	1882 06 06 05:40	Monti del Matese	52	7 5.27 ±0.25
4-5	1891 05 09 00:16	VAL ROVETO	41	5 4.50 ±0.19
3	1900 12 29 00:07	Media Val Roveto	13	4-5 4.16 ±0.38
5	1901 07 31 10:38	Monti della Meta	76	7 5.23 ±0.17
3-4	1913 01 03 13:39	Marsica sud-est	44	5-6 4.66 ±0.25
8	1915 01 13 06:52	Avessano	1041	11 7.00 ±0.09
4	1915 12 04 01:02	Marsica	27	
4	1916 01 26 12:22	Marsica	34	
F	1916 04 22 04:33	Aquilano	9	6-7 5.10 ±0.25
5	1917 01 03 01:35	Marsica est	57	
4	1919 10 22 06:05	Ansio	142	5.48 ±0.15
2-3	1920 06 21 07:22	ATINA	21	5 4.68 ±0.21
5	1922 12 29 12:22	Bassa Val Roveto	119	6-7 5.19 ±0.12
3	1925 09 24 13:33	Molise occidentale	50	7 5.20 ±0.17
3-4	1926 12 18 21:07	Trasacco	26	5 4.48 ±0.32
4	1931 10 21 07:35	VEROLI	23	5 4.75 ±0.27
3	1950 09 05 04:08	GRAN SASSO	386	8 5.68 ±0.07
3	1951 08 08 19:56	Gran Sasso	94	7 5.30 ±0.14
4-5	1979 09 19 21:35	Valnerina	694	8-9 5.86 ±0.09
4	1980 11 23 18:34	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.89 ±0.09
NF	1984 04 29 05:02	GUBBIO/VALFABRICA	709	7 5.65 ±0.09
6	1984 05 07 17:49	Appennino abruzzese	912	8 5.89 ±0.09
NF	1987 04 11 02:26	Colli Albani	72	6 4.37 ±0.16
NF	1990 05 05 07:21	Potentino	1374	5.80 ±0.09
3	1994 08 07 06:31	Aquilano	103	5-6 4.37 ±0.15
3-4	2000 03 11 10:35	Alto Aniene	211	6 4.29 ±0.09
4	2005 08 22 12:02	Ansio	57	4.58 ±0.09

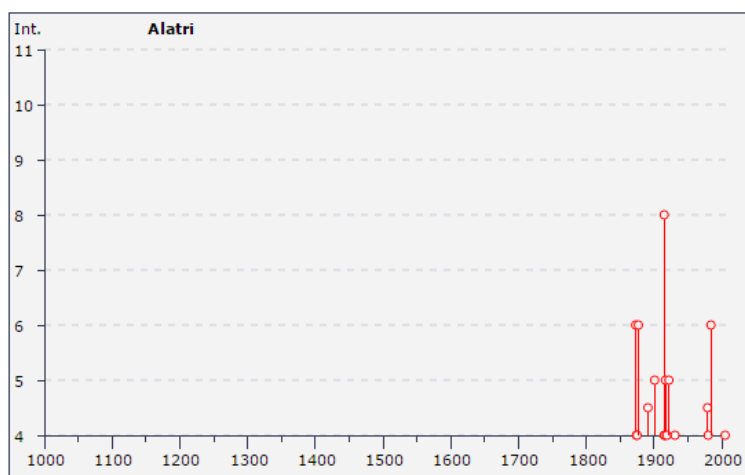


Fig. 2.9 - Osservazioni macrosismiche disponibili per il comune di Alatri (DBMI11 Stucchi et al., 2011)

In particolare, dall'analisi dei dati disponibili, si evince che il settore in cui ricade il territorio comunale è sede di sismicità caratterizzata da eventi che hanno determinato importanti risentimenti al sito anche

dell'ordine dei 8 MCS risentiti in occorrenza del terremoto di Avezzano del 1915. Ulteriori significativi risentimenti di sito, con intensità macrosismiche più basse, dell'ordine 5-6 MCS, possono essere evidenziati in occorrenza di differenti terremoti con epicentro nella zona dei Monti della Meta, del Lazio meridionale, dell'appennino abruzzese, della zona della Marsica e della bassa Valle Roveto.

Con riferimento alla DGR Lazio 387/2009 e 835/09 "Riclassificazione sismica del territorio della Regione Lazio in applicazione dell'OPCM n. 3274 del 20/03/2003, prime disposizioni", il territorio comunale di Alatri è classificato in **Zona Sismica 2B** dove si devono prendere a riferimento i seguenti valori (Tab.2.1).

ZONA SISMICA	SOTTOZONA SISMICA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (a_g)
1		$0.25 \leq a_g < 0,278g$ (val. Max per il Lazio)
2	A	$0.20 \leq a_g < 0.25$
	B	$0.15 \leq a_g < 0.20$
3	A	$0.10 \leq a_g < 0.15$
	B	(val. min.) $0.062 \leq a_g < 0.10$

Tab. 2.1 - Suddivisione delle sottozone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido utilizzate per lo scenario di riclassificazione sismica della Regione Lazio.

Per quanto riguarda la definizione della sismicità dell'area di Alatri, è da mettere in evidenza infine che, in ottemperanza a quanto previsto dalle linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC) (approvate dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome il 07/05/2015), dalla consultazione bibliografica della cartografia e delle banche dati attualmente in uso sul territorio nazionale ed in particolare della banca dati ITHACA e DISS versione 3, non è stata messa in evidenza la presenza di faglie sismogenetiche (faglie attive e capaci) all'interno del territorio comunale di Alatri (Fig. 2.10 e Fig. 2.11).

