

MONOGRAFIE DI GEOLOGIA AMBIENTALE

Geologia Ambientale dell'Abruzzo

A cura di
Luciano Masciocco



Edizioni SIGEA

SPONSOR

Versione 1

Versione 1

Monografie di Geologia Ambientale



Geologia Ambientale dell'Abruzzo

A cura di
Luciano Masciocco



Edizioni SIGEA

MONOGRAFIE DI GEOLOGIA AMBIENTALE

Comitato scientifico

Stefano Albanese, Valeria Ancona, Anna Barra Caracciolo, Eleonora Beccaloni, Vincenzo Belgiorno, Piero Bellotti, Mario Bentivenga, Giovanni Beretta, Aldino Bondesan, Francesca Bozzano, Alessandro Bratti, Vito Bruno, Nicola Casagli, Sergio Castenetto, Rachele Castro, Giorgio Cesari, Vera Corbelli, Erasmo D'Angelis, Donatella De Rita, Rosa Maria Di Maggio, Massimiliano Fazzini, Maria Dolores Fidelibus, Fabio Garbin, Francesco De Pascale, Giuseppe Gisotti, Fabrizio Gizzi, Maurizio Guerra, Massimiliano Lega, Fabio Luino, Sergio Madonna, Carlo Manzo, Luciano Masciocco, Davide Mastroianni, Giuseppe Mastronuzzi, Federica Paglietti, Mario Parise, Fabio Pascarella, Cinzia Pasquale, Laura Passatore, Raffaele Persico, Marco Petitta, Marco Petrangeli Papini, Gianluca Pirani, Francesco Pirozzi, Sabina Porfido, Enzo Pranzini, Elisabetta Preziosi, Antonio Rusconi, Fabio Sabetta, Gabriele Scarascia Mugnozza, Andrea Sconocchia, Paolo Sconocchia, Gianluca Selicato, Silvia Serranti, Rajanandrea Sethi, Andrea Sonnino, Giuseppe Spilotro, Fabio Trincardi, Maria Cristina Tullio, Vito Felice Uricchio, Giuseppe Vadala, Gianluca Valensise, Igor Villani, Patrizio Zucca

Comitato editoriale

Silvano Agostini, Gigliola Alessandrini, Daniele Baldi, Andro Barabesi, Francesco Cancellieri, Lella Checchi, Eugenio Di Loreto, Maria Di Nezza, Daria Durante, Ilaria Falconi, Cesare Ferone, Adele Garzarella, Enrico Gennari, Giammarco Guidetti, Alessio Iacobini, Gianluca Lattanzi, Michele Macaluso, Carlo Malgarotto, Endro Martini, Fabio Oliva, Michele Orifici, Gaetano Osso, Vincent Ottaviani, Guido Pagliaga, Silvia Paparella, Aldo Papotto, Edoardo Robortella Stacul, Orietta Sala, Gaetano Sammartino, Paolo Sassone, Stefano Sorvino, Nino Tarantino, Salvatore Valletta, Pietro Zangheri

Direttore scientifico

Vito Felice Uricchio

Direttore editoriale

Antonello Fiore

Progetto grafico e impaginazione

Pino Zarbo - Fralerighe Book Farm
www.fralerighe.it

ISBN 979-12-80811-xx-x

© copyright 2025 Edizioni SIGEA

E-mail: monografie@sigeaweb.it

Sito web: www.sigeaweb.it

In copertina: Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga - (Ph D. Mancinella, Regione Lazio, Area Geodiversità e monumenti naturali)

Finito di stampare nel mese di novembre 2025 dalla Industria grafica Sagraf Srl, Capurso (BA)

Tutti i diritti sono riservati a norma di legge e a norma delle convenzioni internazionali.

Indice

Prefazione	
LUCIANO MASCIOTTOC	7
Analisi di clustering gerarchico per la ricostruzione dei segmenti di faglia: il caso del terremoto Mw 6.1 de L'Aquila del 2009	
GUIDO MARIA ADINOLFI, SERGIO CARMELO VINCIGUERRA, CESARE COMINA, LUCIANO MASCIOTTOC	9
Geologia ambientale: geoarcheologia e paesaggi archeologici in Abruzzo	
SILVANO AGOSTINI, EUGENIO DI VALERIO	18
Studio geologico-ambientale del bacino del T. Raiale (Versante meridionale del Gran Sasso d'Italia, AQ)	
SABRINA BONETTO, ANNALISA BOVE, ANDREA FESTA, GIANDOMENICO FUBELLI, LUCIANO MASCIOTTOC, PIERLUIGI PIERUCCINI, FRANCESCO SEITONE, BATTISTA TABONI, GESSICA UMILI	
Pericolosità geo-idrologica del fiume Aterno-Pescara (Abruzzo, Italia)	
ANNALISA BOVE, GUIDO STEFANO MARIANI, LUCIANO MASCIOTTOC	35
L'Aquila, 6 aprile 2009: quella notte	
UMBERTO BRACCILI	45
Il territorio abruzzese e le conseguenze dei terremoti: storia di distruzioni, abbandoni e ricostruzioni di centri abitati	
SERGIO CASTENETTO, EUGENIO DI LORETO	51
Caratterizzazione mineralogica preliminare di selci e carbonati ritrovati nel massiccio del gran sasso: un caso studio	
SARA DI FELICE, ALESSANDRA PASSARELLA, GIULIA PIA SERVETTO, ERICA BITTARELLO, LICIA SANTORO, RUGGERO VIGLIATURO	63
Caratteri climatici del territorio abruzzese	
MASSIMILIANO FAZZINI	71
Il Lago del Fucino nell'opera di Muzio Febonio <i>Historiae Marsorum</i>	
MARIA LUISA FELICI	80
Il Cammino della Linea Gustav: un progetto interdisciplinare di valorizzazione e geoturismo nell'Abruzzo orientale, Italia	
ADELE GARZARELLA	85
Il patrimonio geologico della regione Abruzzo: un viaggio tra geositi e buone pratiche	
ADELE GARZARELLA	94
Itinerari dei tratturi della transumanza in Abruzzo: geocultura e geoarcheologia	
FRANCESCA LIBERATORE, ENDRO MARTINI	102
Paesaggi geoarcheologici e archeologia industriale in Abruzzo. Verso un nuovo filone di ricerca	
DAVIDE MASTROIANNI	109

