



COMUNE DI ALATRI

PROVINCIA DI FROSINONE

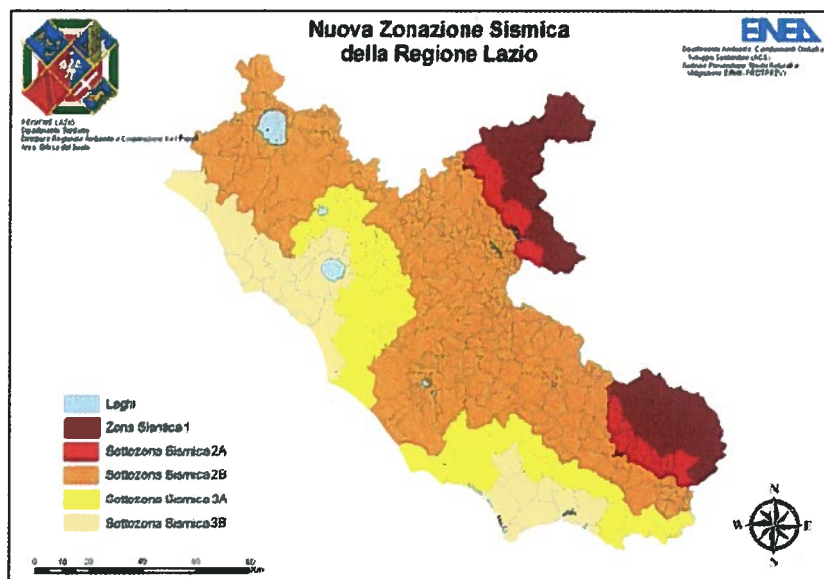


STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA

LIVELLO 1

(AI SENSI DELLA D.G.R. 545/2010)

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA ILLUSTRATIVA



DATA: Aprile 2012

SOGGETTO REALIZZATORE

DR. GEOL. ROBERTO SPALVIERI

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
(Geom. Amerigo Brocco)



IL RESPONSABILE DELL'OPERA
SPORTELLO UNICO PER L'EDILIZIA
Geom. Bruno Tagliapietra



Dr. Geol. Roberto SPALVIERI
Sede: Via Salita Casette, 31- 03011 Alatri (FR)
Tel.: (0775) 407951
Studio: C.so della Repubblica, 191, 03100 FROSINONE
Telefax: (0775) 855943- Email: robe-spa@libero.it
Part.IVA 01961840608: C.f. SPL RRT 69H25D810Z

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	2.
2. DATI DI BASE ED ELABORAZIONI CARTOGRAFICHE.....	3.
2.1 Assetto topografico, litostratigrafico, tettonico e geomorfologico	05
2.2 Carta delle indagini	22
2.3 Dati geotecnici	23
2.4 Dati geofisici	26
2.4.1 Prove geofisiche di superficie (MASW)	
2.4.2 Misure di microtremore (HVSr) e carta delle frequenze fondamentali dei depositi	
3. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1.....	29
4. CLASSE DI QUALITÀ.....	33
5. CONCLUSIONI	34

TAVOLE ALLEGATE:

- CARTA GEOLITOLOGICA
- CARTA DELLE INDAGINI
- CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI
- CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)



1. INTRODUZIONE

La presente Relazione Geologico-Tecnica Illustrativa presenta i risultati degli studi di Livello 1 di microzonazione sismica condotti sul territorio comunale di Alatri (FR), ai sensi della D.G.R. 545 del 26 Novembre 2010, affidati in qualità di Soggetto Realizzatore allo scrivente studio tecnico del Dr. Geol. Roberto Spalvieri, con Determinazione Dirigenziale n. 1193 del 27/06/201- Settore Edilizia e Urbanistica del Comune di Alatri.

Lo studio, svolto secondo quanto riportato nella citata normativa e in conformità a quanto indicato e prescritto dal testo di riferimento tecnico *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica* (Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile) è stato articolato nelle seguenti attività:

- Raccolta di notizie e dati già acquisiti dalla letteratura e dalla pratica locale.
- Raccolta delle indagini pregresse ricadenti nel territorio comunale di Alatri.
- Rilevamento geologico-geomorfologico di controllo sul terreno.
- Rilievo geomeccanico per la caratterizzazione geotecnica dei depositi carbonatici litoidi, con rilievo geostrutturale atto alla definizione del loro grado di fatturazione (J_v).
- Campagna di indagini geofisiche di superficie di tipo economico in grado di fornire indicazioni ulteriori a supporto alle indagini pregresse raccolte. Nello specifico sono stati appositamente eseguiti n°13 stendimenti sismici lineari di tipo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) per un totale di circa 730 metri lineari.
- Campagna strumentale di misure a stazione singola (microtremori) mediante l'analisi dei rapporti spettrali (HVSr – *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) per conoscere la frequenza fondamentale (f_0) dei diversi terreni che caratterizzano il territorio comunale.
- Analisi e sintesi finale di tutti i dati (pregressi e di nuova esecuzione) e definizione di un modello di sottosuolo compatibile con i risultati ottenuti dalle indagini.

Si rimanda ai successivi paragrafi per la descrizione dettagliata di tutte le attività svolte, mentre si allegano separatamente gli elaborati cartografici prodotti; ovvero, oltre la Carta Geolitologica:

- CARTA DELLE INDAGINI
- CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI
- CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)

In ottemperanza a quanto previsto dalla D.G.R. 545/2010, inoltre, tutti i dati utilizzati per la stesura degli elaborati cartografici sono stati raccolti su supporto magnetico (CD) e allegati alla presente relazione illustrativa, in quanto parte integrante della stessa.



2. DATI DI BASE ED ELABORAZIONI CARTOGRAFICHE

Nel caso del Comune di Alatri, il presente studio del livello 1 di microzonazione sismica ha interessato la quasi totalità del territorio di sua competenza; infatti, non rientrano tra i suoi confini aree esentate dagli studi di microzonazione sismica, così come elencate al paragrafo 7 della D.G.R. 545/2010. Unica eccezione è rappresentata da un'isola territoriale distaccata, di circa 16 Km² di estensione, denominata comunemente Pratele, compresa tra i territori comunali di Collepardo a Sud, Vico nel Lazio ad Ovest, Veroli ad Est e la Regione Abruzzo a Nord (Comune di Morino). Si tratta di un'area di spiccato interesse naturalistico, totalmente disabitata e coperta da boschi, che si inserisce all'interno del settore dei Monti Ernici posto a confine con la Regione Abruzzo; per questo per essa non sono previste destinazioni urbanistiche che ne possano modificare lo stato attuale. Dunque, la suddetta "isola" si ritiene estranea alla pianificazione territoriale comunale e pertanto esente dalle attività di microzonazione sismica oggetto del presente elaborato.

Dal punto di vista cartografico sono state utilizzate come base di riferimento, in quanto in esse rientrante il territorio comunale di Alatri, le seguenti sezioni della Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) del Lazio a scala 1:10000:

- n° 389040 "Trivigliano", n° 389080 "Fumone", n° 389120 "Ferentino", n° 390010 "Vico nel Lazio", n° 390050 "Alatri", n° 390090 "Castelmassimo". Si tratta di sezioni C.T.R. georiferite secondo il datum WGS 84 con proiezione UTM fuso 33N (*Figura 1*).

Per i dati geologici invece sono state utilizzate come carte di riferimento:

- la "Carta Geologica" d'Italia in scala 1:100000 dell'Uff. Geol. d'Italia - Foglio 151 *Alatri* e Foglio 159 *Frosinone*, con relative Note illustrative;
- la "Carta Geologica d'Italia" in scala 1:50000 del Serv. Geol. d'Italia- Foglio 389 *Anagni*, con relative Note illustrative;
- lo schema geologico-strutturale di "Strutture compressive pellicolari e tettonica distensiva nei Monti Ernici sud-occidentali" (*G. Cavinato, R. Cerisola, M. Sirna e S. Storoni Ridolfi – Mem. Soc. Geol. It. 45, 539-553, 1990*).

Oltre la citata cartografia ufficiale, per completezza si segnala la consultazione dei prodotti cartografici relativi allo studio geologico condotto dai colleghi Dr. Geol. Marco Evangelisti e Dr. Geol. Rocco Torre (1996-2000), a supporto della realizzazione della Variante Generale al P.R.G. Comunale e delle Varianti Speciali per il Recupero dell'Abusivismo Edilizio, finalizzato all'ottenimento del parere di cui all'art. 13 della Legge 02/02/1974 n. 64, in relazione agli strumenti urbanistici in via di definizione.