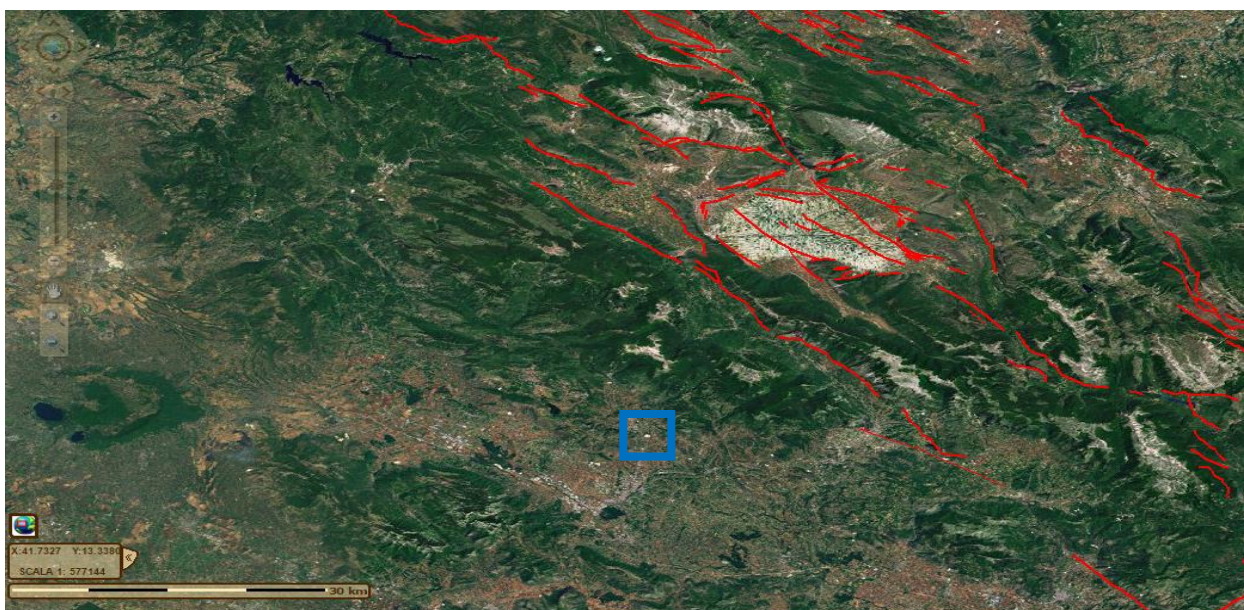


Fig. 2.10 – Distribuzione delle faglie capaci note più prossime all'area in esame da: Banca dati ITHACA. Con il rettangolo in blu viene indicata l'area in esame

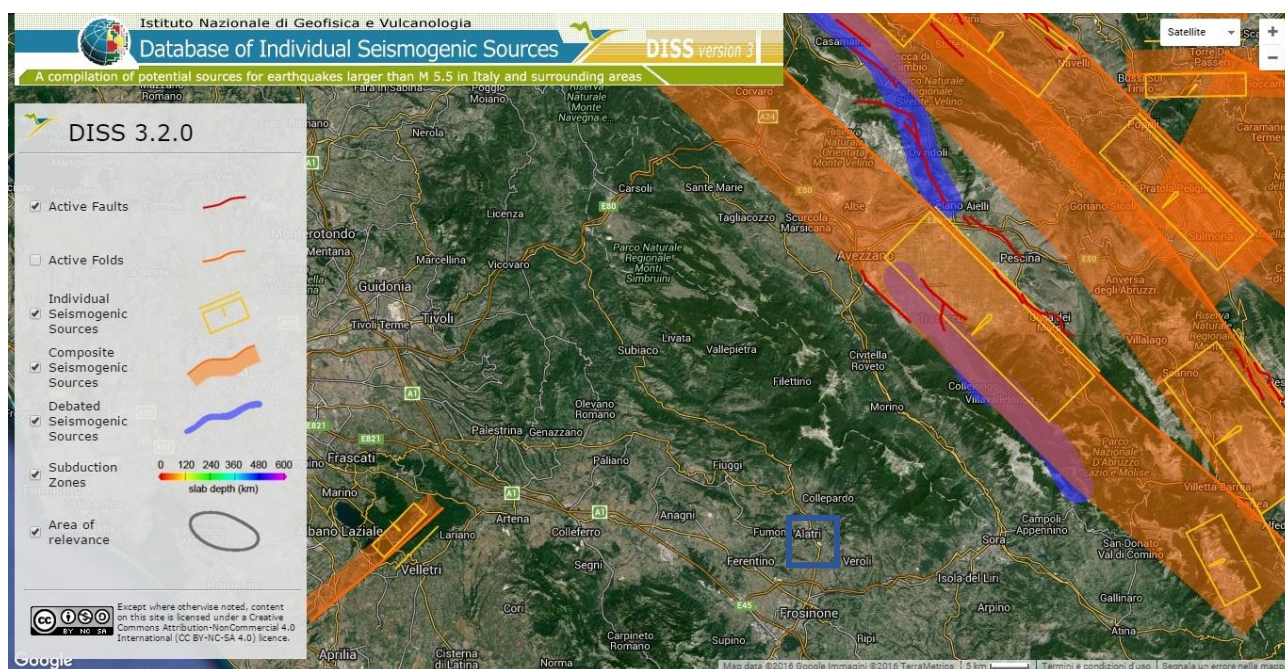


Fig. 2.11 – Distribuzione delle faglie capaci note più prossime all’area in esame da: Banca dati DISS v.3. Con il rettangolo in blu viene indicata l’area in esame

3. CARTA DELLE INDAGINI

Le principali finalità di uno studio di microzonazione sismica di primo livello sono essenzialmente quelle di individuare le aree in cui si ritenga possibile l’insorgere di fenomeni di amplificazione sismica e/o di effetti locali permanenti, di definire le tipologie di effetti attesi e di definire il modello geologico-tecnico in prospettiva sismica del sottosuolo, che costituirà la base per gli studi di livello successivo. In quest’ottica, la Carta delle Indagini rappresenta un documento necessario e di fondamentale importanza al fine di ottenere un quadro conoscitivo completo nei riguardi del modello geologico del sottosuolo, delle unità litotecniche presenti, dei loro rapporti stratigrafici e geometrici, della profondità e andamento del substrato e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, che si rende necessario per la realizzazione del primo livello di microzonazione sismica.

3.1 Approccio metodologico

La carta delle indagini è stata realizzata secondo gli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0b stabiliti dalla Commissione Tecnica della Microzonazione Sismica (Art. 5 comma 7 dell’OPCM 13 novembre 2010 n. 3907). Si è proceduto ubicando su base topografica CTR in scala 1:5.000 tutte le indagini reperite, eseguite in occasione di diversi studi tecnici (studi di pianificazione territoriale, indagini geologiche, idrogeologiche e geognostiche per la costruzione di opere di ingegneria ecc.) realizzate all’interno del territorio comunale sia da Enti pubblici che da soggetti privati. I dati desunti dalle indagini raccolte riguardano essenzialmente:

- successioni litostratigrafiche da sondaggi e perforazioni per la ricerca idrica e prove SPT in foro;
- prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati;
- valori di resistenza dinamica ottenuti da prove penetrometriche dinamiche sia di tipo superpesante (DPSH), che leggero (DL);
- valori di velocità delle onde di taglio (V_s) ottenuti dall'interpretazione dei risultati di indagini geofisiche ed in particolare indagini di tipo MASW e profili di sismica a rifrazione;
- valori di velocità sia in termini delle onde di taglio (V_s) ottenuti dall'interpretazione dei risultati di indagini geofisiche in foro di tipo Down Hole (DH);
- valori di frequenze fondamentali di risonanza dei terreni ottenuti dall'analisi di indagini HVSR.

Tutti i dati raccolti sono stati gestiti in ambiente GIS e, rispettando gli standard di rappresentazione informatica emanati dalla Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907), la carta delle indagini di primo livello presentata è stata organizzata e suddivisa in due tematismi principali ovvero: indagini puntuali (1D) che investigano le caratteristiche di un terreno lungo un profilo verticale, dando un'indicazione puntuale della caratteristica investigata; ed indagini lineari (2D) eseguite lungo un profilo che danno indicazioni o sulla caratteristica media lungo la sezione considerata o sulle variazioni laterali lungo il profilo considerato. Verrà di seguito fornita una breve descrizione delle diverse indagini riportate sulla carta delle indagini di primo livello. La documentazione, gli elaborati tecnici e le elaborazioni specifiche dei dati sono stati codificati e sintetizzati all'interno dello specifico Data Base compilato mediante il software fornito dal Dipartimento della Protezione Civile. Gli elaborati completi delle indagini, in formato pdf, vengono quindi allegati nella apposita cartella di archiviazione. Tutta la documentazione, comprensiva delle cartografie e delle presente relazione viene trasmessa su supporto digitale (CD). Nella consultazione della documentazione sarà necessario quindi tenere conto della codifica delle diverse indagini.