Il contratto di fiume nella regione Abruzzo: uno strumento di governace per il futuro PIERPAOLO PESCARA, SABRINA DI GIUSEPPE, PATRIZIO SCHIAZZA, ENDRO MARTINI.....	112
Il dissesto geo-idrologico dopo gli eventi sismici e le nevicate del gennaio 2017 in Abruzzo NICOLA SCIARRA, MASSIMO MANGIFESTA	118
Le discariche in procedura di infrazione nella regione Abruzzo: il commissariamento, la regolarizzazione e la rifunzionalizzazione NINO TARANTINO, MARIANNA MORABITO	125

Versione 1

Prefazione

Versione 1

Versione 1

Analisi di clustering gerarchico per la ricostruzione dei segmenti di faglia: il caso del terremoto Mw 6.1 de L'Aquila del 2009

Hierarchical clustering analysis for fault segment reconstruction: the case of the 2009 Mw 6.1 L'Aquila earthquake

GUIDO MARIA ADINOLFI¹, SERGIO CARMELO VINCIGUERRA², CESARE COMINA³, LUCIANO MASCIOTTO⁴

¹Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Torino; Socio Sigea-APS

²Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Torino; Socio Sigea-APS

³Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Torino

⁴Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Torino; Consigliere Nazionale Sigea-APS

E-mail: guidomaria.adinolfi@unito.it (G. M. Adinolfi), sergiocarmelo.vinciguerra@unito.it (S. C. Vinciguerra), cesare.comina@unito.it (C. Comina), luciano.masciocco@unito.it (L. Masciocco)

Parole chiave: Clustering gerarchico, Terremoto dell'Aquila (2009), Faglia sismogenetica, HDBSCAN, clustering multidimensionale
Key words: Hierarchical clustering, L'Aquila earthquake (2009), Seismic fault, HDBSCAN, multidimensional clustering

1. INTRODUZIONE

L'ubicazione delle *faglie sismogenetiche*, la definizione delle loro geometrie e dei tassi di scorrimento loro associati sono parametri cruciali per valutare correttamente il rischio sismico. Un approccio ampiamente utilizzato per la loro identificazione consiste nell'analisi delle registrazioni strumentali dei terremoti, che consente di localizzare le sorgenti sismiche e analizzare le soluzioni dei meccanismi focali per comprendere le proprietà geometriche dei piani di rottura.

In particolare, durante sequenze di terremoti caratterizzate da magnitudo elevata ($M > 6$), vengono spesso attivati sistemi complessi di faglie, che comportano la rottura di più segmenti. L'identificazione dei segmenti di faglia, sia in termini di numero che di dimensioni, rappresenta un compito complesso che richiede una conoscenza approfondita del contesto sismotettonico locale, spesso incompleta o poco dettagliata.

Questa analisi, fondamentale per la comprensione dei meccanismi di rottura, è frequentemente trascurata o condotta in modo non quantitativo. Il presente studio propone un approccio metodologico volto ad affrontare questa sfida, utilizzando tecniche di cluster analysis applicate agli ipocentri dei terremoti per identificare il numero e le dimensioni dei segmenti di faglia attivati. Per l'analisi dei cluster, è stato utilizzato l'algoritmo *Hierarchical Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise* (HDBSCAN, CAMPELLO *et al.* 2015; MCINNES *et al.* 2017), noto per la sua capacità di identificare strutture complesse in dataset ad alta dimensionalità senza la necessità di definire a priori il numero di cluster. Questo approccio è stato applicato alla sequenza sismica associata al terremoto dell'Aquila del 2009, con l'obiettivo di ricostruire la geometria dei segmenti di faglia attivati e di determinare la dimensione e l'orientazione del piano di rottura principale del terremoto Mw 6.1.