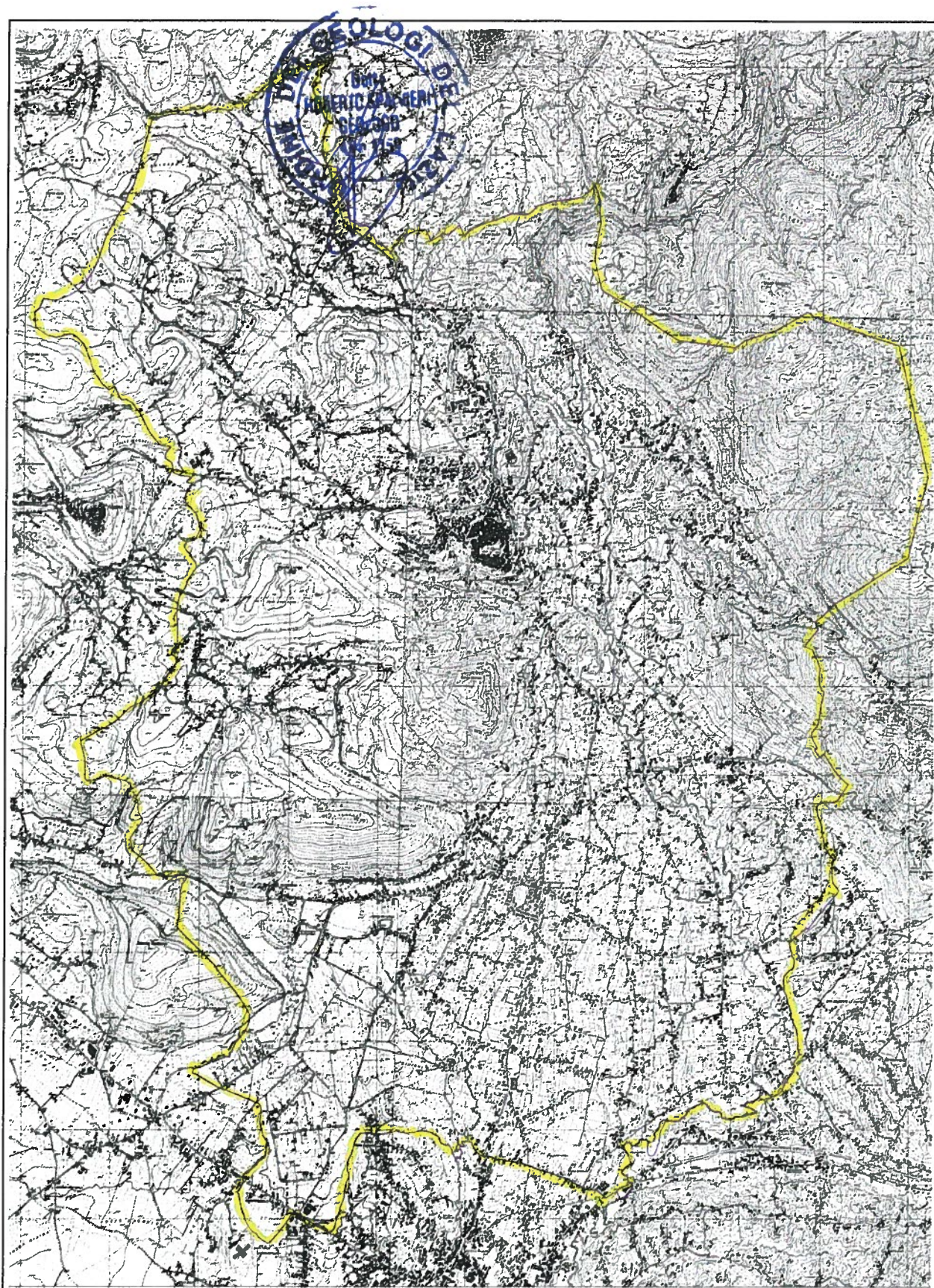


FIGURA 1 – AMBITO TERRITORIALE DEL COMUNE DI ALATRI SU BASE C.T.R. LAZIO



2.1 ASSETTO TOPOGRAFICO, LITOSTRATIGRAFICO, TETTONICO E GEOMORFOLOGICO

Il territorio comunale di Alatri si estende per circa 80 Km² lungo le propaggini meridionali dei Monti Ernici, che costituiscono il confine naturale del Lazio con l'Abruzzo; esso si inserisce tra i territori comunali di Frosinone a Sud, Veroli ad Est, Ferentino ad Ovest, Trivigliano, Vico nel Lazio e Colleparado a Nord. Il vasto territorio alatrese, subpianeggiante a sud, dove cede il passo all'ampia depressione della Media Valle Latina, e montuoso e/o collinare per la restante parte, comprende anche la citata isola amministrativa di Pratelle, dove si registra l'altitudine massima di 2.064 m s.l.m. (Monte Passeggio); da qui si degrada fino al minimo di 175 m s.l.m. rilevabile nella piana di Tecchiena, comprendendo nella sua estensione gran parte del bacino idrografico del Fiume Cosa, affluente del Sacco che scorre ad est del centro cittadino in direzione media nord-sud.

Per quanto concerne lo sviluppo urbanistico, il centro storico di Alatri si estende all'interno della cinta muraria e ricalca essenzialmente l'assetto urbanistico di epoca romana, sviluppatosi attorno all'Acropoli. Nell'abitato storico si possono distinguere due aree:

- la prima, posta a nord dell'acropoli, si caratterizza per uno sviluppo regolare, con strade per lo più diritte e sufficientemente ampie, reso possibile dalla pendenza non eccessiva del colle su questo lato; è un'area da sempre destinata a funzioni monumentali e commerciali: qui, in epoca romana, era collocato il Foro, nello stesso luogo oggi occupato da *Piazza Santa Maria Maggiore* che, contornata dai principali monumenti cittadini, mantiene a tutt'oggi la funzione di nodo urbanistico in cui si incrociano le principali vie del centro.
- la seconda, detta *Piagge*, si sviluppa sul versante meridionale del colle, più ripido: da tale conformazione deriva l'impianto urbanistico dell'area, con stretti vicoli in buona parte pedonali, e la sua funzione, di tipo quasi esclusivamente residenziale; il che ne fa una delle zone più caratteristiche del centro, apparendo quasi immutata dal medioevo.

L'abitato, in seguito allo sviluppo economico e sociale (Alatri è una delle città principali della Ciociaria e la terza della provincia per popolazione con i suoi 29.540 abitanti), si è esteso al di là delle mura lungo alcune direttrici predominanti: verso la vallata settentrionale (Bitta, Colleprata, Chiappitto e Dodici Marie) e nella zona collinare occidentale (Civette, San Francesco di Fuori). Inoltre, separatamente dal centro urbano, hanno assunto una significativa estensione le frazioni di Tecchiena a meridione, Monte San Marino a sud-ovest, La Fiura e Basciano ad oriente, Mole Bisleti e Laguccio a sud-est, Collelavena e Castagneto a nord-ovest.



Dal punto di vista geologico-stratigrafico e strutturale, il Comune di Alatri è caratterizzato dai lineamenti generali e dalle tipiche evidenze che caratterizzano la catena appenninica nel suo complesso. Quest'ultima infatti è costituita da una fascia crostale intensamente deformata in seguito alle diverse fasi tettoniche, prevalentemente neogeniche; quelle di origine compressiva sono conseguenti alla collisione tra i blocchi litosferici continentali europeo ed africano avvenuta nell'Eocene.

L'inquadramento geologico generale del settore centrale appenninico consente di distinguere diverse Unità Strutturali; tra queste le più rappresentative sono l'Unità della Falda laziale-abruzzese, e l'Unità dei Flysch alloctoni (a scala locale nota come Formazione di Frosinone). La prima è essenzialmente rappresentata da tutte le Unità Strutturali derivate dalla deformazione del Dominio stratigrafico di piattaforma carbonatica Laziale-Abruzzese. La seconda comprende litotipi torbiditici variabili da depositi argillitico-marnosi, ad arenacei, fino a calcareo-marnosi, di età compresa tra il Cretaceo superiore e l'Oligocene, strettamente associati al processo orogenetico collisionale. Tali Unità vanno distinte in interne (settore Lepino-Ausono-Aurunco) ed esterne (settore Simbruino-Ernico in cui ricade Alatri), in funzione della loro posizione rispetto alla direzione ed al verso della compressione; il meccanismo collisionale ha interessato il settore interno nel Tortoniano e quello esterno nel Messiniano.

I litotipi carbonatici sono riconducibili a depositi di piattaforma, con ambiente deposizionale caratterizzato sia da bassi fondali e lagune (calcolititi prevalentemente micritiche quali depositi di bassa energia) e scogliere coralline (calcarei organogeni, oolitici e biocalcarenitici relativi ad ambienti di alta energia). Tale deposizione carbonatica, previo passaggio attraverso una lacuna sedimentaria paleocenica ed un ciclo trasgressivo, permane anche nel Miocene con calcari di natura spiccatamente organogena (abbondante presenza di briozoi e litotamni, echinodermi e pectinidi). A seguito di questa potente successione carbonatica, protrattasi a partire dal Triassico superiore, si subentra nella citata facies torbiditica; si rilevano termini intermedi calcareo-argillitici e marnoso-calcarei che cedono il passo a potenti litotipi silicoclastici.

Nella zona d'interesse le sopra descritte Unità Stratigrafiche, nel Messiniano vengono interessate dalle fasi tettoniche compressive connesse all'impilamento a falde della struttura appenninica, con parte delle Unità Carbonatiche che sovrascorrono su quelle torbiditiche. Evidenza di questi sovrascorrimenti a carattere regionale sono i bordi occidentali della Valle Latina e della Val Roveto dove, rispettivamente, il settore Lepino-Ausono-Aurunco e il settore Simbruino-Ernico sovrascorrono sui depositi torbiditici che si erano depositi nei bacini di



avanfossa esterni ai suddetti settori di piattaforma. Successivamente, in età pliocenica, la fase distensiva postorogena, ha determinato la formazione di numerose faglie dirette e trascorrenti, in senso sia appenninico che antiappenninico, le quali hanno ulteriormente disarticolato le sequenze meso-cenozoiche in diversi blocchi monoclinali.

A scala locale, il territorio di Alatri si inserisce all'interno del comprensorio pre-ernico dell'Appennino centro meridionale, a formare un'estesa fascia di raccordo con l'area depressionaria della Media Valle Latina. In particolare si rinvengono a costituire l'orografia del territorio sia i depositi tipici di piattaforma carbonatica meso-cenozoica (settori orientale, settentrionale ed occidentale del territorio comunale), sia i depositi torbiditici silicoclastici di avanfossa (diffusi al margine dei depositi carbonatici, in particolare nei settori occidentale, centrale ed orientale, con lembi di rilievi isolati meridionali).

Tutto il settore che borda a SO la dorsale carbonatica simbruino-ernica, costituito da sedimenti di età alto-cretacica e miocenica, risulta geologicamente e morfologicamente separato dal corpo centrale della struttura simbruino-ernica dalla grande faglia Guarcino-Sora, sviluppata con direzione media NO-SE. Tale principale elemento tettonico ("master fault") che ha condizionato l'attuale assetto strutturale dell'area, è stata la faglia a carattere distensivo che ribassa a meridione la struttura dei Monti Ernici, con un rigetto variabile che raggiunge il suo massimo sviluppo (oltre 2000 metri) a settentrione di Alatri, nella zona di Vico nel Lazio. Le potenti e monotone serie carbonatiche mesozoiche sono accavallate in scaglie tettoniche embricate e sovrascorse verso NE, al di sopra dei depositi terrigeni tortoniano-messiniani. Come detto le serie affioranti non sono mai più antiche del Cenomaniano superiore, in quanto la loro continuità verso il basso è sempre interrotta da uno stile strutturale compressivo di tipo pellicolare, attivatosi per il tramite di faglie inverse e sovrascorrimenti a prevalente direzione NO-SE e N-S. Ad eccezione delle principali linee di "thrust" (come quella passante immediatamente ad oriente dell'altura di Alatri, quella di Monte S. Angelo e quella della Badia di S. Sebastiano- Torre Caravicchia di Veroli), che provocano il raddoppio delle serie, si osservano sovrascorrimenti secondari del tipo "splay thrust", il cui spessore non supera le poche decine di metri, con conseguenti raccorciamenti di entità limitata. Nel suo insieme, dunque, l'assetto tettonico presenta un trend appenninico, con geometrie riferibili a strutture di tipo "duplex" associate a strutture minori del tipo "a scaglie embricate". Altro elemento significativo dell'area degli Ernici ribassati è costituito dal frequente ritrovamento di lenti di materiale residuale e di livelli di argille grigio-azzurre lungo le principali superfici di sovrascorrimento. L'assetto geometrico delle strutture suggerisce che tali orizzonti argillosi abbiano rappresentato potenziali livelli di scollamento secondari, nella formazione delle scaglie tettoniche.