3.2 Prove penetrometriche dinamiche (SPT, DPSH, DL)

Le prove penetrometriche dinamiche rappresentano una delle metodologie di indagine diretta più diffusa per lo studio della litostratigrafia e per la definizione dei principali parametri geotecnici dei terreni. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con “un'immagine” in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e la consistenza del terreno. Per quanto riguarda i penetrometri dinamici, con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988), si rileva una prima suddivisione in quattro classi in base al peso M della massa battente:

- tipo LEGGERO (DPL, $M \leq 10$ kg);

- tipo MEDIO (DPM, $10\text{kg} < M < 40\text{ kg}$);
- tipo PESANTE (DPH, $40\text{kg} < M < 60\text{ kg}$);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH, $M \geq 60\text{ kg}$).

I risultati ottenuti da questa tipologia di prova, opportunamente correlati con i valori di N_{spt} ottenuti con prove penetrometriche standard consentono di ottenere importanti indicazioni sull'andamento verticale e orizzontale dei differenti intervalli stratigrafici e sulle caratteristiche litologiche e geotecniche delle differenti unità stratigrafiche. Le prove penetrometriche riportate nella Carta delle Indagini sono state estratte da differenti lavori eseguiti all'interno del territorio comunale, commissionati sia da Enti pubblici che da privati.

3.3 Prove geofisiche

3.3.1 Prove MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine sismica non invasiva che consente di individuare il profilo delle velocità delle onde di taglio V_s basandosi sulla misura delle onde superficiali effettuata in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo (Fig.??). Le onde superficiali durante la loro propagazione vengono registrate lungo uno stendimento e successivamente analizzate attraverso tecniche basate su un approccio di modelli multistrato di terreno. La velocità delle onde di taglio viene quindi ricavata mediante un processo di inversione della curva di dispersione (che dipende dalle proprietà fisico-meccaniche e geometriche del mezzo ed è definita come la relazione che lega la velocità di fase delle onde di Rayleigh V_R alla frequenza f) che consente di ottenere il profilo verticale delle V_s (Fig. 3.1) e, quindi il calcolo della V_{s30} che rappresenta un fondamentale parametro per la definizione della categoria dei terreni di fondazione ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 recante Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

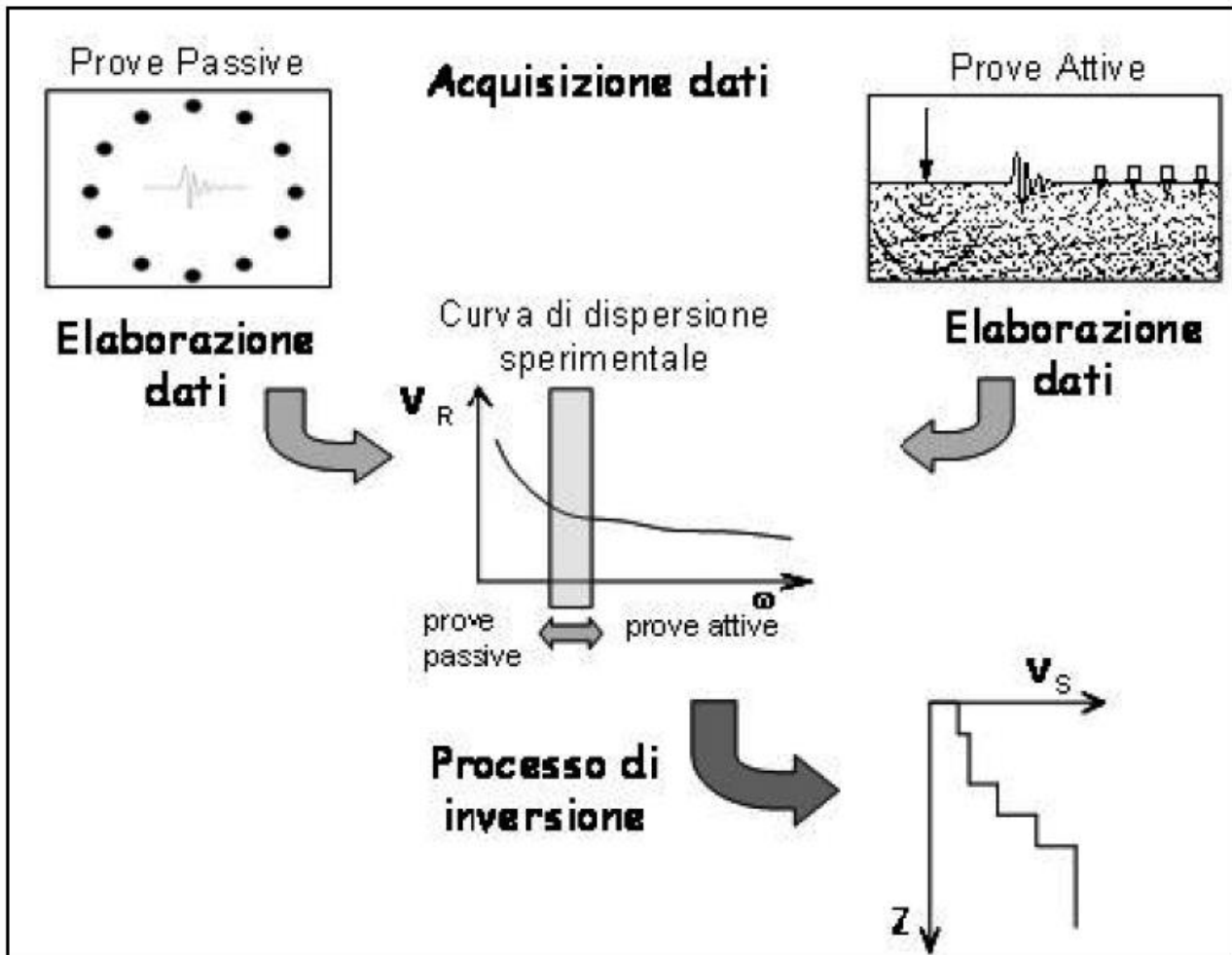


Fig. 3.1– Diagramma di flusso delle prove basate sulla propagazione di onde superficiali (Foti, 20082). Da: Gruppo di Lavoro MS–AQ (2010) *Microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area aquilana*.