2. LA CLUSTER ANALYSIS APPLICATA ALLA SISMICITÀ

La *cluster analysis* è diventato uno strumento essenziale negli studi sui terremoti, offrendo preziose informazioni sui modelli statistici, sulle strutture di faglia e sui meccanismi di innesco dei terremoti. Sono state sviluppate varie tecniche di *clustering*, ciascuna con scopi specifici, che forniscono prospettive uniche sulla sismicità e contribuiscono a una comprensione più completa dei fenomeni legati ai terremoti. Il clustering spaziale è uno dei metodi ampiamente utilizzati, basato sulla distribuzione spaziale di epicentri o ipocentri. Questo approccio aiuta a definire le strutture sismogenetiche, rivelandone forma, orientamento ed estensione. È particolarmente utile per confrontare modelli di cluster con faglie potenzialmente attive (ANSARI *et al.* 2009), mappare reti di faglie complesse (OUILLO & SORNETTE 2011), ricostruire rotture di terremoti su più segmenti di faglia (CESCA *et al.* 2017) e supportare modelli statistici di forecasting della sismicità (LIPPIELLO *et al.* 2012). Sono stati condotti studi in cui le tecniche di clustering spaziale basate sulla densità degli ipocentri sono utilizzate per identificare cluster di sismicità indotta e faglie attive, tracciando al contempo l'evoluzione del rilascio dell'energia sismica lungo le singole faglie (SCHOENBALL & ELLSWORTH, 2017). Diversi algoritmi sono stati proposti e, secondo alcuni studi, la scelta del metodo di clustering può influenzare in modo significativo l'identificazione delle strutture sismogenetiche e la conseguente interpretazione dei dati (KONSTANTARAS *et al.*, 2012). Tra i metodi più utilizzati figurano K-means, DBSCAN (ESTER *et al.* 1996) e altri approcci a divisione o basati sulla densità, oggetto di confronto in numerosi lavori (WANG *et al.* 2012; ZALIAPIN & BEN-ZION, 2013).

I metodi di clustering temporale e spazio-temporale sono utilizzati principalmente per identificare le repliche di terremoti, de-clusterizzare cataloghi sismici ed esaminare l'evoluzione nel tempo della sismicità. Queste tecniche

aiutano ad analizzare gli intervalli di occorrenza temporale dei terremoti e a individuare eventuali periodicità nella genesi dei terremoti in aree geografiche differenti o a profondità variabili (KAGAN & KNOPOFF, 1976; REASENBERG, 1985; FROHLICH, 1987; KAGAN & JACKSON, 1994). Infatti, queste tecniche aiutano a identificare cluster spazio-temporali (SCHAEFER *et al.*, 2017), contribuiscono allo sviluppo di modelli statistici per la sismicità indotta (HAINZL *et al.*, 2000; SORNETTE & WERNER, 2005) e consentono di distinguere tra diverse tipologie di sequenze sismiche, come quelle mainshock-aftershock, caratterizzate da un evento principale seguito da numerose repliche, o configurazioni come gli sciame sismici, in cui gli eventi si verificano in brevi periodi di tempo senza un chiaro evento principale. (JACOBS *et al.*, 2013). Inoltre, il clustering temporale è utilizzato per studiare la propagazione della frattura, fornendo informazioni fondamentali sull'attivazione delle faglie e sulle dinamiche del processo di rottura. (MAGHSOUDI *et al.*, 2014).

Il clustering dei meccanismi focali mira a separare gruppi di terremoti con stili di rottura e cinematica simili. Questo metodo valuta la similarità dei meccanismi focali a doppia coppia (DC) utilizzando l'angolo di Kagan (KAGAN, 1991) come misura di similarità. Il clustering dei meccanismi focali è stato utilizzato per identificare famiglie distinte di terremoti indotti dall'esplorazione mineraria (CESCA *et al.* 2014) e terremoti naturali in vari contesti sismotettonici (CESCA *et al.* 2016, 2017; CUSTÓDIO *et al.* 2016). È stata dimostrata l'efficacia di questo metodo nell'esaminare l'evoluzione temporale della sismicità correlata alle attività antropiche, connesse alla geotermia o all'esplorazione di idrocarburi. Classificando la sismicità in base alle caratteristiche della rottura, è possibile ottenere informazioni cruciali sulle interazioni tra le faglie attive e sui processi tettonici in corso. I metodi di clustering basati sulla similarità delle forme d'onda hanno guadagnato notevole attenzione negli ultimi anni grazie alla loro capacità di confrontare direttamente i sismogrammi, fornendo una misura più rigorosa della similarità dei terremoti. Questi approcci correlano gli eventi in base alla similarità delle forme d'onda registrate, come segnali ad una o più stazioni sismiche (MAURER & DEICHMANN 1995; CATTANEO *et al.* 1999; MORIYA *et al.* 2003; WEHLING-BENATELLI *et al.* 2013; CESCA *et al.* 2020). L'identificazione di forme d'onda simili implica un alto grado di similarità nelle caratteristiche della sorgente sismica, in termini di posizione ipocentrale, profondità e meccanismo focale. Di conseguenza, il clustering basato sulle forme d'onda rivela spesso cluster altamente omogenei, i così detti "repeater earthquakes", evidenziando terremoti e processi di rottura quasi identici che si verificano sulle medesime porzioni di faglia (UCHIDA & BÜRGMANN 2019). Inoltre, la similarità dei segnali di terremoti noti, utilizzati come modelli, viene sfruttata per individuare eventi simili al di sotto del livello di rumore all'interno di registrazioni sismiche continue, migliorando il rilevamento di piccoli terremoti ripetuti nel tempo (YOON *et al.*, 2015).

L'integrazione di tecniche di clustering spaziali, temporali, basate su meccanismi focali e forme d'onda fornisce un

solido *framework* per l'analisi della sismicità. *Combinando questi metodi*, i ricercatori possono comprendere meglio le relazioni tra *cluster* di terremoti, strutture di faglia e cambiamenti di stress nel tempo. Ad esempio, CESCA (2020) propone un algoritmo che utilizza un approccio di clustering basato sulla densità (DBSCAN) per analizzare la sismicità, integrato in un unico codice che offre la possibilità di scegliere tra diverse metriche per raggruppare gli eventi in base alla somiglianza dei parametri spaziali, temporali o dei meccanismi focali.