FOTO 1- TRUSS IN LOCALITA MAGLIANO



FOTO 2- TRUSS IN LOCALITA CASE PALLONE (BADIA)



FOTO 3 - SOVRASCORRIMENTO S.S.155- Km 10+000



FOTO 4- TRUSS FRONTE DI CAVA VALLE CARCARA



Le strutture compressive sono state successivamente (a partire dal Pliocene inf.-medio) interessate e disarticolate da eventi tettonici distensivi rappresentati, oltre che dalla master fault, da sistemi di faglie listriche a direzione NO-SE ed E-O, antitetiche e sintetiche, che determinano una struttura a graben o semigraben immergente verso la Valle Latina. Si tratta di elementi tettonici di tipo diretto che probabilmente hanno sfruttato linee di debolezza preesistenti, come le suddette rampe di accavallamento. Ulteriore dato significativo è costituito dal fatto che i sistemi di faglie trasversali E-O e NE-SO, che presentano indicatori cinematici prevalentemente obliqui, sembrano aver agito come faglie di trasferimento alle direttrici disgiuntive appenniniche probabilmente in corrispondenza di rampe oblique (Cavinato et al., 1992).

In corrispondenza dell'incrocio tra le discontinuità tettoniche principali e a ridosso delle pendici di alcune strutture carbonatiche rilevate si rinvengono coltri detritiche, talora organizzate in conoidi, con componente clastica eterometrica e di natura essenzialmente calcarea.

In tale contesto tettonico-strutturale, così come rilevato dalla consultazione della bibliografia tematica (in particolare ISPRA-Progetto Ithaca), non si segnala nell'area di studio la presenza di faglie attive e capaci.



Durante lo sviluppo della fase distensiva, nel quaternario il territorio è stato investito dai depositi distali dell'intensa attività vulcanica conosciuta come "Vulcanismo del media ed alta Valle del Fiume Sacco", i cui centri eruttivi principali si sono concentrati nei pressi di Patrica, Supino, Morolo, Colleferro ed Anagni; hanno dato origine, nelle vicinanze dei centri eruttivi, a colate piroclastiche, ignimbriche, laviche e coni di scorie a composizione prevalentemente tefritico-leucitica, nelle aree più distali a prodotti di ricaduta costituiti da cineriti. Queste hanno rimodellato il paesaggio, colmando gran parte delle aree depresse del territorio e ricoprendo i rilievi dai quali, successivamente, sono state dilavate dall'alterazione supergenica. A scala locale, nei pressi della S.S. 6 Casilina (Località Fontana S.Pietro) ed estesamente in Località Quarti di Tecchiena, sono evidenti i resti di alcuni coni di emissione vulcanica (Centro eruttivo di Tecchiena) i cui prodotti, noti come termini del "vulcanismo ernico", sono dei depositi scoriacei e delle lave grigio-nerastre a forte composizione leucitica. L'alterazione supergenica delle suddette vulcaniti ha determinato la formazione di tufiti pedogenizzate, con estesi affioramenti su tutto il territorio comunale, il cui rimaneggiamento risulta caratterizzato da intensi processi di argillificazione, compattazione ed ossidazione.

Completano la geologia locale le coltri eluvio-colluviali derivanti dall'alterazione delle torbiditi argillitico-arenacee, le terre rosse tipiche dell'azione carsica sui litotipi carbonatici ed i depositi alluvionali relativi al bacino del Fiume Cosa, le cui sorgenti sono ubicate oltre che nel territorio comunale di Guarcino, anche in quello di Alatri, all'interno del comprensorio di Pratelle. Questi ultimi depositi sono costituiti da termini alluvionali sia antichi e maturi, spesso terrazzati e a diverso grado di cementazione, sia oloceniche sciolte, spesso grossolane e con basso indice di arrotondamento, a testimonianza del carattere torrentizio del fiume stesso.

Il rilevamento geologico di superficie, associato alle informazioni tratte dalle indagini geognostiche pregresse ed appositamente effettuate nell'ambito del presente studio, ha permesso di riscontrare la presenza delle seguenti formazioni litologiche, distinte per i diversi domini sedimentari individuati (continentale, vulcanico e marino):

DOMINIO CONTINENTALE

DEPOSITI ALLUVIONALI OLOCENICI: Trattasi di termini trasportati e sedimentati all'interno del bacino del Fiume Cosa. Tali depositi mostrano frequenti rapporti eteropici sia con le coperture eluvio-colluviali che con le cineriti pedogenizzate. Risultano costituiti da limi sabbiosi, caratteristici dei corsi d'acqua situati nella porzione meridionale del territorio, fino a sabbie limose con componente argillosa estremamente variabile, inglobanti elementi clastici eterometrici ed eterogenei (con natura prevalentemente carbonatica e subordinatamente



vulcanica). La colorazione della matrice va dal marrone chiaro al brunastro. Mostrano una generale tendenza all'aumento delle granulometrie procedendo verso la base, dove possono organizzarsi in orizzonti più maturi di natura ghiaioso-sabbiosa.

DETRITO DI FALDA (OLOCENE): Il litotipo è costituito prevalentemente da elementi clastici calcarei eterometrici, ad indice di arrotondamento variabile, immersi in matrice limoso-argillosa, da subordinata a rilevante procedendo verso i settori distali. Si tratta di depositi la cui potenza diviene rilevante solo al piede dei versanti carbonatici delle principali strutture collinari dell'area, laddove si organizzano in corpi detritici noti come conoidi di deiezione, situati prevalentemente allo sbocco delle ripide aste torrentizie che incidono gli acclivi pendii posti alle loro spalle. Ne sono un esempio: la fascia estesa lungo le pendici meridionali ed occidentali di Monte Reo, quelle sviluppate al piede dei versanti meridionale (Località Monte San Marino) e nordorientale della struttura di Monte Lungo, quelle rinvenibili ad oriente di Monte Caprara, le conoidi che discendono dalle propaggini sudoccidentali dei Monti Maggiori e quelle evidenti nella zone di Castagneto e Seritico nel settore occidentale.

COLTRI ELUVIO-COLLUVIALI (OLOCENE): L'alterazione supergenica delle torbiditi arenaceo-pelitiche, ed in subordine dei termini calcareo-marnosi miocenici, comporta la formazione di coperture sciolte di natura limoso-sabbiosa ed argillosa. Si mostrano con potenze esigue (inferiori ai 5 metri) nei settori addossati alle strutture rilevate, che divengono consistenti nelle principali linee d'impiuvio interne alle strutture collinari flischoidi rinvenibili sul territorio indagato o al vasto settore di piana meridionale (Località Mole Bisleti e Laguccio).

DEPOSITI ALLUVIONALI ANTICHI TERRAZZATI (PLEISTOCENE-OLOCENE): Sono litologie rinvenibili a ridosso dell'alveo del Fiume Cosa, nella sua asta torrentizia che interessa il settore centro-settentrionale del territorio comunale. Procedendo da nord a sud, i principali affioramenti si rilevano in prossimità delle Località Porpuro, Magliano, Fiura, Allegra e Mole Santa Maria, mostrandosi spesso con orli di terrazzo fluviale e con spessori variabili da qualche metro sino a circa 10 metri (figura 7). Sono termini essenzialmente costituiti da ciottolame calcareo eterometrico, generalmente ad alto indice di arrotondamento, immerso in matrice sabbiosa e limoso-argillosa, con grado di cementazione variabile: si va da depositi detritico-ciottolosi sciolti a veri e propri conglomerati con evidenze stratigrafiche (classazione granulometrica verticale e stratificazione lenticolare).



FOTO 5 – AFFIORAMENTO LOCALITÀ COLLELAVENA



FOTO.6- AFFIORAMENTO MOLINO CELLERANO



FOTO 7 – AFFIORAMENTO PONTE D'ALLOGGIO

CINERITI PEDOGENIZZATE E TERRE ROSSE (PLEISTOCENE-OLOCENE): Sono litologie estesamente affioranti sul territorio investigato, in particolar modo nel settore di piana meridionale. Le prime sono termini cineritici più o meno rimaneggiati rappresentati da limi argillosi, a componente sabbiosa estremamente variabile, solo talora rilevante, di colorazione dal marrone al bruno-rossastro. La presenza di frammenti di pirosseni, di frequenti concrezioni nero-violacee di Ferro e Manganese e laccature rossastre derivanti da processi ossidativi, associate ad un evidente processo di argillificazione, permettono di inquadrarli come termini derivanti dal rimaneggiamento supergenico dei sottostanti e circostanti depositi tuffitico-lavici. Si presentano come litotipi piuttosto compatti e coesivi, sebbene mostrino degli allentamenti nella coltre più superficiale e negli orizzonti maggiormente sabbiosi pseudocoesivi.

Le terre rosse, invece, si concentrano nelle ambientazioni carsiche rinvenibili sulle strutture carbonatiche e nei settori di piana interni ad esse. Si tratta di litologie sciolte aventi la classificazione granulometrica di sabbie limose e limi argilloso-sabbiosi a componente detritica



variabile, con colorazione prevalente dal marrone rossastro al rosso mattone e clasti avana-biancastrì.



FOTO 8 – CINERITI PEDOGENIZZATE- CAMPONE



FOTO 9- TERRE ROSSE CARSIICHE- MONTE REO

DOMINIO VULCANICO

DEPOSITI VULCANICI DEL CENTRO ERUTTIVO DI TECCHIENA (PLEISTOCENE): I suoi prodotti si espandono su una superficie di forma pressoché quadrangolare ampia circa 5 km², generalmente coperti da materiale superficiale pedogenizzato. Trattasi sia di termini piroclastici che di depositi vulcanici litoidi. I primi sono costituiti da prodotti vulcanici di ricaduta (tufiti e cineriti), coesivi e varicolori, a granulometria prevalentemente limoso-argillosa, estesamente affioranti nel settore sudoccidentale del territorio comunale (Località Fontana S.Pietro, Vado del Tufo e Quarti di Tecchiena).