3.3.2 Sismica a rifrazione

Lo scopo di tali indagini consiste nel determinare direttamente la velocità di propagazione, all'interno del mezzo in esame, delle onde di compressione (onde P) attraverso l'utilizzo di geofoni verticali e/o di taglio (onde S) mediante l'utilizzo di geofoni orizzontali; ed indirettamente, utilizzando i valori delle velocità acquisiti (V_P , V_S), le proprietà meccaniche (moduli dinamici) delle litologie investigate. Le metodologie in oggetto si basano sulla tecnica di generare onde sismiche e di rilevarne l'arrivo, mediante sensori (geofoni) in altri punti. Questa metodologia rispetto alla convenzionale sismica a rifrazione, limita i problemi interpretativi dovuti agli strati ad inversione di velocità (orizzonte fantasma) o di ridotti spessori. La modellizzazione tomografica ricostruisce un'immagine 2D del sottosuolo (tomogramma) in modo continuo, considerando tutti i fenomeni (rifrazione, diffrazione e riflessione) a cui possono essere sottoposte le onde sismiche. Le immagini ottenute possono essere utilizzate non solo per individuare il bedrock ma per determinare caratteristiche quali la fratturazione della roccia, la presenza di trovanti immersi nella coltre, morfologia complessa del substrato, ecc.

3.3.3 Prove HVSR

Questa metodologia di indagine sismica si basa sull'acquisizione e sull'analisi del *Rumore Sismico Ambientale* (Seismic Noise) ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali. Con l'impiego della tecnica sismica passiva a singola stazione (tecnica dei rapporti spettrali o HVSR, Horizontal to Vertical Spectral Ratio), conoscendo la stratigrafia anche solo dei primi metri di profondità, è possibile ricavare le velocità delle onde di taglio V_s , rilevando le frequenze di risonanza degli strati sedimentari entro i primi 30 metri di profondità. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono essenzialmente l'individuazione del range di profondità del substrato sismico e la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale in termini di risposta sismica locale. Con la tecnica HVSR possono essere inoltre stimate sia la velocità media delle onde di taglio V_s e, quindi, la V_{s30} e la relativa categoria del suolo di fondazione, come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008 che la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine molto attendibile nei primi 100 metri. È da mettere in evidenza che al fine di poter ottenere informazioni nei riguardi del range di variazione della frequenza caratteristica per le differenti microzone omogenee in prospettiva sismica riconosciute sul territorio (§paragrafo 5.3) i dati derivanti dalle prove HVSR effettuate per la realizzazione delle opere di ingegneria sul territorio comunale, reperite in bibliografia, sono stati integrati ed ampliati mediante l'esecuzione di ulteriori n.10 misure di rumore sismico a stazione singola, appositamente effettuate per il presente studio di microzonazione sismica di livello I che sono state ubicate in punti ritenuti maggiormente significativi per la definizione della frequenza fondamentale

4. CARTA GEOLOGICO – TECNICA

La carta geologico-tecnica è stata elaborata a partire dai rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio disponibili ed in particolare quelli relativi allo studio di microzonazione sismica di primo Livello che era stato precedentemente validato per il comune di Alatri. I suddetti dati sono stati quindi ulteriormente implementati sia mediante analisi geomorfologica condotta in ambiente GIS (a partire dal DEM 5x5 metri ricavato dalla CTR in scala 1:5.000, disponibile per la Regione Lazio), sia attraverso sopralluoghi in sito appositamente effettuati per il presente studio ed in ultimo anche mediante l'analisi e la rilettura dei dati di tutte indagini raccolte (descritte nel capitolo precedente). Tali attività hanno consentito di ricavare una carta geologico-tecnica su base CTR 1:5.000 di buon dettaglio. I sopralluoghi in sito sono stati finalizzati alla verifica e alla puntualizzazione dei limiti di affioramento e dei rapporti stratigrafici tra le formazioni affioranti e alla caratterizzazione dei processi geomorfologici in atto, con particolare riferimento all'individuazione dei fattori che condizionano la pericolosità geologica dell'area.

Informazioni sulle caratteristiche geologiche di dettaglio del territorio comunale di Fiuggi sono state ricavate parzialmente anche dalla recente cartografia in scala 1:50.000 del Progetto CARG e dalla cartografia geologica in scala 1:100.000 (Carta Geologica – Geomorfologica-Idrogeologica D'Italia Foglio 389 "Anagni" e Carta Geologica D'Italia Foglio n. 151 "Alatri"). Per la redazione geologico-tecnica sono stati utilizzati, inoltre, dati ed informazioni contenuti in studi specialistici redatti, in prima persona dallo scrivente dallo

scrivente e dal gruppo di lavoro. Il metodo di lavoro adottato, ha previsto poi il reperimento e l'analisi di tutte le indagini geognostiche effettuate nell'ambito del territorio comunale. Infine, dopo aver elaborato tutti i dati a disposizione, sono stati effettuati dei sopralluoghi mirati, al fine di verificare alcune situazioni poco chiare e di pervenire ad una carta geologica di dettaglio, di base per lo studio di microzonazione.

Dal punto di vista geologico nell'area in esame sono distinguibili litologie e depositi riferibili a differenti domini ed ambienti deposizionali. La successione stratigrafica risulta, infatti, costituita da una serie sedimentaria prevalentemente calcarea (Cretacico-Miocene), seguita da serie torbiditiche (mioceniche), dalle vulcaniti della media valle del Fiume Sacco e da depositi eluvio colluviali, detritici ed alluvionali di ambiente continentale quaternari.

Le litoformazioni affioranti nell'area, riferibili alla serie carbonatica di piattaforma sono le seguenti:

- **Calcari, calcari dolomitici, e calcilutiti a luoghi fossilifere (Cretacico)** Si tratta di calcilutiti e calcareniti, nocciola oppure avana, in strati di spessore medio (tra 10 cm e 1 m). Tali termini si presentano, talvolta, dolomitizzati.
- **Form. dei "Calcari a briozoi e litotamni" e Form. dei "Calcari a losanga"** i primi sono costituiti da calcari detritici organogeni stratificati, di colorazione variabile dal biancastro al giallastro, talora con sottilissime venature ocracee, i secondi sono costituiti da calcareniti sature di matrice passanti a calcilutiti, di colorazione giallastra e/o brunastra, a frattura prismatica, nel complesso organizzate in strati sottili.

Le litoformazioni affioranti nell'area, riferibili ai depositi flyschoidi della serie arenaceo pelitica sono:

- **Torbiti arenaceo argillose (Miocene)** riconducibile al flysch marnoso-arenaceo miocenico (Tortoniano-Messiniano), associato all'orogenesi appenninica in questo settore sono note come "Formazione di Frosinone". La serie è costituita da arenarie litoidi organizzate in bancate di spessore variabile da 30 cm a 1 m, generalmente sterili, alternate ad argilliti e marne, in cui la stratificazione diviene più sottile.