Questi approcci di *clustering* si rivelano preziosi per identificare zone sismogenetiche, mappare sistemi di faglia complessi, analizzare i meccanismi di innesco dei terremoti e migliorare le valutazioni del rischio sismico. Con l'aumento delle capacità di calcolo e la crescente disponibilità di dati ad alta risoluzione, le tecniche di clustering sono destinate a svolgere un ruolo sempre più importante nel progresso della scienza dei terremoti.

3. IL TERREMOTO DELL'AQUILA DEL 2009

Nel 2009, una devastante sequenza sismica caratterizzata da cinque terremoti di magnitudo compresa tra 5.0 e 6.1 ha colpito la regione Abruzzo dell'Italia centrale. Il terremoto più distruttivo, quello di Mw 6.1, si è verificato alle 01:32 UTC del 6 aprile a circa 10 km di profondità sotto la città dell'Aquila, causando 308 vittime. Una lunga sequenza di foreshocks, tra cui un evento di Mw 4.0 il 30 marzo alle 13:38 UTC, ha preceduto l'evento sismico principale. Dopo il terremoto principale, la rete di monitoraggio sismico dell'area è stata ampliata a oltre 60 stazioni, fornendo registrazioni sismiche di alta qualità per tutto il 2009 e consentendo la creazione di un database completo contenente localizzazioni di alta precisione e meccanismi focali ben vincolati (CHIARALUCE *et al.* 2011, Chiaraluce 2012). Per l'analisi della sismicità, sono stati integrati i dati geologici di superficie con le evidenze delle rotture cosismiche generate dal terremoto dell'Aquila (Mw 6.1) e con i dati geodetici (INSAR), con l'obiettivo di definire e caratterizzare con maggiore precisione le geometrie delle faglie attivate durante la sequenza.

Nonostante la complessità del sistema di faglie coinvolto, esteso per circa 50 km, l'alta risoluzione delle localizzazioni della sequenza sismica ha permesso di ottenere risultati di dettaglio, consentendo un'analisi approfondita della sua geometria.

Ciononostante, diversi autori hanno proposto modelli differenti all'estensione e alla segmentazione del sistema di faglia attivato, in particolare per il segmento principale di Paganica, spesso giungendo a interpretazioni diverse. Tale variabilità è riconducibile, almeno in parte, all'incertezza o all'assenza di analisi quantitative specifiche volte a una ricostruzione dettagliata delle geometrie di rottura. FALCUCCI *et al.* (2009) descrivono la faglia di Paganica come una struttura con direzione NW-SE e inclinazione SW composta da tre segmenti en-echelon, ciascuno lungo 3-4 km, con una lunghezza totale di circa 10 km. CHIARALUCE *et al.* (2012) propongono una faglia normale ad alto angolo,

quasi planare, che si estende per circa 16 km di lunghezza e taglia la crosta superiore fino a 10 km di profondità con una pendenza costante. GORI *et al.* (2012) stimano che la rottura superficiale primaria sia lunga circa 12-13 km lungo il segmento di Paganica. GALLI *et al.* (2010) caratterizzano il sistema di faglie Paganica-San Demetrio (PSDFS) come costituito da sette segmenti principali, lunghi da 1 a 5 km, disposti in uno schema *en-echelon* destro, per una lunghezza totale di circa 18-20 km. LAVECCHIA *et al.* (2012) suggeriscono una suddivisione strutturale più complessa, che definisce sei segmenti *en-echelon* destri, che estenderebbero la lunghezza totale del sistema di faglie Paganica a 26 km.

La lunghezza e la posizione della rottura cosismica riportata in Figura 1 sono tratte dalle indagini sul campo di LAVECCHIA *et al.* (2012), così come le faglie attive. Le localizzazioni dei terremoti, utilizzate come database in questo lavoro, provengono da CHIARALUCE *et al.* (2011) e CHIARALUCE (2012). Da quanto appena descritto, la ricostruzione dell'assetto sismotettonico della regione rimane abbastanza controverso per numero, dimensioni e orientamento delle faglie.

4. METODO DI ANALISI MULTIDIMENSIONALE DEI CLUSTER

Per cercare di meglio definire la complessa struttura attivata dalla sequenza sismica che ha colpito L'Aquila nel 2009, identificando e caratterizzando i segmenti di faglia attivati, nel presente lavoro è stato elaborato un metodo di analisi gerarchico dei cluster utilizzando più tipi di metriche. L'innovazione metodologica risiede nell'integrazione sinergica dei parametri di localizzazione sismica, inclusi ipocentri, tempi di origine e meccanismi focali, per costruire una rappresentazione globale dell'attività sismica lungo il sistema di faglia.