FOTO 10 – TUFITI COMPATTE- FONTANA S.PIETRO

I secondi si rinvengono con affioramenti circoscritti, interni alla suddetta area, che determinano forme con debole risalto morfologico costituite da accumuli di scorie e di lava più o meno vescicolata. Intorno ad essi si espande una lava nerastra e compatta, con molta probabilità riconducibile a due distinti gruppi di colate, con senso di scorrimento rispettivamente verso N e



NE e verso S e SO. Tali lave mostrano una struttura porfirica ipocristallina, a tessitura isotropa, e sono classificabili come leucititi.



FOTO 11- LAVE LEUCITITICHE- TECCHIENA CASTELLO



FOTO 12 - PARTICOLARE LEUCITITE

DOMINIO MARINO

TORBIDITI ARENACEO-ARGILLOSE (MIOCENE): Tale formazione litologica è riconducibile al Flysch marnoso-arenaceo miocenico (Tortoniano-Messiniano), associato all'orogenesi appenninica e noto in letteratura come Formazione di Frosinone. La Serie torbiditica consta di arenarie litoidi, predominanti nel settore sommitale della Serie dove sono organizzate in bancate da metriche a decimetriche, alternate ad argilliti e marne, in cui la stratificazione diviene più sottile. Lo spessore dell'intera massa torbiditica, di colorazione dal giallo ocra al grigio, è di gran lunga superiore ai 100 metri, sebbene nel territorio indagato subisca una sensibile contrazione legata alle descritte complicità tettoniche. I settori inferiori di versante sono caratterizzati per lo più dai termini medio-bassi della Serie; si rinvengono, infatti, affioramenti arenacei massivi, con bancate che presentano le caratteristiche tipiche dei depositi torbiditici, intervallati a termini argillitico-marnosi (rapporto arenarie/argilliti prossimo all'unità). Le aree di culmine morfologico mostrano un'ossatura costituita essenzialmente da arenarie massive, con rapporto arenarie/argilliti superiore all'unità. Dall'analisi granulometrica risulta che le frazioni detritiche dei campioni arenacei cadono prevalentemente nel campo della sabbia siltosa. La frazione sabbiosa, compresa tra il 30% ed il 55%, è fine e con piccole percentuali di sabbia media; quella siltosa varia dal 25% al 45% e l'argillosa dal 20% al 40%. Le arenarie, classificabili come grovacche litiche, sono costituite da granuli angolosi, con bassa sfericità, di quarzo prevalente e frammenti di calcare micritico, subordinati feldspati e plagioclasti. Il contenuto in matrice varia dal 37% al 58%, con cemento prettamente carbonatico. La meccanica deposizionale dei sedimenti arenaceo-pelitici fini può essere ricondotta alle correnti di torbida, mentre quella degli strati arenacei massicci è dovuta a meccanismi di tipo grain flow. Questo litotipo è ben



rappresentato su quasi tutto il territorio comunale di Alatri; in particolare, rappresenta il substrato delle vulcaniti nella piana di Tecchiena mentre affiora, ad Ovest e ad Est di essa, alle pendici dei circostanti rilievi carbonatici. Gli affioramenti più rappresentativi sono evidenti in Località Colle Cattrino (rilievo isolato all'interno della piana meridionale), Monte S. Marino, Canale, Pignano, Intignano, Riano e nei pressi della "Sorgente del Cosciano".



FOTO 13- TORBIDITI ARENACEO-ARGILLOSE (MONTE SANMARINO)

TERMINI CARBONATICI MIOCENICI: Tale unità litologica nel territorio in questione può essere distinta in due litofacies: quella inferiore, dei "calcari a pecten e briozoi", e quella superiore dei "calcari a losanga". Tuttavia, il passaggio dell'una nell'altra è talmente graduale che non consente una distinzione cartografica. La litofacies inferiore è costituita da calcari detritici organogeni stratificati, di colorazione variabile dal biancastro al giallastro, talora con sottilissime venature ocracee. La gran parte degli affioramenti presenti nell'area ricondotti alla formazione carbonatica miocenica sono da ascrivere a tale litofacies. La fase biocostruttiva è testimoniata da abbondanti colonie di briozoi, accompagnate da litotamni, coralli, frammenti di echinidi, lamellibranchi, anellidi e foraminiferi bentonici. Si tratta, dunque, di calcilutiti di consistenza litoide, depostesi in facies di piattaforma e, comunque, in un ambiente di mare poco profondo e di bassa energia. I calcari a losanga della litofacies superiore, molto meno presenti in affioramento (tipici esempi si rilevano nelle Frazioni di Monte San Marino e Basciano), sono costituiti da calcareniti sature di matrice passanti a calcilutiti, di colorazione giallastra e/o brunastra, a frattura prismatica. Gli strati sono sottili e in genere separati da veli argilloso-sabbiosi verdastri; essi si presentano però saldati ed amalgamati da processi diagenetici. Gli strati, ampiamente eterometrici, risultano interessati da una notevole fratturazione che, associata ad un intenso clivaggio, comporta la formazione dei tipici elementi microstrutturali a losanga e ad una stratificazione indistinta. A chiusura della deposizione carbonatica miocenica è da segnalare la presenza di una formazione litologica nota come "marne ad orbulina". Trattasi di un livello



non sempre ben esposto, dello spessore massimo di 15-20 metri, costituito dall'alternanza di marne argillose e argille marnose grigie in strati sottili, riferibili al Tortoniano inferiore. A titolo indicativo si citano limitati affioramenti significativi in Località Canarolo (a settentrione dell'area).



FOTO 14 – CALCARI BRIOZOI E LITOTAMNI- CARAVICCHIA



FOTO 15– CALCARI A BRIOZOI- MADDALENA



FOTO 16 – CALCARI A LOSANGHE- CHIAPPITTO



FOTO 17 – CALCARI A LOSANGHE- MONTE SAN MARINO

TERMINI CARBONATICI CRETACICI: Appartengono alla deposizione schiettamente calcarea della Piattaforma Laziale-Abbruzzese, con una sequenza completa avente una potenza di circa 250 metri. Si tratta di calcilutiti di consistenza litoide a luoghi fossilifere e/o con rare strutture di bioturbazione, di colore dal nocciola all'avana-biancastro, con intercalati calcari dolomitici o dolomitizzati e, localmente, dolomie grigie e da calcareniti fini, sature o quasi in matrice, talora con tracce di laminazione da corrente. Il deposito si è sedimentato in un ambiente di piattaforma caratterizzato da mare poco profondo e di bassa energia ("shelf"). I suddetti calcari e dolomie si presentano esclusivamente in masse monoclinali regolarmente stratificate, in cui gli strati sono per lo più poco spessi, costituendo l'ossatura delle strutture montuose pre-erniche circostanti Alatri. In particolare si ricorda che il litotipo, estesamente fratturato in profondità, è sede dell'acquifero basale da cui scaturiscono le più importanti sorgenti dell'Appennino centrale



e da cui traggono emungimento i pozzi profondi realizzati per l'approvvigionamento idropotabile comunale nelle Località Canarolo, Chiappitto e Pignano.



FIG.19 – CALCARI CRETACICI- PRESSI CIMITERO CIVICO



FIG.20 – AFFIORAMENTO A VALLE QUARTIERE PIAGGE

La distribuzione areale delle sopra descritte litologie viene resa evidente nell'allegata Carta Geolitologica, impostata su stralcio aerofotogrammetrico in scala 1:10000. Accanto alle informazioni strettamente litostratigrafiche, la carta presenta informazioni inerenti l'assetto strutturale del territorio, riferibili alla risposta dinamica delle Formazioni geologiche che hanno subito le sollecitazioni tettoniche di tipo compressivo (fine Miocene) e distensivo (Pliocene - Pleistocene) caratteristiche di questo settore dell'Appennino centro meridionale. In essa si riportano, inoltre, le caratteristiche giaciture degli strati e delle formazioni che rappresentano.

Al fine di rappresentare i rapporti geologico-strutturali tipici ed esistenti nel sottosuolo in esame, piuttosto significativa è la seguente sezione interpretativa, sviluppata nel settore centrale del territorio indagato e passante immediatamente a meridione del centro storico di Alatri, estesa sino alle propaggini degli orientali Monti Maggiori.

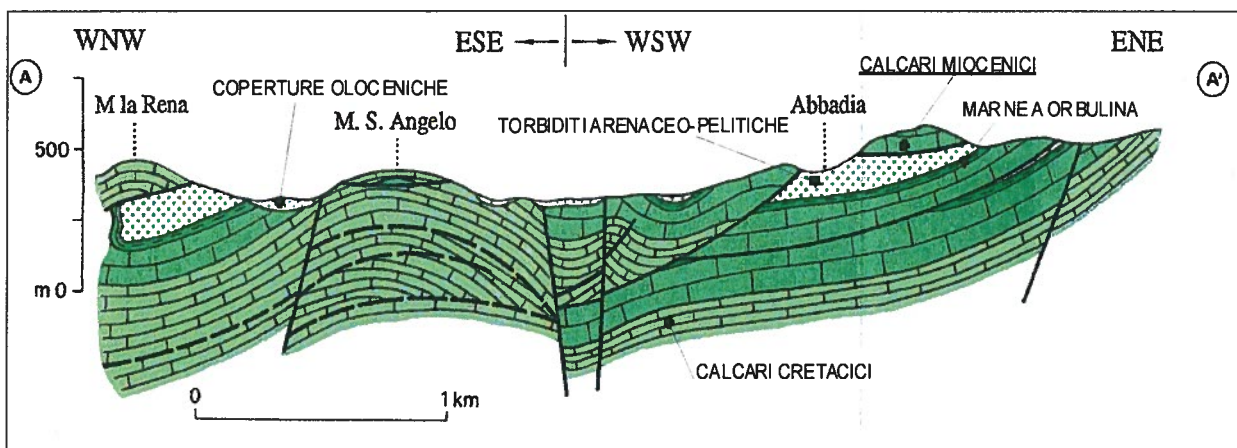


FIGURA 2- Sezione geologico-strutturale interpretativa

(da Cavinato et al.- 1992)



Il rilevamento geomorfologico di superficie e la documentazione tematica relativa al territorio in esame hanno permesso di delineare un quadro morfologico evolutivo caratterizzato da spiccati contrasti nel suo profilo. L'analisi delle pendenze permette di individuare un valore medio attestato a $10,12^\circ$, con una deviazione standard pari a $10,67$: da una parte sono presenti i settori montuosi nordoccidentali e nordorientali costituiti da rilievi calcarei che in alcuni punti possono presentare valori della pendenza superiori al 50% ; dall'altra, in particolare in tutto il settore meridionale e nelle più limitate zone di piana interna rinvenibili nel resto del territorio comunale, sono presenti valori della pendenza anche inferiori al 5% , quindi a carattere subpianeggiante. Quanto sopra risulta ben evidente nella carta delle pendenze riportata in Figura 3, distinta secondo le seguenti classi: $0-5^\circ$ in grigio, $5^\circ-10^\circ$ in giallo, $10^\circ-25^\circ$ in azzurro e $>25^\circ$ in rosso. Tali caratteristiche morfologiche trovano stretta correlazione con le diverse tipologie litologiche affioranti, sottoposte nel tempo ad azioni erosive e di modellamento differenziate quali-quantitativamente.