Le litoformazioni affioranti nell'area, riferibili ai depositi pleistocenici e quaternari di ambiente continentale sono:

- **Alluvioni antiche terrazzate (Pleistocene – Olocene)** Sono costituite da breccie o puddinghe cementate in grossi banchi formate da elementi carbonatici appartenenti alle serie mesozoiche locali (breccie) e da elementi estranei alle formazioni locali (puddinghe). Queste formazioni presentano caratteristiche variabili con potenti strati cementati (litoidi) alternati a livelli poco cementati con clasti in matrice limoso-sabbiosa.
- **Colate leucititiche e coni di breccie piroclastiche del centro eruttivo di Tecchiena (Pleistocene)** sono costituiti sia da termini piroclastici che da depositi vulcanici litoidi. I primi sono costituiti da prodotti vulcanici di ricaduta (tufiti e cineriti), coesivi e varicolori, a granulometria prevalentemente limoso-argillosa. I secondi si rinvengono con affioramenti circoscritti, interni all'area del centro di

Tecchiena e determinano forme con debole risalto morfologico costituite da accumuli di scorie e di lava più meno vescicolata.

- **Tufiti pedogenizzate e terre rosse (Pleistocene – Olocene)** le prime sono essenzialmente costituite da depositi piroclastici e cineritici a granulometria per lo più limoso-sabbiosa. Si presentano frequentemente alterate e agillificate. Le terre rosse sono costituite da limi argilloso-sabbiosi con componente detritica (costituita da clasti calcarei) variabile. Questi sedimenti formano potenti e spesse coltri di copertura.
- **Coperture eluvio colluviali** derivanti principalmente dall'alterazione dei depositi torbiditici arenaceo – pelitici e costituite da terreni a granulometria per lo più limoso-sabbiosa (**Olocene**).
- **Detrito di falda sciolto** caratterizzato prevalentemente da clasti calcarei più o meno arrotondati in matrice argillosa (**Olocene**).
- **Depositi alluvionali recenti** caratterizzati da una granulometria estremamente variabile ed eterogenea che va da limi-sabbiosi e/o argillosi e sabbie-limose e/o argillose con inclusi clastici eterometrici ed eterogenei a depositi caratterizzati da granulometria più marcatamente ghiaioso-sabbiosa (**Olocene**).

È da mettere in evidenza che le litologie sopra elencate, ai fini della rappresentazione cartografica e coerentemente con gli standard di rappresentazione ed archiviazione informatica versione 4.0b, sono state distinte e raggruppate nelle due categorie terreni di copertura e substrato geologico. Per i terreni di copertura si è quindi provveduto ad effettuare una sia una suddivisione in classi predefinite di litotipi, utilizzando il sistema di classificazione U.S.C.S., sia una codifica in funzione degli ambienti genetico-deposizionali, riconosciuti per i differenti litotipi.

5. CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)

La carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) è l'elaborato fondamentale del livello 1 di microzonazione sismica che ha come principale obiettivo quello di suddividere il territorio in studio in zone caratterizzate dal medesimo comportamento geologico, geotecnico, geomorfologico e, quindi, potenzialmente dalla medesima risposta sismica in termini di amplificazione locale e di suscettibilità all'innescio di fenomeni cosismici quali frane, liquefazione, cedimenti differenziali ed altre tipologie di dissesto. Mediante la reinterpretazione di dati geologici, geomorfologici, idrogeologici, geotecnici, geofisici (contenuti nella Carta delle indagini), il territorio viene suddiviso in tre classi caratterizzate da differente comportamento sismico:

- **ZONE STABILI;**
- **ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE LOCALE;**
- **ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITA'.**

Le zone stabili sono tutti quei settori in cui non sono ipotizzate modifiche del moto sismico in termini di ampiezza, contenuto in frequenze e durata del moto sismico stesso e nelle quali non sono quindi ipotizzabili fenomeni di amplificazione locale come conseguenza delle caratteristiche geologico-tecniche dei litotipi e geomorfologiche. Queste zone generalmente coincidono con le aree di affioramento del substrato geologico (che può essere ricondotto a differenti tipologie come ad esempio lapideo, lapideo stratificato, coesivo ecc...) con pendenze non superiori ai 30°.

Con il termine di **zone stabili suscettibili di amplificazione locale** vengono indicati, invece, tutti quei settori che pur mantenendo il loro grado di "stabilità" (senza che abbiano luogo effetti cosismici permanenti) possono, in funzione del loro assetto litostratigrafico e morfologico, dar luogo a fenomeni di amplificazione del moto sismico atteso. Queste aree corrispondono in genere alle aree di affioramento di materiali caratterizzati da buone o discrete caratteristiche geotecniche e/o geomeccaniche o con i settori di affioramento del substrato geologico con pendenze superiori ai 30° o caratterizzato da elevato stato di fratturazione e/o alterazione, in cui non siano stati riconosciuti o non siano ipotizzabili fenomeni di instabilità.

Con il termine di **zone di attenzione per instabilità** vengono, infine, indicate tutte quelle zone di affioramento di materiali a comportamento geotecnico scadente per le quali i dati a disposizione non sono sufficienti, in quantità e/o tipologia, per definire se l'instabilità (frane, liquefazione, cedimenti differenziali, ecc.) si verificherà effettivamente in caso di evento sismico e se quindi la risposta sismica può essere caratterizzata oltre che da fenomeni di amplificazione del moto, anche dall'instaurarsi di fenomeni riconducibili a deformazioni permanenti dell'ambiente fisico.

5.1 Approccio metodologico

La suddivisione del territorio in microzone omogenee è stata effettuata in ambiente GIS mediante la sovrapposizione e l'intersezione di diversi tematismi (litologici, geotecnici, geomorfologici, ecc.) ottenuti mediante la reinterpretazione delle indagini reperite nella bibliografia tecnica e, quindi, dai differenti lavori eseguiti nell'area e mediante evidenze derivanti dai rilevamenti sia di tipo geologico che strumentale appositamente eseguiti nell'area di indagine. Viene di seguito fornita una rassegna delle differenti microzone individuate nell'area di indagine.

5.2 Zone stabili

In funzione delle caratteristiche geolitologiche e morfologiche delineate sia dall'analisi dei risultati ottenuti dalle differenti prove geofisiche e geotecniche effettuate in diversi studi e riportate nella Carta delle indagini e dei rilevamenti effettuati appositamente per il presente studio di microzonazione sismica di primo livello, sono state definite Zone Stabili tutte quelle aree in cui si ha la presenza in affioramento del substrato roccioso carbonatico cretacico e miocenico caratterizzato da una pendenza $\leq 30^\circ$. Rientrano all'interno delle aree stabili altresì, tutte quelle aree in cui pur non affiorando direttamente il bedrock carbonatico lo spessore delle coperture risulta essere inferiore ai 3m (queste ultime, in considerazione delle finalità del presente lavoro, sono state considerate alla stregua delle aree di affioramento del substrato).

5.3 Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica

Considerando le differenti litologie presenti nell'area in studio, la loro successione ed i loro rapporti stratigrafici, la geometria e l'assetto tridimensionale sia del substrato calcareo di base che dei corpi sedimentari, sono state individuate n.11 differenti tipologie di Zone stabili suscettibili di Amplificazione.

Viene di seguito presentata una rassegna ed una breve descrizione su base litologica e morfologica delle Zone stabili suscettibili di amplificazione delimitate.

Zona 1 (2001) – settori di versante in cui il substrato roccioso affiora con pendenze superiori ai 30° (codice 2001), con relativa possibile amplificazione sismica di tipo topografico.