La metodologia si sviluppa in tre fasi principali. La prima fase prevede la quantificazione della distribuzione spaziale degli eventi sismici, ottenuta tramite il calcolo di una matrice di distanza euclidea tra le coordinate ipocentrali. La seconda fase riguarda la costruzione di una matrice di distanza temporale, basata sulle differenze assolute tra i tempi di origine degli eventi sismici, per identificare cluster di sismicità temporalmente correlati. Infine, la terza fase estende l'analisi ai meccanismi focali, utilizzando gli

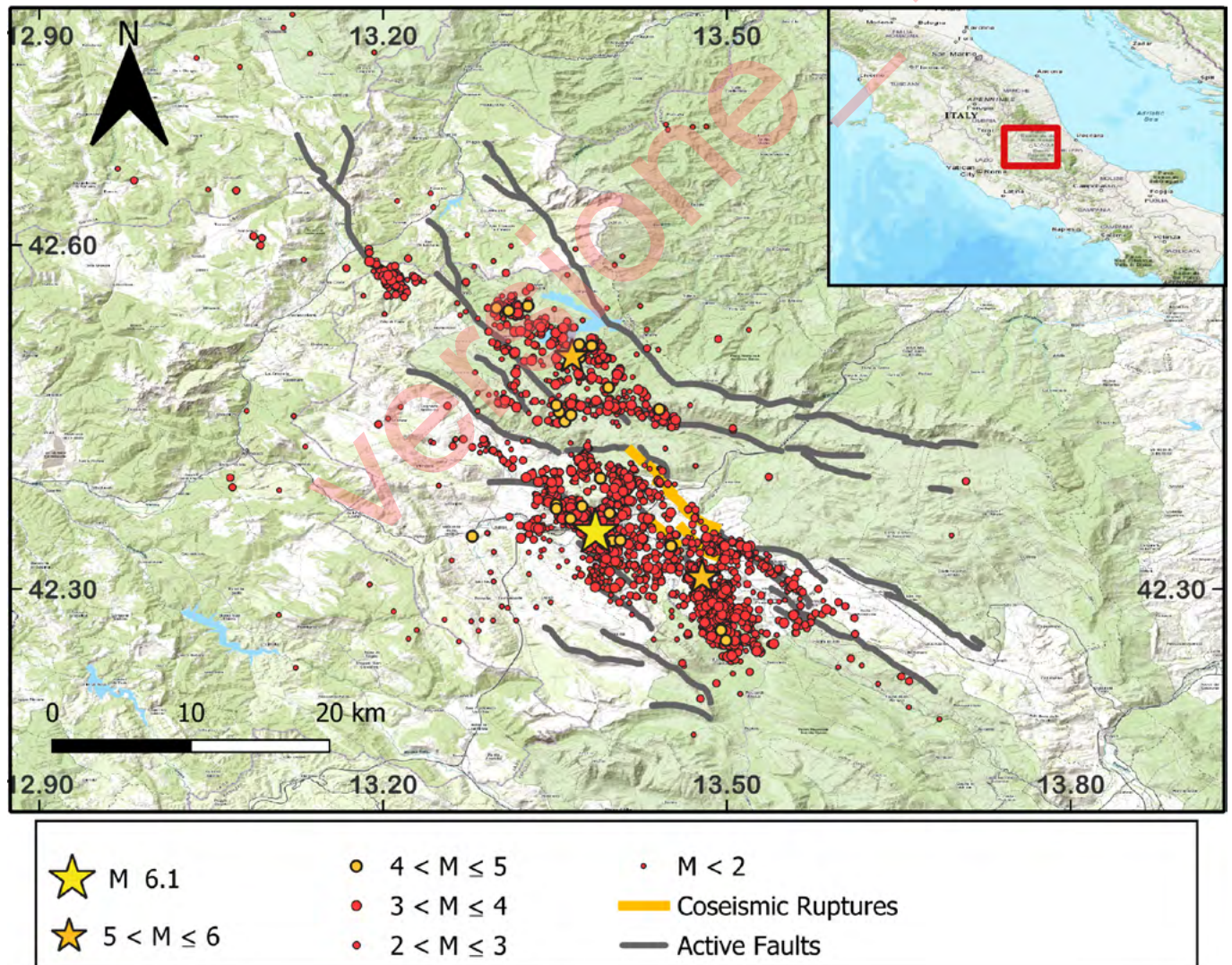


FIGURA 1. Mappa epicentrale della sequenza sismica dell'Aquila del 2009 (Mw 6.1), che mostra tutti i terremoti registrati da gennaio a dicembre 2009. La scossa principale è contrassegnata con una stella gialla, mentre le scosse di assestamento con Mw > 5 sono mostrate in arancione. I terremoti con magnitudo compresa tra 4 e 5 sono rappresentati da cerchi arancioni, mentre gli eventi più piccoli sono visualizzati in rosso, in scala di magnitudo. Le faglie attive e la traccia delle rotture cosismiche sono mappate secondo quanto riportato da LAVECCHIA *et al.* (2012). Le localizzazioni dei terremoti sono tratte da CHIARALUCE (2012).

angoli di Kagan per misurare la dissimilarità cinematica tra le sorgenti sismiche.

L'integrazione delle matrici di distanza spaziale, temporale e focale, e il confronto tra di esse, consente di ottenere una comprensione più completa e dettagliata della sequenza sismica, considerando insieme gli aspetti spazio-temporali e cinematica. La nostra metodologia si avvale dell'algoritmo HDBSCAN (Hierarchical Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise, CAMPELLO *et al.* 2015; MCINNES *et al.* 2017), un potente strumento di clustering che identifica automaticamente il numero ottimale di cluster, senza necessità di predefinire parametri. Questo approccio lo rende particolarmente utile in contesti dove la densità dei cluster è variabile e sconosciuta. HDBSCAN costruisce una struttura di clustering gerarchica basata sulle distanze di raggiungibilità reciproca tra i punti, permettendo l'identificazione di cluster stabili a diverse soglie di densità. Ciò consente di esplorare in modo più completo le relazioni tra i dati a più scale e di gestire in modo efficiente dati con densità complesse e non uniformi.