Il limitato modellamento morfologico delle formazioni calcaree antiche non è riconducibile ad azioni erosive meno marcate, ma alla maggiore resistenza opposta dai suddetti calcari all'attacco degli agenti supergenici. La degradazione meteorica dimostra la massima intensità laddove i suddetti depositi risultano fittamente stratificati, fessurati o clivati; da ciò deriva che le massime potenze dei termini residuali e dei terreni di alterazione sono rinvenibili in corrispondenza dei principali lineamenti tettonici. Limitate porzioni del territorio, localizzate prevalentemente in presenza di profonde incisioni all'interno delle litologie carbonatiche, sono sede di intense erosioni fluvio-denudazionali, testimoniate anche dalle conoidi detritiche conformatesi al loro sbocco. I depositi calcarei rilevati presentano soltanto in alcuni settori, limitati e circoscritti alle aree di culmine spiccatamente montuose, evidenze superficiali che consentono di segnalare fenomenologie di tipo carsico (esempio ne è la Località Pozzi sulle vette dei Monti Maggiori): sono individuabili strutture a doline con maturità mai rilevante, ma risultano assenti altre evidenze tali da giustificare la presenza di cavità carsiche sotterranee entro profondità significative per le infrastrutture in superficie.

Al contrario le formazioni arenaceo-pelitiche di origine torbiditica, sebbene più erodibili e modellabili, non hanno subito estreme azioni erosive e per questo sono assenti, in una visione di insieme, pendenze così accentuate. Le relative strutture collinari si articolano in numerosi crinali a decorso complesso, con linee spartiacque dalla morfologia smussata; le massime pendenze, talora comprese tra i 15° ed i 25° , si rilevano nei settori medio-alti di versante, laddove le aree di culmine cedono il passo, generalmente tramite cambi convessi, ai circostanti contesti di pendio.

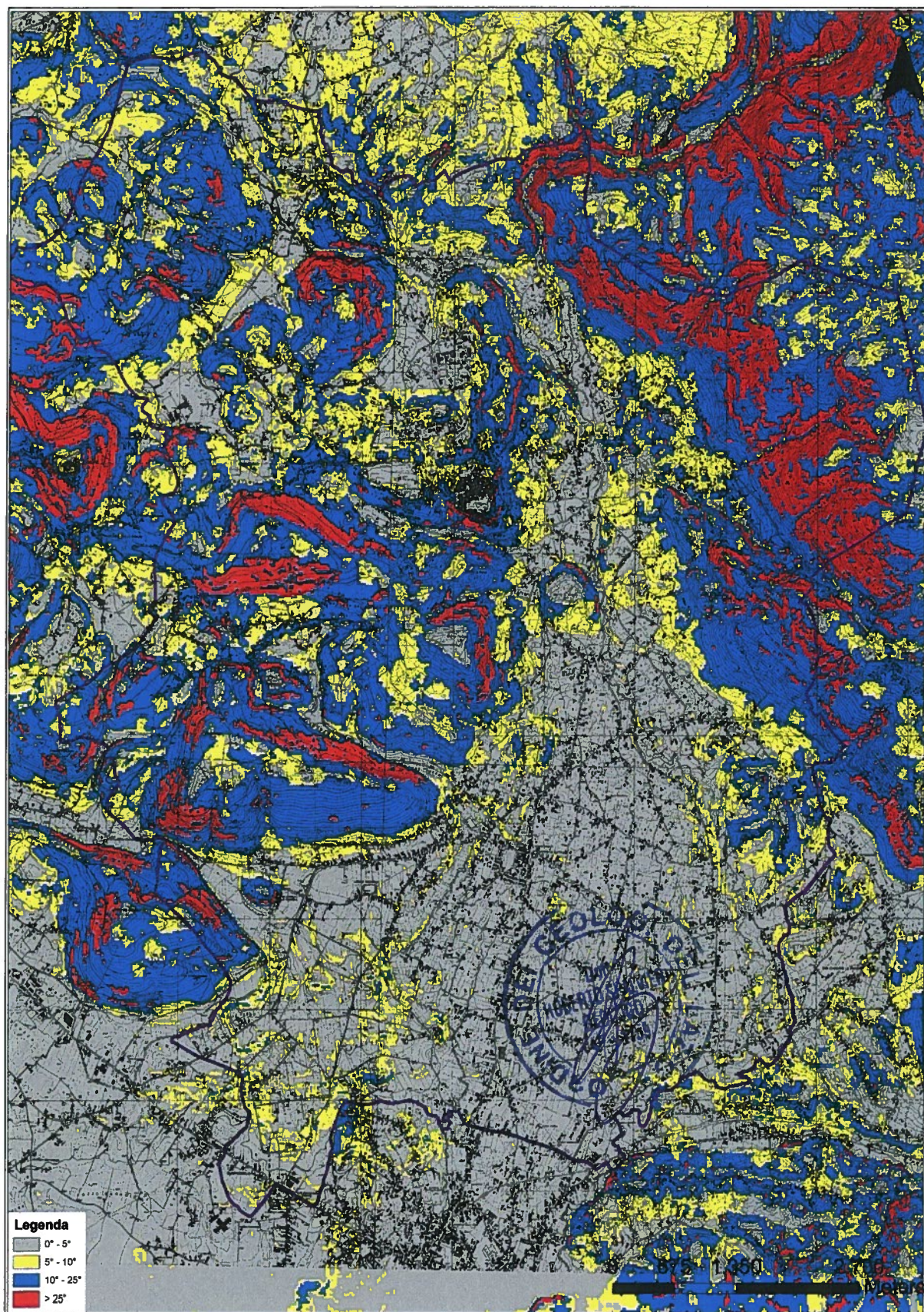


FIGURA 3 – CARTA DELLE PENDENZE SU C.T.R. LAZIO



Tali litologie sono suscettibili di potenzialità geodinamica; infatti il rilevamento dei fenomeni franosi attivi e quiescenti e delle aree a maggiore rischio di frana o dissesto, ha evidenziato come i depositi arenaceo-pelitici siano responsabili delle maggiori fenomenologie di questo tipo. Le cause possono essere ricercate nella tessitura e nella struttura delle torbiditi, costituite in prevalenza da limi e sabbie ben cementate, in genere facilmente erodibili. Pertanto, le loro coperture spesso sono rappresentate da spessori significativi di terreni eluvio-colluviali allentati, costituiti da limi argillosi ed argille limoso-sabbiose, variamente permeabili e suscettibili di imbibizione accentuata; laddove la componente argillosa diviene rilevante, ne consegue uno scadimento delle proprietà geomeccaniche e la conseguente potenzialità di dissesto geodinamico, cui si associano frane complesse, movimenti roto-traslativi e soliflussioni. Le formazioni arenacee hanno maturato un reticolo idrografico ben organizzato, analogamente a quanto è stato possibile riscontrare a carico delle tufiti vulcaniche. Tali litologie, in quanto poco permeabili, si sono lasciate modellare dolcemente in virtù anche delle pendenze molto meno marcate con le quali attualmente si presentano, dopo essere state oggetto di dilavamento a ridosso dei rilievi. Il settore collinare vulcanico sudoccidentale mostra blandi versanti con andamento piuttosto regolare che solo raramente superano pendenze di 5°, mai superiori a 10° ad eccezione dei tagli antropici.

L'azione di deposito attivatasi dal pleistocene all'attuale è essenzialmente esercitata dai meccanismi deposizionali alluvionali strettamente connessi al bacino idrografico del Fiume Cosa. I termini più recenti sono le alluvioni oloceniche depositatesi a ridosso dei principali corsi d'acqua e talora rinvenibili, all'interno della piana compresa tra Tecchiena ed il confine comunale meridionale, in eteropia ai depositi vulcanici pedogenizzati (paleoalvei). La deposizione alluvionale più antica si riconduce alle sole aste fluviali centro-settentrionali del Fiume Cosa, in corrispondenza delle quali si rilevano termini detritici ad alto indice di maturità (ciottoli eterometrici- da millimetrici a decimetrici- ad elevato indice di arrotondamento). Tali terreni, talora presenti sottoforma di conglomerati mediamente cementati, mostrano ben evidenti terrazzi fluviali delimitati da orli generalmente marcati; sui relativi affioramenti è possibile individuare inversioni nella classazione granulometrica sia verticale che orizzontale e frequenti evidenze di superficie di erosione, a dimostrazione del carattere torrentizio del corso d'acqua che ha vissuto periodi di forte erosione alternati a deposizioni massicce e caotiche.

Territorialmente l'area è di competenza dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano-Volturno e dalla consultazione del relativo Piano d'Assetto Idrogeologico (Carta degli scenari di rischio frana in scala 1:25000- PAI 2006), si evidenziano aree di estensione piuttosto limitata e circoscritta da associare a condizioni di rischio molto elevato (R4). Nel seguente stralcio di



Figura 4 si evidenzia la loro ubicazione (in rosso pieno), con associate aree ad alta attenzione (A4 in campitura rigata rossa), mentre non sono presenti zone a rischio elevato R3. Si rilevano, inoltre, alcuni settori perimetrati come RPa (rischio potenzialmente alto) e APa (attenzione potenzialmente alta) lungo il versante orientale dell'altura accolgente il centro abitato, immediatamente a monte di Via Canale e subito a sud di Monte San Marino.