Zona 2 (2002) – coincide con le aree caratterizzate all'affioramento dei termini arenaceo-marnosi riferibili ai depositi flyschoidi miocenici. Si tratta di alternanze di argille marnose dure e poco compressibili di colore variabile da grigio a beige e arenarie da molto addensate a litoidi.

Zona 3 (2003) – coincide con i settori di affioramento dei depositi alluvionali antichi terrazzati costituiti prevalentemente da ciottolame di natura calcarea eterometrico, immerso in matrice sabbiosa limoso-argillosa, con grado di cementazione variabile. Tali depositi sono caratterizzati generalmente da spessori variabili tra i 3 e circa 10 m, con tendenza ad inspessirsi procedendo da valle verso monte. Tali depositi sono posti principalmente al di sopra dei termini torbiditici, ma possono rinvenirsi anche a diretto contatto con i termini carbonatici.

Zona 4 (2004) – corrisponde alla zona di affioramento dei depositi del centro eruttivo di Tecchiena in cui si rinvengono termini vulcanici rappresentati da tufiti scoriacee, da compatte a degradate, e colate laviche di natura tefritico-leucitica. Anche nelle zone di affioramento dei termini lavici, questi risultano soggetti a fenomeni di degradazione per cui affiorano sempre al di sotto di spessori di materiali pedogenizzati e degradati. Vista la tipologia di dati disponibili in questi settori e visto il livello di approfondimento a cui vuole arrivare uno studio di microzonazione sismica di livello I, non si è ritenuto opportuno effettuare ulteriori suddivisioni di MOPS all'interno della zona di affioramento di tali litologie.

Zona 5 (2005) – corrisponde alle zone di affioramento di terre rosse, localmente miste a cineriti pedogenizzate. Generalmente tali coperture mostrano uno spessore di circa 7 - 10 m al di sopra del substrato carbonatico e localmente possono raggiungere anche spessori maggiori (circa 25 m).

Zona 6 (2006) – coincide con la zona di affioramento dei depositi tufitici pedogenizzati, solitamente posti a copertura dei depositi flyschoidi. Lo spessore delle coperture varia tra un minimo di 10 ed oltre i 30 m. Le cineriti a luoghi possono presentarsi frammiste a depositi di natura alluvionale.

Zona 7 (2007) – corrispondono alle aree di affioramento di terreni di riporto antropico, con spessori > 3 m, su substrato carbonatico. Le massime potenze dei terreni di riporto sono rilevabili immediatamente a valle del Centro Storico- Porta San Francesco dove i riporti assumono spessori anche superiori ai 10 m.

Zona 8 (2008) – coincide con una piccola zona ubicata al margine meridionale del confine comunale dove la presenza di indagini specifiche ha consentito di ricostruire con molto dettaglio la stratigrafia che vede la presenza di terreni di riporto di spessore di circa 4 m al di sopra di terreni riconducibili alle tufiti pedogenizzate presenti fino a profondità di 12 m. A profondità maggiori si ha poi la presenza dei termini flyschoidi della successione pelitico-arenacea inquadrabili come “Formazione di Frosinone”.

Zona 9 (2009) – sono le aree in cui sono presenti falde detritiche in alcuni casi organizzate in corpi di conoide solitamente al di sopra del basamento carbonatico. Sono costituiti da termini detritici eterometrici con potenza variabile dai 10 ai 25 metri, posti solitamente a copertura dei termini calcarei cretacio-miocenici.

Zona 10 (2010) – comprende i settori di affioramento delle coltri eluvio-colluviali derivanti principalmente dal rimaneggiamento supergenico dei depositi torbiditici. Tali depositi sono caratterizzati da spessori variabili tra i 5 ed i 10 m.

Zona 11 (2011) – coincide con le aree di affioramento dei depositi alluvionali recenti ed attuali dei corsi d'acqua. Mostrano spessori variabili tra i 10 e gli oltre 30 m e nell'alto corso dei corsi d'acqua tali litologie ricoprono termini carbonatici cretacio-miocenici, mentre nei settori vallivi questi possono essere eteropici e/o alternati ai depositi cineritici e sono posti al di sopra dei termini torbiditici miocenici.

Di seguito vengono riportate le colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle differenti microzone omogenee in prospettiva sismica definite (Fig. 5.1).