Uno dei principali vantaggi di HDBSCAN è la sua capacità di gestire cluster con forme irregolari, anche non convessi, che sono comuni nei set di dati reali, come quelli di sismicità. Questo lo rende particolarmente adatto per l'analisi di eventi sismici, in cui i cluster possono rappresentare segmenti di faglia attivati, caratterizzati da densità variabili e geometrie complesse. Inoltre, HDBSCAN è in grado di distinguere efficacemente i cluster significativi dal rumore, migliorando la robustezza dell'analisi e aumentando l'affidabilità dei risultati. La combinazione di questi vantaggi rende HDBSCAN particolarmente utile per l'analisi di set di dati sismici complessi e per altre applicazioni che richiedono l'identificazione di cluster non uniformi e difficili da definire.

Nonostante i suoi vantaggi ampiamente riconosciuti, HDBSCAN presenta alcuni punti di debolezza. In primo luogo, può essere computazionalmente pesante, soprattutto con grandi set di dati, a causa della costruzione dell'albero di copertura minimo e del calcolo delle distanze di raggiungibilità reciproca. Inoltre, le prestazioni dipendono molto dalla scelta della metrica di distanza: metriche inappropriate possono portare a risultati di clustering non ottimali, non riuscendo a catturare correttamente la struttura dei dati. Infine, pur essendo meno sensibile alla messa a punto dei parametri rispetto ad altri algoritmi, HDBSCAN richiede comunque attenzione nella scelta dei parametri, come "*min_cluster_size*" e "*min_samples*", per ottenere risultati ottimali. Nel nostro lavoro, i parametri principali che sono stati accuratamente impostati sono: "*min_cluster_size*" e "*min_samples*". Il parametro "*min_cluster_size*" definisce il numero minimo di punti necessari per formare un cluster, influenzando direttamente la sensibilità dell'algoritmo al rumore. Valori più elevati tendono a produrre cluster più grandi e stabili, mentre valori più bassi consentono il rilevamento di strutture più piccole e dettagliate, ma possono aumentare la sensibilità al rumore. Il parametro *min_samples* determina il livello di densità richiesto per considerare un punto come *core point*,

influenzando il calcolo della distanza di raggiungibilità e quindi la struttura gerarchica dei cluster. In HDBSCAN, *min_samples* agisce anche come un criterio di robustezza locale: valori più alti rendono l'algoritmo più conservativo, facilitando l'identificazione di punti anomali (*noise*) e la separazione tra cluster adiacenti.

Oltre ai parametri *min_cluster_size* e *min_samples*, nel nostro metodo sono stati considerati anche la metrica di distanza e il metodo di selezione dei cluster, che rivestono un ruolo fondamentale per ottimizzare i risultati di clustering in HDBSCAN. La metrica di distanza definisce come vengono valutate le relazioni tra i punti nel set di dati, e la scelta della metrica giusta è essenziale per una corretta definizione dei cluster. Nel nostro metodo, abbiamo utilizzato la metrica euclidea, in quanto si è rivelata particolarmente semplice e adatta per catturare le relazioni spaziali, temporali e la similarità dei meccanismi focali nei dati sismici. Inoltre, il metodo di selezione dei cluster determina come i gruppi vengono individuati all'interno dell'albero condensato (*condensed tree*), influenzandone sia la granularità sia la stabilità. In questo studio è stato adottato il criterio *Excess of Mass*, che privilegia i cluster più densi, migliorando la robustezza dell'analisi e garantendo una maggiore affidabilità nell'identificazione dei gruppi significativi (CAMPELLO *et al.*, 2015; MCINNES *et al.*, 2017).

Il grafico ad albero condensato (*condensed tree*) rappresenta visivamente la gerarchia dei cluster rilevati dall'algoritmo HDBSCAN, mostrando come i gruppi si formino e si evolvano a differenti soglie di densità. Ogni ramo dell'albero corrisponde a un potenziale cluster, mentre l'altezza indica il valore di *lambda* (l'inverso della densità). L'analisi di questa struttura consente di selezionare i cluster più stabili e persistenti.

4.1 Clustering spaziale degli ipocentri: metodologia per l'identificazione di segmenti di faglia attivi

La fase iniziale del nostro approccio metodologico ha previsto un'analisi di clustering spaziale basata sulle coordinate ipocentrali dei terremoti, con l'obiettivo di identificare segmenti di faglia attivi. Questa scelta ha permesso di individuare regioni con elevata concentrazione di ipocentri, interpretabili come probabili strutture sismogenetiche.

Abbiamo utilizzato la distanza euclidea come metrica, per la sua efficacia nel rappresentare direttamente la separazione spaziale tra eventi sismici. Per garantire coerenza nelle tre dimensioni, le coordinate geografiche (latitudine, longitudine e profondità) sono state convertite in coordinate metriche UTM, rendendo possibile il calcolo accurato delle distanze in uno spazio tridimensionale uniforme. Queste coordinate UTM sono state poi usate come input per l'algoritmo di clustering.