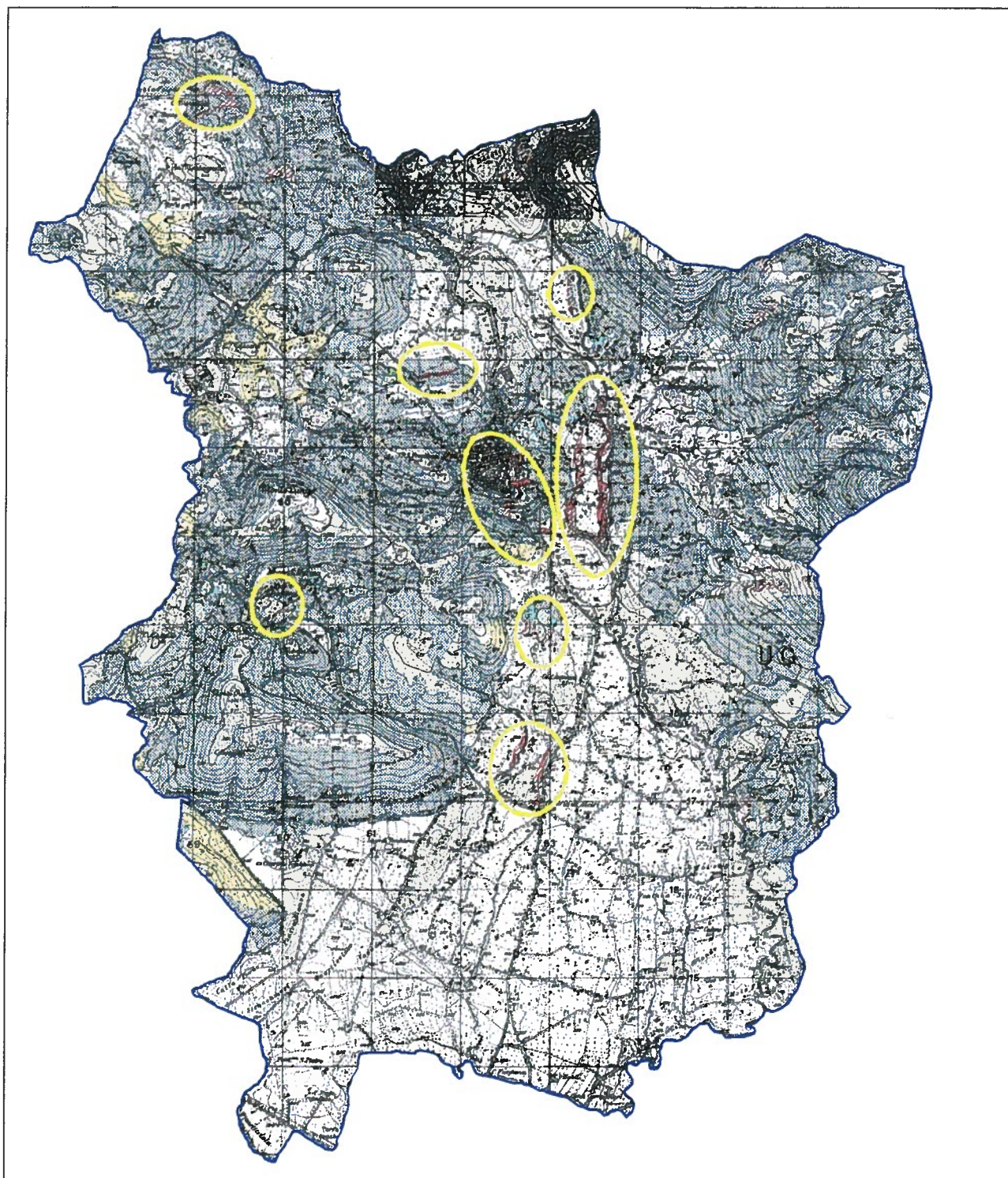


FIGURA 4 – STRALCIO DEL PAI AUTORITÀ BACINO LIRI-GARIGLIANO-VOLTURNO



Per quanto concerne il modellamento antropico, oltre ai tagli e rilevati connessi alle vie di comunicazione, ai riporti rinvenibili in corrispondenza o a ridosso delle principali aree edificate e nuclei abitativi (massime potenze rilevate superiori ai 10 metri immediatamente a valle del Centro Storico- Porta San Francesco), si segnala la presenza di alcune aree di cava sia attive che dismesse. Si tratta di centri estrattivi generalmente destinati al prelievo di inerti calcarei per l'edilizia (le più imponenti sono quelle inattive della Valle Carcara e quella attiva in Località Monte S. Angelo, site subito a meridione e SE del centro storico) e subordinatamente di materiale lapideo di origine vulcanica per selciati (cava dismessa del tipo a fossa in Località Fontana S.Pietro).



2.2 CARTA DELLE INDAGINI

Per la stesura di questa carta, realizzata in scala 1:10000, sono state prioritariamente reperite le indagini pregresse esistenti sul territorio consultando sia gli archivi pubblici comunali, che quelli privati di diversi tecnici che hanno gentilmente messo a disposizione i loro dati. Successivamente sono state eseguite una serie di nuove indagini concentrate nelle aree di attuale sviluppo urbano e nelle zone strategiche per fini correlativi o risultate carenti di dati pregressi.

Tutte le informazioni sono state archiviate e georiferite in due diversi tipi di tabelle: una per le indagini di tipo puntuale e l'altra per le indagini di tipo lineare, adottando gran parte dei campi indicati nelle "Specifiche tecniche per la redazione in ambiente GIS degli elaborati cartografici della microzonazione sismica" (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 Novembre 2010, n.3907). In entrambe le tabelle, le indagini sono state catalogate secondo i codici indicati negli *Standard di rappresentazione* e distinte in "pregresse" e "di nuova esecuzione"; dal punto di vista grafico, nella relativa carta ("**Carta delle indagini**" allegata), sono state proiettate distinguendole per tipologia. I relativi shapefile sono consultabili nel cd allegato, nella relativa cartella "Carta Indagini".

Nella cartella "Documenti", inoltre, è possibile consultare tutti i documenti originali in formato pdf, da cui sono state estratte le relative indagini.

Questa cartografia costituisce il primo passo per la definizione del quadro conoscitivo del sottosuolo, mettendo di per sé in evidenza non solo le aree carenti di dati ma anche la bassa presenza di indagini di tipo diretto che forniscano indicazioni precise e puntuali della stratigrafia a scala locale.



2.3 DATI GEOTECNICI

Le informazioni relative alle caratteristiche geotecniche dei depositi che caratterizzano il territorio di Alatri provengono tutte dai dati raccolti nelle indagini pregresse, in quanto non è prevista nello studio di Livello 1 di microzonazione sismica l'esecuzione di ulteriori indagini dirette, come sondaggi geognostici e prove geotecniche in situ.

La maggior parte dei dati raccolti proviene dai risultati delle analisi geotecniche di laboratorio condotte su campioni prelevati da sondaggi a carotaggio continuo nonché dall'elaborazione di dati penetrometrici derivanti da prove dinamiche di tipo leggero e da prove del tipo SPT in foro di sondaggio. Si tratta di sondaggi (comprensivi delle stratigrafie di n°3 pozzi profondi per uso idropotabile) e prove pregresse eseguiti dallo scrivente studio tecnico o reperiti dalla bibliografia e dalla documentazione connessa alla pratica geognostica locale, per un totale di n°70 (settanta) verticali d'indagine. Inoltre, hanno contribuito alla definizione del quadro conoscitivo le risultanze di rilievi geomeccanici condotti in diversi punti del territorio comunale sui termini litoidi riconducibili essenzialmente alla deposizione carbonatica meso-cenozoica; trattasi di rilievi eseguiti utilizzando la classificazione di Bieniawski, sviluppata secondo il sistema *Rock Mass Rating*.

La Tabella 1 riassume, nei tre principali parametri geomeccanici, le caratteristiche geotecniche medie raccolte per i diversi depositi rinvenibili sul territorio comunale, soprastanti i termini litoidi carbonatici cretaco-miocenici.

LITOLOGIA	γ (g/cm ³)	c' (kg/cm ²)	ϕ (°)
Depositi alluvionali olocenici	1.75-1.95	0	22-30
Detrito di falda	1.80-2.10	0-0.2	24-32
Coltri eluvio-colluviali	1.70-1.85	0-0.1	16-25
Depositi alluvionali antichi	1.80-2.20	0.2-0.6	26-35
Cineriti pedogenizzate e terre rosse	1.75-1.90	0.1-0.4	23-27
Depositi vulcanici (tufiti compatte)	1.85-1.95	0.2-0.6	24-28
Depositi vulcanici (lave leucititiche)	2.20-2.45	0.3-1.0	30-36
Torbiditi arenaceo-marnose	1.9-2.3	0.2-1.2	32-37
Torbiditi argillitico-arenacee	1.85-2.1	0.7-1.5	22-27

Tabella 1 – Ranges dei parametri geotecnicici relativi alle litologie rilevate soprastanti il basamento.





Nel caso dei depositi alluvionali olocenici si tratta di terreni incoerenti le cui forze di attrito intergranulare mostrano un ampio intervallo dovuto alla loro estrema eterogeneità: i depositi limoso-sabbiosi evidenziano bassi valori mentre quelli maggiormente detritici e maturi (sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose) fanno rilevare peso specifico ed attrito elevati; analoga condizione può essere segnalata per i detriti di falda, le cui migliori reologie vengono dimostrate dai termini pseudocoesivi costituenti i corpi di conoide più antichi ed evoluti presenti sul territorio.

Le coltri eluvio-colluviali sono rappresentate da coperture sciolte che solitamente dimostrano bassi valori dell'angolo di attrito: i depositi più diffusi sono costituiti da limi argilloso-sabbiosi incoerenti che frequentemente mostrano un elevato contenuto in acqua ed un attrito inferiore ai 22°; solo laddove la componente sabbiosa diviene rilevante ed i depositi non risultano imbibiti si possono raggiungere valori di attrito prossimi ai 25°.

I depositi alluvionali antichi affioranti lungo i terrazzi fluviali del Cosa evidenziano un grado di cementazione da medio ad elevato, cui conseguono le buone caratteristiche reologiche evidenziate in tabella; i massimi valori di resistenza geomeccanica e di densità sono riconducibili agli orizzonti spiccatamente conglomeratici, tutt'altro che rari nella serie continentale locale.

Le cineriti rimaneggiate dimostrano spesso medio-basse forze di attrito intergranulare, cui si affianca una non trascurabile coesione dovuta agli intensi processi pedogenetici e di ricompattazione cui sono state sottoposte. Nell'ambito dei depositi vulcanici, le tufiti compatte rinvenibili all'interno del dominio connesso al centro eruttivo di Tecchiena fanno segnalare una reologia media caratterizzata da parametri geotecnici di poco superiori a quelli dei termini pedogenizzati. Ben diversa è la consistenza delle lave leucititiche, le cui caratteristiche geotecniche sono tipiche dei depositi litoidi, sebbene fratturati e decompressi.

Come distinto in tabella, le torbiditi mioceniche fanno evidenziare uno spiccato dualismo geotecnico: i depositi superiori della serie, costituiti dalla successione arenaceo-marnosa maggiormente rappresentativa degli affioramenti presenti sul territorio indagato, dimostrano una buona consistenza essenzialmente riconducibile ad elevate forze d'attrito intergranulare; al contrario, i subordinati termini inferiori della serie vengono rappresentati da una maggiore presenza di argilliti spiccatamente coesive, con medio-bassi valori di angolo d'attrito.