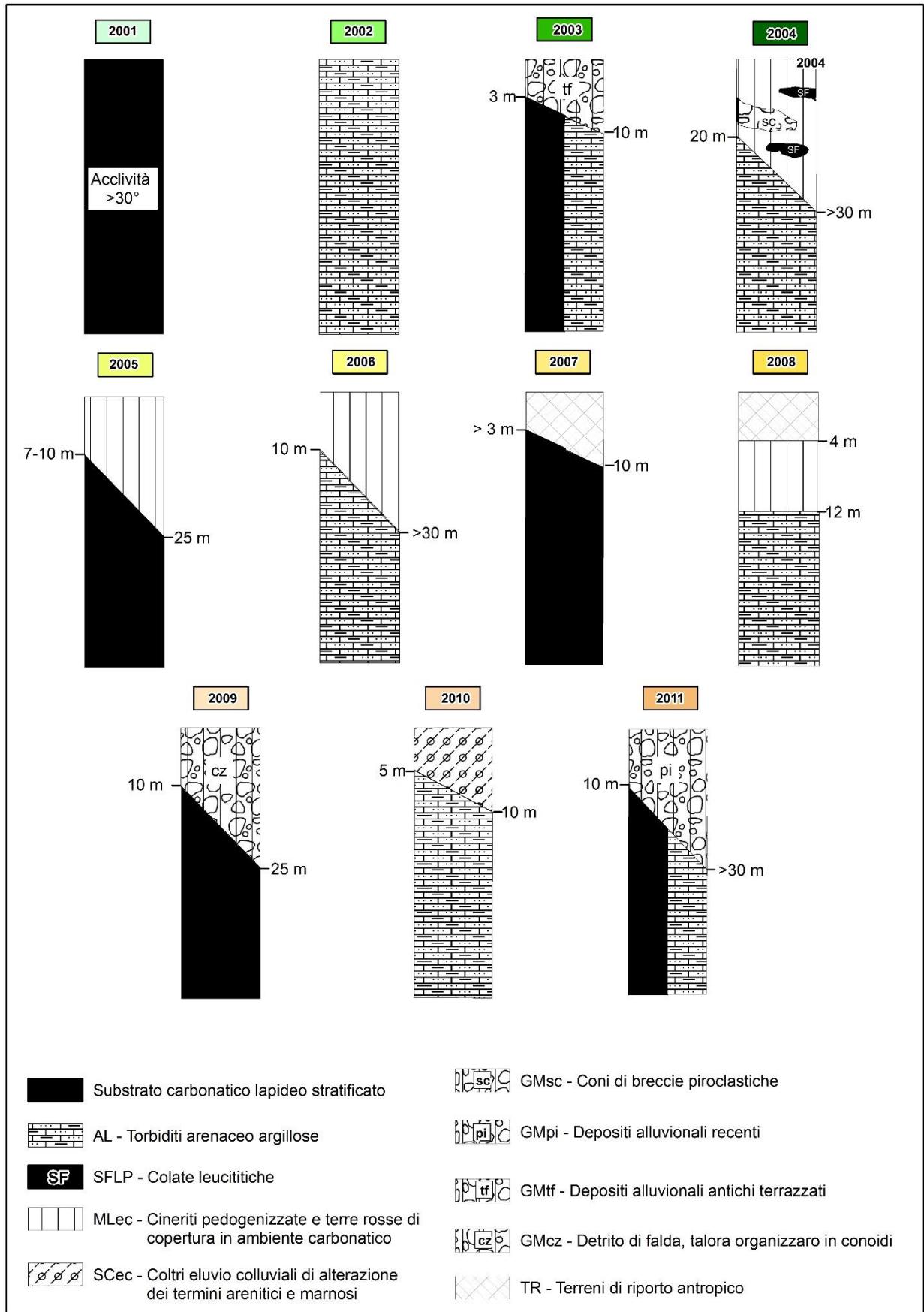


Fig. 5.1 - Colonne litostratigrafiche sintetiche per le differenti MOPS.

Nelle zone stabili suscettibili di amplificazione, nei casi indicati dalla normativa, sarà necessario effettuare lo studio di Livello 2 di MS, al fine di:

- introdurre, rispetto al Livello 1, un elemento quantitativo numerico, attraverso l'utilizzo del metodo degli Abachi Regionali (DGR 490/11 e s.m.i.);
- determinare, mediante indagini in sito più approfondite, il confronto fra FH e le Soglie SS (vedi DGR 490/10e s.m.i.) per definire le aree dove eseguire il Livello 3.

Tipo di zona in MS1 e di Piano	Livello di MS richiesto
Zone suscettibili amplificazione in Piani attuativi con Livello 1 validato	Liv. 2
Zone suscettibili instabilità in Piani attuativi con Livello 1 validato	Liv. 3
Piani attuativi senza Livello 1 validato	Liv. 2
Zone suscettibili amplificazione per Varianti puntuali per opere non strategiche o rilevanti con superf. > 0,5Ha	Liv. 2
Zone suscettibili amplificazione per Varianti puntuali per opere non strategiche o rilevanti con superf. < 0,5Ha	NO
Zone suscettibili instabilità per Varianti puntuali per opere non strategiche o rilevanti con superf. > 0,5Ha	Liv.3
Zone suscettibili instabilità per Varianti puntuali per opere non strategiche o rilevanti con superf. < 0,5Ha	Liv.3
Strutture Strategiche o Rilevanti (All. 2 DGR Lazio n. 387/09)	Liv.3

Tab. 5.1 - Applicazione dei livelli di MS per tipologie di trasformazioni urbanistiche nel territorio comunale di Alatri in quanto ricadente in Zona sismica 2B.

Le indagini di approfondimento da eseguire, ove necessario, nelle aree stabili suscettibili di amplificazione sismica dovranno essere coerenti con quanto chiaramente indicato nella DGR 490/11 e s.m.i. e commisurate alle caratteristiche dell'intervento pianificato. In ogni caso dovranno consentire:

- di ricostruire l'andamento e le caratteristiche sismiche del tetto del substrato carbonatico;
- di verificare, mediante sondaggi opportunamente ubicati o mediante l'uso delle più appropriate metodologie geofisiche, l'eventuale presenza di condotti carsici e cavità;
- di definire per i terreni di copertura i parametri fisici necessari (VSH e H) per l'applicazione degli Abachi Regionali (DGR 490/11 e s.m.i.).

5.4 Zone di attenzione per instabilità

Analizzando i dati relativi a differenti tematismi, ed in particolare quello dei dissesti per instabilità di versante definito dal PAI dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri Garigliano e Volturno, e dai rilevamenti condotti dallo scrivente e dal gruppo di lavoro sia in studi precedenti effettuati sul territorio comunale sia appositamente condotti per il presente studio di microzonazione sismica, è stato possibile delimitare le zone di attenzione per instabilità nelle quali sono possibili deformazioni permanenti dell'ambiente fisico. Per quanto riguarda i fenomeni di instabilità segnalati dal PAI, sono state tenute in considerazione le zone R3, R4, A3, A4, RpA, ApA, riportate sulle carte del rischio frana redatte dall'Autorità di Bacino del Liri-Garigliano-Volturno. Per quanto riguarda i fenomeni di instabilità di versante riconosciuti in situ durante i differenti sopralluoghi condotti dal gruppo di lavoro sia appositamente per il presente studio di Microzonazione Sismica di livello I, sia per altri lavori effettuati sul territorio comunale, questi sono stati classificati sia in termini di tipologia di cinematismo, sia in termini di stato di attività del movimento gravitativo. I dati relativi ai fenomeni di instabilità di versante sono riportati sia nella Carta Geologico-Tecnica sia nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva sismica.

Non sono stati riconosciute all'interno del territorio zone di attenzione per Faglie Attive e Capaci, per liquefazione o per cedimenti differenziali

I casi per i quali sono richiesti eventuali approfondimenti di indagine nelle zone suscettibili di instabilità sono richiamati nella Tabella 5.1.

6. VALUTAZIONE DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI

Nel territorio comunale di Alatri sono state reperite 18 prove sismiche passive HVSR e sono state eseguite appositamente per lo studio di microzonazione sismica in oggetto ulteriori 10 prove. Le prove, sia quelle reperite che quelle effettuate appositamente, sono riassunte nella seguente tabella nella quale vengono riportati inoltre i risultati, in termini di frequenza fondamentale, desunti dall'elaborazione di ciascuna prova (Tab. 6.1).

<i>id SPU</i>	<i>f₀ (Hz)</i>	<i>MOPS</i>	<i>Classe di profondità (m dal p.c.)</i>
060003P32	1.8	SA6	100 - 50 m
060003P30	1.9	SA5	
060003P116	1.32	SA3	
060003P69	2	SA6	
060003P105	2.2	SA5	50 - 30 m
060003P27	2.4	SA4	
060003P118	2.48	SA11	
060003P33	3.12	SA6	30 - 20 m
060003P28	3.6	SA4	
060003P54	3.8	SA6	
060003P38	3.9	SA5	
060003P34	3.95	SA6	
060003P29	3-5	SA4	
060003P117	4.13	SA10	
060003P39	4.46	SA5	
060003P124	4.5	SA9	
060003P115	4.83	SA4	
060003P37	4.93	SA5	
060003P121	7.18	SA9	20 - 10 m
060003P119	7.4	SA9	
060003P40	8.2	SA5	
060003P120	10.4	SA11	10 - 5 m
060003P25	12.94	SA5	
060003P123	13.0	SA7	
060003P31	25.84	SA2	< 5 m
060003P122	/	SA10	-----
060003P26	/	SA5	
060003P35	/	SA2	
060003P36	/	SA3	

Tab. 6.1 – Quadro riassuntivo delle prove di sismica passiva HVSR.