L'uso delle coordinate ipocentrali, comprensive della profondità, costituisce un elemento distintivo del metodo da noi proposto. A differenza delle coordinate epicentrali, gli ipocentri offrono una visione tridimensionale più realistica della sorgente sismica, aspetto essenziale per delineare correttamente i segmenti di faglia, che spesso presen-

tano inclinazioni e profondità variabili. La flessibilità di HDBSCAN nel cogliere queste variazioni spaziali, unita all'accuratezza delle coordinate ipocentrali, ci ha permesso di ottenere una mappatura dettagliata e affidabile dei segmenti attivi, superando i limiti delle analisi bidimensionali (Fig. 2).

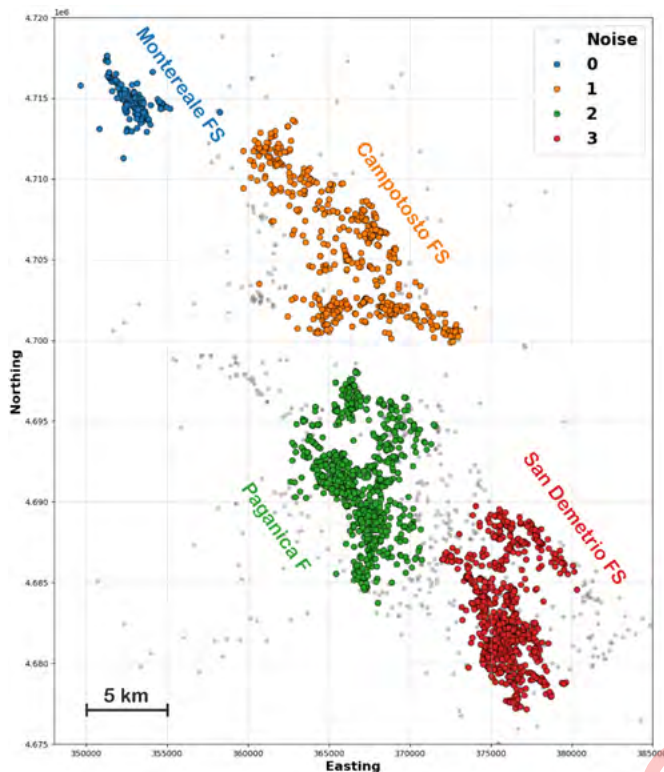


FIGURA 2. Mappa dei quattro cluster identificati dall'algoritmo HDBSCAN con $min_samples=45$ e $min_cluster_size=45$. I cluster sono evidenziati con cerchi di colori distinti: Monteverde FS (blu), Campotosto FS (arancione), Paganica Fault (verde) e San Demetrio FS (rosso). I punti di noise sono visualizzati in grigio, indicando la loro appartenenza a nessun cluster significativo.

4.2 Clustering temporale dei tempi di origine: analisi dei modelli temporali nell'attività sismica

La seconda fase del nostro metodo si è concentrata sull'analisi del clustering temporale, con l'obiettivo di individuare periodi ad alta densità temporale o omogenei nell'attività sismica, sulla base dei tempi di origine dei terremoti.

In questa fase, è stata calcolata una matrice di distanza temporale, costruita calcolando le differenze assolute tra i tempi di origine di tutte le coppie di eventi per quantificare la loro separazione nel tempo. L'algoritmo HDBSCAN (McInnes *et al.*, 2017) lavora direttamente sulla matrice fornita, senza ricalcolare le distanze, e il risultato del clustering riflette esclusivamente le distanze temporali definite a priori.

4.3 Clustering dei meccanismi focali: analisi dei modelli cinematici nei meccanismi di sorgente sismica

La terza fase del nostro approccio ha riguardato l'analisi del clustering dei meccanismi focali, con l'obiettivo di individuare gruppi di terremoti caratterizzati da cinematiche di rottura simili.

Per questa analisi, abbiamo fornito all'algoritmo HDBSCAN una matrice di angoli di Kagan precalcolata. L'angolo di Kagan quantifica la rotazione minima necessaria per allineare due meccanismi focali e costituisce una metrica efficace della loro dissimilarità cinematica: angoli piccoli indicano una maggiore somiglianza tra meccanismi, mentre angoli grandi riflettono una differenza più marcata.

Questa matrice ha quindi rappresentato in modo quantitativo le differenze tra i meccanismi di sorgente delle varie coppie di eventi, consentendo all'algoritmo di rilevare cluster di terremoti accomunati da uno stile di fagliazione coerente.

4.4 Analisi di sensibilità parametrica

È stata condotta un'analisi di sensibilità parametrica modulando i parametri $min_samples$ e $min_cluster_size$, al fine di esplorare la variabilità dei risultati di clustering nei domini spaziale, temporale e dei meccanismi focali. Nel dominio spaziale, questa analisi permette di valutare l'influenza della scala e della densità dei dati sull'identificazione della struttura di faglia, mettendo in evidenza geometrie e distribuzioni di diversa complessità. Nel dominio temporale, consente di rilevare sia burst sismici di breve durata sia modelli di attivazione più prolungati, contribuendo a una migliore comprensione delle dinamiche temporali della sequenza. Per quanto riguarda i meccanismi focali, l'analisi facilita l'individuazione di gruppi di eventi con caratteristiche di rottura simili, distinguendo tra segmenti a comportamento cinematico coerente ma di diversa estensione.