Per quanto riguarda la reologia dei depositi carbonatici cretaco-miocenici (peso specifico: 2.1-2.4 g/cm³), sebbene sempre riconducibile a termini litoidi (ad eccezione di limitati e circoscritti affioramenti cataclastici), mostra una certa eterogeneità dovuta alla differente consistenza e persistenza nella stratificazione, nonché al diverso grado di alterazione e fessurazione/clivaggio. I rilievi geomeccanici, condotti secondo il sistema Rock Mass Rating (Bieniawski), sono stati basati sui seguenti parametri: resistenza della roccia alla compressione



monoassiale, RQD (Rock Quality Designation), condizioni delle discontinuità, condizioni idrogeologiche, orientamento delle discontinuità. La classificazione geomeccanica delle rocce è stata condotta mediante applicazione tabellare ben nota in letteratura, dove ai cinque parametri principali sono stati assegnati degli indici, suddivisi in cinque intervalli. Fissati gli indici, sono stati sommati i punteggi e si è ottenuto l'RMR di base per l'ammasso in esame. Il passo successivo è stato quello di includere un sesto parametro: influenza della direzione e della immersione delle discontinuità in funzione di opere di fondazione (scelta di un valore medio -7).

I calcari cretacico-miocenici maggiormente fratturati tettonizzati e alterati o clivati (indice $J_v > 10$, è il parametro che rappresenta il numero totale di discontinuità che intercettano un'unità di volume di 1 m^3), nonostante una certa eterogeneità strutturale e tessiturale, evidenziano caratteristiche cui corrispondono i seguenti intervalli negli indici classificativi:

- Indice "Resistenza del materiale":	7-12
- Indice "RQD":	8-15
- Indice "Spaziatura":	8-10
- Indice "condizioni discontinuità":	8-13
- Indice "Condizioni idrauliche":	7-10
- Totale Indici (comprensivo dell'indice correttivo)	31-53

Tale quadro conduce alla caratterizzazione geotecnica delle formazioni litologiche esaminate ed all'attribuzione degli ammassi rocciosi alle classi geomeccaniche III e IV:

Descrizione dell'ammasso: Scadente-Discreto

Coesione: 150-300 KPa

Angolo d'attrito: 28-35°

I calcari meso-cenozoici meno disturbati ($J_v < 10$) fanno rilevare, invece, i seguenti intervalli negli indici classificativi:

- Indice "Resistenza del materiale":	12-15
- Indice "RQD":	13-17
- Indice "Spaziatura":	10-20
- Indice "condizioni discontinuità":	15-20
- Indice "Condizioni idrauliche":	10-15
- Totale Indici (comprensivo dell'indice correttivo)	53-80

Tale quadro conduce alla caratterizzazione geotecnica delle formazioni litologiche esaminate ed all'attribuzione degli ammassi rocciosi alle classi geomeccaniche II e III:

Descrizione dell'ammasso: Discreto-Buono

Coesione: 200-400 KPa

Angolo d'attrito: 34-40°



2.4 DATI GEOFISICI

L'acquisizione dei dati geofisici pregressi è stata di utilità ai fini di una prima caratterizzazione sismica delle litologie coinvolte e della pianificazione delle indagini integrative da eseguire. Sono stati raccolti i dati relativi a n° 23 (ventitre) stendimenti sismici di tipo Masw e a n° 3 (tre) stendimenti di sismica a rifrazione. Al quadro preliminare che ne è conseguito, ha fatto seguito una caratterizzazione geofisica del Comune di Alatri a maggior dettaglio, integrata con indagini realizzate ad hoc e distribuite in maniera più o meno diffusa su tutta l'area di interesse.

Le indagini geofisiche di nuova esecuzione nello specifico sono consistite in:

- n° 13 (tredici) stendimenti sismici di tipo MASW;
- n° 16 (sedici) misure di rumore ambientale.

I relativi risultati, commentati nei paragrafi successivi, sono consultabili nella cartella "Documenti" riportata nel cd allegato.

2.4.1 Prove geofisiche di superficie (MASW)

Questa tipologia d'indagine si è resa necessaria al fine di conoscere le informazioni sull'assetto sepolto del sottosuolo, specialmente nelle aree in cui o per assenza di indagini o per scarsa profondità di investigazione, non si avevano a disposizione dati.

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo digitale a 24 canali – 24 bit di risoluzione della Dolang (JEA 247 T) e gli stendimenti realizzati partono da una lunghezza minima di 44 metri lineari ad una massima di 79 metri, per un totale di circa 730 metri lineari investigati. Le differenti lunghezze degli stendimenti sono state stabilite sia sulla base del contesto geologico presunto dal rilievo di campagna sia, in alcuni casi, dalla disponibilità di spazio presente. I dati acquisiti sono stati elaborati mediante il software *WinMasw 4.8 Professional*. Analizzando i risultati ottenuti e confrontandoli anche con quelli pregressi disponibili, si è osservato come cambiano le velocità delle onde di taglio nelle diverse formazioni che caratterizzano il territorio comunale.

I riporti antropici, mostranti spessori rilevanti e cartografabili solo in limitati e circoscritti settori, fanno evidenziare risposte scadenti con velocità medie delle Vs di 170 m/s.

Le coperture sciolte riconducibili ai termini olocenici alluvionali più fini, alle coltri eluvio-colluviali, alle terre rosse, ai detriti di falda incoerenti ed alle tufiti pedogenizzate evidenziano



una certa omogeneità nel comportamento sismico: si registrano valori di V_s variabili da 170 m/s a 280 m/s, con valore medio attestato a circa 220 m/s.

Un sensibile incremento si registra nelle V_s relative ai depositi alluvionali più grossolani: i termini ghiaioso-sabbiosi sciolti fanno rilevare valori medi prossimi a 450 m/s. Nel caso dei depositi antichi terrazzati, il non trascurabile grado di cementazione consente di rilevare sismostrati con V_s media di circa 560 m/s.

Per quanto concerne i depositi vulcanici s.s., le tufiti compatte dei coni di scorie e le lave leucititiche fanno registrare valori di V_s variabili da 430 m/s a 760 m/s, a testimonianza di una progressiva diminuzione della fratturazione con la profondità.

Le torbiditi della Formazione arenaceo-pelitica mostrano una porzione superiore degradata e decompressa con valori medi di V_s pari a circa 540 m/s, passante a depositi molto compatti cui ricondurre valori variabili da 610 a 720 m/s. Tale caratterizzazione sismostratigrafica consente di ritenere opportuno, per fini cautelativi, escludere i suddetti termini flischoidi dalle litologie costituenti il basamento sismico locale individuato in questa prima fase di microzonazione. Ciò consentirà di procedere con successive indagini integrative atte a valutare la reologia locale di questi depositi e la loro suscettibilità a fenomeni di amplificazione sismica nei diversi settori del territorio in cui sono presenti.

Le calcilutiti, le calcareniti ed i calcari marnosi che rappresentano i depositi di piattaforma carbonatica meso-cenozoica fanno rilevare, laddove maggiormente alterati e fratturati, dei valori di V_s variabili da 760 a 840 m/s; con l'aumento della profondità e nella maggior parte dei casi si registrano sismostrati con V_s variabili da 1200 a 1600 m/s. Si tratta, dunque, delle litologie costituenti il basamento sismico locale, stratificato e variamente fratturato (cfr. carta MOPS).

2.4.2 Misure di microtremore (HVSr)

Parallelamente all'acquisizione di dati MASW, è stata condotta anche una campagna di n°16 misure tromometriche a stazione singola con il GEOBOX 45 della *Sara Electronic Instruments*, un tromografo digitale costituito da una terna di sensori elettrodinamici (velocimetri) che registrano le componenti del noise lungo la direzione verticale e le direzioni orizzontali ortogonali.

Le indagini sono state mirate alla valutazione dei rapporti H/V (o HVSr) su rumore ambientale, al fine di stimare il periodo fondamentale di risonanza del terreno.

Ciascun punto di misura ha avuto una durata di acquisizione di 20 minuti con intervallo di campionamento a 200 Hz (valore di frequenza impostato dallo strumento). In taluni casi il punto



d'indagine è stato posizionato in corrispondenza degli stendimenti lineari di tipo MASW in modo da poter effettuare un'elaborazione congiunta dei dati.

I risultati ottenuti sono stati elaborati mediante il software *winMasw 4.8 Professional* e la procedura di calcolo dei rapporti spettrali H/V è di seguito descritta:

1. Ricampionamento del segnale alla frequenza di 128 Hz;
2. Suddivisione della registrazione completa in finestre da 20 secondi;
3. Rimozione di parti di registrazione affette da disturbi consistenti (traffico, macchine utensili e/o agricole, tralicci elettrici, etc.);
4. Smoothing degli spettri ottenuti;
5. Esecuzione dei rapporti H/V tra 0.5 e 64 Hz, e calcolo di media e deviazione standard sulla base delle variazioni spettrali nei 20 minuti di registrazione.

Per ogni misura H/V effettuata, è stato inoltre eseguito un controllo su eventuali direttività della sorgente di rumore nel tempo e nello spazio, che potesse influenzare la forma e la posizione del picco spettrale. Il periodo di risonanza del sito è stato calcolato utilizzando la frequenza per la quale il rapporto HVSR risultava massimo e i risultati ottenuti sono riassunti nella “**Carta delle frequenze fondamentali dei depositi**”. In essa, i diversi valori di frequenza rilevati sono stati distinti secondo i seguenti simboli e ranges:

LEGENDA	
Frequenze	
F (HZ)	
•	< 1
◦	1 - 2
◦	2 - 3
◦	3 - 5
•	5 - 8
•	8 - 20
•	> 20

Oltre ad indicare le frequenze fondamentali del terreno, la carta fornisce indicazioni circa la profondità alla quale spingere le indagini nei livelli di microzonazione successivi o in fase esecutiva, così come riportato nella seguente tabella estratta dalle Linee Guida:

f_o (Hz)	h (m)
< 1	> 100
1 - 2	100 - 50
2 - 3	50 - 30
3 - 5	30 - 20
5 - 8	20 - 10
8 - 20	10 - 5
> 20	< 5



3. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1

Tutte le informazioni ricavate nella fase di rilevamento e dall'acquisizione di campagna e riportate nelle cartografie tematiche prodotte, unitamente ai dati di base pregressi reperiti, hanno permesso di realizzare l'elaborato relativo alla cartografia delle "Microzonazione omogenee in prospettiva sismica" ovvero la Carta delle MOPS.