Le frequenze fondamentali ricavate nelle varie prove HVSR, eseguite su tutte le zone individuate come stabili suscettibili di amplificazione sismica, presentano valori caratteristici in relazione alle diverse

ambientazioni geologiche ed una discreta omogeneità all'interno delle diverse MOPS che sono state individuate sulla base delle caratteristiche geologico-stratigrafiche e sismiche.

È da mettere in evidenza che, per quanto riguarda la MOPS SA1, coincidente con i settori di affioramento del substrato calcareo con inclinazione del versante $>30^\circ$, si è appositamente deciso di non effettuare misure di rumore sismico. In questo caso, infatti, la frequenza fondamentale sarebbe funzione solo delle caratteristiche geometriche del versante e non delle caratteristiche stratigrafiche e non andrebbe quindi a descrivere un comportamento generalizzabile in tutti i settori contraddistinti dalla stessa MOPS.

Alla base dei versanti in roccia calcarea è presente, in molti settori, una fascia di detrito di versante costituito da clasti in matrice prevalentemente limoso-sabbiosa color marrone con spessori compresi tra i 10 ed i 25 m. Tale situazione viene confermata dalle frequenze di picco rilevate in questi settori che presentano valori compresi tra circa 4.5 e 7 Hz.

Le prove effettuate sulle zone di affioramento dei depositi riferibili alla successione flyschoidale, individuate nella Carta delle MOPS come SA2, forniscono valori di frequenza fondamentale in genere superiori a 20 Hz, o non mostrano picchi sensibili, a dimostrazione della presenza di uno spessore al massimo di qualche metro di materiale alterato seguito da spessori di parecchie decine di metri di materiale in posto, come chiaramente evidenziato dal rilevamento geologico - tecnico effettuato. Un comportamento simile è stato osservato nelle zone di affioramento dei depositi che costituiscono le coltri eluvio colluviali di alterazione dei depositi flyschoidali. In questo caso le prove effettuate hanno mostrato la presenza di picchi compatibili con spessori massimi dell'ordine della decina di metri di tali coltri, ma mostrano bassi valori del rapporto H/V a testimonianza del basso contrasto di impedenza sismica tra le coltri di alterazione ed i sottostanti flysch e del graduale passaggio a depositi meno alterati con la profondità.

Valori di frequenza fondamentale compresi tra circa 1.8 e 4 Hz sono stati riscontrati nelle prove effettuate sulla zona SA6 coincidente all'affioramento delle di litologie riconducibili a tufiti pedogenizzate poste solitamente sulla successione flyschoidale. I valori di frequenza fondamentale, in questo, caso vanno a confermare spessori di tufiti anche superiori ai 50 m e comunque difficilmente inferiori ai 30 m.

Nelle zone caratterizzate sostanzialmente dall'affioramento di terre rosse poste su substrato carbonatico, individuate sulla carta delle MOPS come SA5, sono state reperite n. 5 prove HVSR. I dati di frequenza fondamentale forniti da queste prove variano sostanzialmente tra i 2 ed i 13 Hz compatibili con spessori delle coperture variabili tra i 7 – 10 m ed i 25 m. Tuttavia dalle prove effettuate su questa MOPS sono stati riscontrati valori di frequenza fondamentale che si aggirano intorno ai 2 Hz, compatibili con spessori di tali terreni di copertura che localmente possono raggiungere anche i 50 m.

Per quanto riguarda le prove effettuate sulla MOPS individuata con la sigla SA4 e descritta come zona di affioramento dei depositi del centro eruttivo di Tecchiena posti solitamente su flysch, le prove effettuate hanno permesso di individuare frequenze di risonanza variabili tra circa 2.5 e 5 Hz. Tali valori permettono di definire spessori dei terreni di copertura tra i 20 e gli oltre 30 m.

Le prove HVSR effettuate sulla MOPS SA11, coincidente con le zone di affioramento dei depositi alluvionali recenti, mettono in luce la sostanziale eterogeneità di tali depositi, caratterizzati da repentine variazioni litologiche sia verticali che orizzontali. Le prove condotte su questa MOPS, mostrano valori di frequenza di picco estremamente variabili (tra circa 2.5 e 10 Hz), ma tuttavia, unitamente alle constatazioni derivanti dalle altre prove effettuate, permettono di ipotizzare spessori dei terreni alluvionali anche superiori ai 30 m.

È da mettere in evidenza che la stima degli spessori dei depositi di copertura e, quindi, della profondità del substrato sismico deriva da una analisi dei dati geotecnici pregressi e geofisici sia pregressi che di nuova acquisizione, eseguite in limitate zone al fine di definire un quadro generale. Tali profondità e spessori sono quindi soggetti a possibili variazioni nelle differenti zone. Al fine di ottenere dati di maggior precisione nei riguardi degli spessori dei terreni di copertura si ritiene quindi imprescindibile l'esecuzione delle indagini specifiche che, ai sensi della normativa vigente, devono necessariamente essere eseguite per la progettazione di opere di ingegneria e per la redazione di studi di microzonazione sismica di livelli superiori.

7. CLASSE DI QUALITÀ DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1

Si riporta nel seguito la tabella per la valutazione di qualità della carta di livello 1 di microzonazione sismica. I criteri adottati ed i punteggi sono quelli suggeriti nel documento “Nuovo vademecum operativo per la realizzazione di studi di microzonazione sismica di livello 1 e livello 2” realizzato dall’Ufficio Geologico e Sismico Regionale – Area difesa del Suolo e Concessioni Demaniali – Direzione Regionale Ambiente. Sulla base di tale valutazione la documentazione disponibile per il Comune di Alatri fornisce un valore nella scala della stima semiquantitativa adottata pari a 67.2 %, corrispondente a una qualità in classe B. Ciò indica l’opportunità di effettuare approfondimenti in alcune aree meno investigate.

a	Parametro	4			
b	Carta Geologico tecnica	1	Anno Rilevamento	Progetto	Scala
			1	1	1
			0.33	0.33	0.33
c	Sondaggi a distruzione	0.5	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
			0	0	0
			0.33	0.33	0.33
d	Sondaggi a carotaggio continuo	1	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
			1	0.33	1
			0.33	0.33	0.33
e	Indagini geofisiche	0.5	Numero misure	% celle occupate	% indagini al bedrock
			1	0.33	0.66
			0.33	0.33	0.33
f	Prove geotecniche	0.25	Numero prove	% celle occupate	% prove al bedrock
			1	0.33	0
			0.33	0.33	0.33
g	Misure Frequenze	0.75	Numero misure	% celle occupate	Classe di affidabilità
			1	0.33	0.66
			0.33	0.33	0.33

a	25	
b	0.99	
c	0.00	
d	0.77	
e	0.33	
f	0.11	
g	0.49	
Tot	67.2	67.2

CLASSE	VALORI	INDICAZIONI
A	≥ 70%	Carta di livello 1 di ottima qualità
B	31%-69%	Sarebbero auspicabili ulteriori indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità
C	≤ 30%	Carta di livello 1 di scarsa qualità: non risponde ai requisiti minimi richiesti da ICMS08 e Linee Guida Regione Lazio