Questa carta è stata redatta secondo quanto previsto dalla D.G.R. 545/2010 e in linea con gli "Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica", per cui sono state individuate delle microzone nelle quali, sia sulla base delle osservazioni geolitologiche, geomorfologiche, litostratigrafiche che con i dati di base pregressi e di nuova esecuzione acquisiti, possano essere considerati omogenei gli effetti attesi in caso di terremoto.

Le microzone individuate nella carta sono una per le *Zone stabili*, nove per quelle rientranti nella categoria delle *Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali* ed una per le *Zone instabili*. Nel dettaglio, esse vengono distinte (mediante sigle e codici shapefile) come di seguito riportato:

ZONE STABILI:

- **S1:** aree in cui affiora il substrato lapideo stratificato e variamente fratturato, rappresentato dai termini carbonatici cretacico-miocenici costituenti l'ossatura del vasto sistema collinare e montuoso locale (codice 1011). L'insieme dei suddetti depositi carbonatici mostra un grado di fratturazione estremamente variabile. Le stime del parametro J_v (Volumetric Joint Count- definito come la somma del numero di giunti per metro per ogni set di joint presente) eseguite in corrispondenza di alcuni dei punti di rilievo geomeccanico, hanno evidenziato valori più rappresentativi compresi tra $5 < J_v < 20$. Tuttavia, sulla base delle risultanze di prove geofisiche di tipo MASW che hanno interessato termini con elevati valori di J_v , la reologia sismica degli stessi li riconduce comunque al basamento rigido ($V_s > 700$ m/s): è su tale presupposto che si è deciso di non procedere con alcuna differenziazione interna alle zone stabili.

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI:

- **SA1:** settori di versante in cui, sebbene risulti in affioramento il substrato S1, si rilevano pendenze superiori ai 30° (codice 2001), con relativa amplificazione sismica di tipo topografico.
- **SA2:** zone connesse all'affioramento dei termini miocenici arenaceo-marnosi (codice 2008). Si tratta di litologie compatte ed addensate, sebbene nella porzione superiore



degradate e decomprese, aventi potenza di parecchie decine di metri (in taluni casi anche superiore ai 100 metri). Dunque, salvo riduzioni locali dovute a lineamenti tettonici, laddove affioranti tali torbiditi si rinvengono per la totalità dei primi 30 metri di profondità.

- **SA3:** settori di affioramento delle coltri eluvio-colluviali derivanti dal rimaneggiamento supergenico dei depositi torbiditici e in subordine dei termini calcareo-marnosi miocenici (codice 2007). Si tratta di limi argilloso-sabbiosi posti a copertura delle suddette litologie con spessori medi di circa 5 metri, raramente superiori a 10 metri.
- **SA4:** zona del centro eruttivo di Tecchiena (codice 2006) posta a ridosso del confine sudoccidentale del territorio comunale. In essa risultano affioranti termini vulcanici rappresentati da tuffi scoriacei, da compatte a degradate, e colate laviche di natura tefritico-leucititica. Lo spessore medio del complesso vulcanico si attesta attorno ai 20 metri, ponendosi a copertura di termini torbiditici nel settore meridionale e dei calcari di Monte Radicino-Monte Reo rispettivamente ad occidente e settentrione del distretto.
- **SA5:** aree interessate dai riporti antropici (codice 2009) di spessore rilevabile e cartografabile (> 3 metri). Tali riporti sono rinvenibili in corrispondenza o a ridosso delle principali aree edificate e nuclei abitativi: massime potenze rilevate superiori ai 10 metri immediatamente a valle del Centro Storico- Porta San Francesco, laddove cedono il passo al sottostante basamento carbonatico.
- **SA6:** zone in cui affiorano terre rosse carsiche frammiste a cineriti pedogenizzate, quali depositi delle piane interne o rinvenibili nei settori di fondovalle addossati ai rilievi carbonatici (codice 2004). Si tratta di coperture mostranti una potenza media che raggiunge massimo i 10 metri.
- **SA7:** aree in cui si rilevano falde detritiche (codice 2003), solitamente addossate ai rilievi carbonatici ed in alcuni casi organizzate in corpi di conoide. Sono presenti in affioramento termini detritici eterometrici con potenza variabile dai 3 ai 15 metri, posti a copertura di calcari cretacico-miocenici.
- **SA8:** zone interessate dalla deposizione alluvionale, sia attuale che antica, strettamente connessa al corso del Fiume Cosa (codice 2002). Si tratta di alluvioni sia sciolte che cementate a granulometria variabile, che mostrano potenze variabili da 5 a 10 metri nel medio-alto corso (dove prevalgono i termini cementati organizzati in terrazzi), fino ad una profondità media di circa 25 metri in prossimità del confine comunale meridionale (dove predominano depositi sciolti- cfr. sondaggi posti poco a monte del Ponte della Tenuta). Nel tratto superiore dell'asta fluviale che attraversa il territorio di Alatri questi



depositi sono essenzialmente posti a copertura dei termini carbonatici meso-cenozoici; per la restante parte, fatta eccezione per il caso in cui si addossano alla struttura carbonatica di Monte S. Angelo, previo passaggio o alternanza con cineriti pedogenizzate cedono il passo alle torbiditi mioceniche .

- **SA9:** depositi alluvionali e pedogenizzati della Piana di Tecchiena, estesi lungo la quasi totalità del settore centrale del territorio fino al suo confine meridionale (codice 2005). Si tratta di termini eterogenei e con frequenti eteropie laterali mostranti potenze variabili da un minimo di 12 metri ad oltre 30 metri, poste essenzialmente a copertura di depositi flischoidi.

E' opportuno precisare che l'indicazione relativa agli spessori di copertura e alla quota del substrato sismico è suscettibile di variazioni in quanto la stima è stata effettuata solo sulla base dei dati pregressi e delle prove geofisiche eseguite. Ai fini della definizione di un quadro di maggior dettaglio a scala locale si rimanda ad una futura integrazione con indagini suppletive.

ZONE INSTABILI:

- **SII:** settori in cui si rileva instabilità di versante o alta potenzialità di dissesto (codice 3011). Si tratta di aree di estensione generalmente piuttosto limitata e circoscritta, da associare a condizioni di rischio molto elevato (R4), rischio elevato (R3), alta o medio-alta attenzione (A4 e A3), rischio o attenzione potenzialmente alti (rispettivamente Rpa e APa), così come individuate dal Piano d'Assetto Idrogeologico (Carta degli scenari di rischio in scala 1:25000- PAI 2006) dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano-Volturno.

Dalla consultazione della documentazione tematica esistente non si rilevano nel territorio comunale di Alatri altre condizioni di instabilità. Nello specifico:

- nonostante il delineato contesto tettonico-strutturale risulti piuttosto articolato e complesso, dalla consultazione della bibliografia di settore (in particolare ISPRA-Progetto Ithaca), non si segnala nell'area di studio la presenza di faglie classificabili come attive e capaci.
- non sono state individuate aree in cui coesistano tutte le condizioni che determinano potenzialità alla liquefazione o dove siano state censite cavità sotterranee o fenomeni di sinkhole.

Nell'allegato supporto informatico è possibile infine visualizzare i relativi shapefile utilizzati per la redazione in ambiente gis della cartografia:

- Zone_Alatri: delimita le zone stabili e le zone stabili suscettibili di amplificazione.
- Instab_Alatri: rappresenta le zone instabili.



- **Forme_Alatri:** descrive le forme di superficie presenti nella carta. In particolare, sono state rappresentate le conoidi detritiche (codice 4010) e tra gli elementi antropici le principali aree di cava (codice 4050)
- **MS1_Alatri:** intersezione tra zone stabili ed instabili per rappresentare la microzonazione sismica di livello 1.
- **Elineari_Alatri:** rappresenta tutti gli elementi lineari presenti in carta. Nel caso specifico, gli stendimenti sismici eseguiti e pregressi, condotti sia secondo la metodologia MASW (codice 5001) che tramite la sismica a rifrazione (codice 5002), e gli elementi geomorfologici lineari presenti: i più imponenti orli di scarpata (codice 5041) e gli orli dei principali terrazzi alluvionali (codice 5051).
- **Epuntuali_Alatri:** individua tutti gli elementi puntuali presenti in carta; in tal caso le penetrometrie (codice 6030) e i sondaggi (codice 6040) censiti, le indagini sismiche del tipo HVSR all'uopo eseguite (codice 6050) ed i pozzi per acqua (codice 6060).



4. CLASSE DI QUALITÀ

Al fine di stabilire in via semiquantitativa la qualità della carta di livello 1 di microzonazione sismica è stata compilata la matrice della tabella messa a disposizione dall'area Difesa del Suolo della Regione Lazio (Assessorato Ambiente e Sviluppo Sostenibile–Direzione Regionale Ambiente) ed allegata nel supporto magnetico a corredo della presente relazione.

Il valore ottenuto inserendo i dati relativi ad ogni campo richiesto è di 67,2 così ripartito:

a	25	
b	0,66	16,4
c	0,16	4,1
d	0,77	19,2
e	0,38	9,6
f	0,14	3,4
g	0,58	14,4
Tot	67,2	67,2

Pertanto, sulla base di tale punteggio ne deriva l'appartenenza al limite superiore della classe di qualità B.

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



CONCLUSIONI

Il presente studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, tramite la raccolta e successiva rielaborazione dei dati geologici, geofisici e geotecnici preesistenti e/o appositamente eseguiti, ha consentito di individuare a scala comunale le zone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) descritte nel presente elaborato. Si tratta dello studio preliminare atto alla definizione delle aree in cui le condizioni locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni, le infrastrutture e l'ambiente. Quanto sopra, al fine di supportare una corretta pianificazione e gestione del territorio comunale, dovrà essere integrato ed implementato dai successivi livelli di microzonazione. Essi dovranno introdurre ulteriori dettagli quantitativi sulle individuate aree suscettibili di amplificazione sismica o instabili (ZAS e ZI) e, basandosi su analisi numeriche ottenute da dati di prove di laboratorio geotecnico e di indagini geologico-tecniche e geofisiche da eseguire in situ, differenziare il grado di approfondimento necessario in fase progettuale: da aree in cui sarà indispensabile procedere con studi di Risposta Sismica Locale a zone in cui potranno essere adottate le procedure semplificate previste dalle NTC2008.

Alatri, Aprile 2012

Il Soggetto Realizzatore

Dr. Geol. Roberto SPALVIERI