Nel nostro approccio, la selezione dei parametri $min_samples$ e $min_cluster_size$ in HDBSCAN viene attentamente valutata utilizzando un metodo di ricerca a griglia. Questo processo comporta l'esplorazione di diverse combinazioni di valori di parametri all'interno di intervalli predefiniti. Si stabiliscono valori minimi e massimi per $min_cluster_size$ e $min_samples$, e si definisce un passo di campionamento per creare una griglia di coppie di parametri. L'esplorazione sistematica di questi parametri è cruciale per ottimizzare le prestazioni dell'algoritmo, garantendo così l'identificazione di cluster solidi e significativi. Una volta completata questa esplorazione, i risultati del clustering vengono valutati utilizzando diverse caratteristiche statistiche, che permettono una rigorosa valutazione della qualità e della validità dei cluster. Per valutare l'efficacia delle combinazioni di parametri $min_cluster_size$ e $min_samples$ nell'algoritmo HDBSCAN, abbiamo generato sei grafici, ognuno per una metrica di valutazione diversa: l'indice di Calinski-Harabasz, il numero di cluster identificati, il numero di punti classificati come rumore e una metrica finale creata per questa analisi e innovativa per il nostro approccio. Ogni grafico mostra come cambia la metrica con le diverse combinazioni di parametri esplorati.

L'analisi dei grafici permette di capire facilmente come i parametri influenzano il clustering. Ad esempio, l'indice di Calinski-Harabasz valuta la dispersione tra e all'interno dei cluster, favorendo configurazioni che separano bene i cluster e riducono la dispersione interna. Un valore elevato di questo indice indica una buona separazione tra i cluster e

una coesione interna elevata, suggerendo una suddivisione efficace dei dati. I grafici del numero di cluster e punti di rumore sono utili per bilanciare dettaglio e robustezza del clustering. Un numero maggiore di cluster può significare un'analisi più dettagliata, ma potrebbe anche portare a un overfitting, con cluster poco significativi. Al contrario, meno cluster e meno rumore indicano un clustering più robusto e generalizzabile.

L'obiettivo di questo studio parametrico è combinare diversi aspetti del clustering: migliorare la qualità dei cluster identificati, ridurre al minimo i punti di rumore e scegliere un livello di risoluzione ottimale in base al numero di cluster. L'idea è di permettere agli utenti di selezionare la configurazione dei parametri più adatta alle loro esigenze specifiche, a seconda del livello di dettaglio desiderato. Ad esempio, si può dare priorità a un clustering più dettagliato, con più cluster, oppure a uno più robusto, con meno cluster e meno punti di rumore.

L'analisi visiva dei grafici consente di comprendere più facilmente i compromessi tra le diverse metriche di qualità e di selezionare i parametri più adatti per l'analisi. Per supportare questo processo, è stato sviluppato un indice composito, denominato Indice di Qualità del Clustering (IQC), che integra tre aspetti chiave: massimizzazione dell'indice di Calinski-Harabasz, minimizzazione del numero di punti classificati come rumore e identificazione di un numero appropriato di cluster.

Tale indice consente di semplificare la selezione dei parametri ottimali, migliorando l'efficacia dell'analisi di clustering. L'IQC è dato dalla seguente formula:

$$IQC = \alpha \left(\frac{\text{Indice Calinski - Harabasz}}{\text{Max (Indice Calinski - Harabasz)}} \right) + \beta \left(1 - \frac{\text{Numero Punti Rumore}}{\text{Numero Totale Punti}} \right) + \gamma \left(\frac{\text{Numero Cluster Selezionati}}{\text{Numero Massimo Cluster}} \right)$$

dove:

- *Indice di Calinski-Harabasz* è normalizzato rispetto al suo valore massimo;
- *Numero di Punti Rumore* è normalizzato rispetto al numero totale di punti e sottratto da 1, in modo che

un numero inferiore di punti rumore contribuisca a un valore indice più alto;

- *Numero di Cluster Selezionati* rappresenta il numero di cluster che si intende selezionare, normalizzato rispetto al suo valore massimo;
- α , β e γ sono pesi che consentono di regolare l'importanza relativa di ciascuna metrica.

L'Indice di Qualità del Clustering (IQC) è stato progettato per premiare le combinazioni di parametri che massimizzano l'indice di Calinski-Harabasz (indicatore di una buona separazione tra i cluster), minimizzano il numero di punti di rumore e selezionano un numero adeguato di cluster. L'introduzione di questo indice fornisce una panoramica sintetica delle prestazioni del clustering, semplificando il processo di selezione dei parametri ottimali per l'analisi.

In particolare, la scelta dell'indice di Calinski-Harabasz è motivata dalla sua capacità di misurare efficacemente la separazione tra i cluster e la coesione interna. Questo indice favorisce soluzioni che presentano una chiara distinzione tra i gruppi (massima separazione inter-cluster) e una bassa dispersione interna (minima dispersione intra-cluster). Per i dati considerati nel nostro studio, si è dimostrato più efficace rispetto ad altre metriche alternative.

5. APPLICAZIONE DEL METODO DI CLUSTERING AL TERREMOTO DELL'AQUILA DEL 2009

Il metodo sopra descritto è stato utilizzato in questo lavoro per calcolare le dimensioni della sorgente principale del terremoto di Mw 6.1 dell'Aquila del 2009. Abbiamo applicato una ricerca a griglia con HDBSCAN e, facendo riferimento ai grafici dell'IQC, abbiamo selezionato tutte le combinazioni di min_cluster_size e min_samples maggiori di 45 per estrarre i cluster contenenti il terremoto di magnitudo 6.1 (Fig. 3).

Una volta ottenuto questo risultato, abbiamo determinato le dimensioni della struttura tramite l'analisi delle

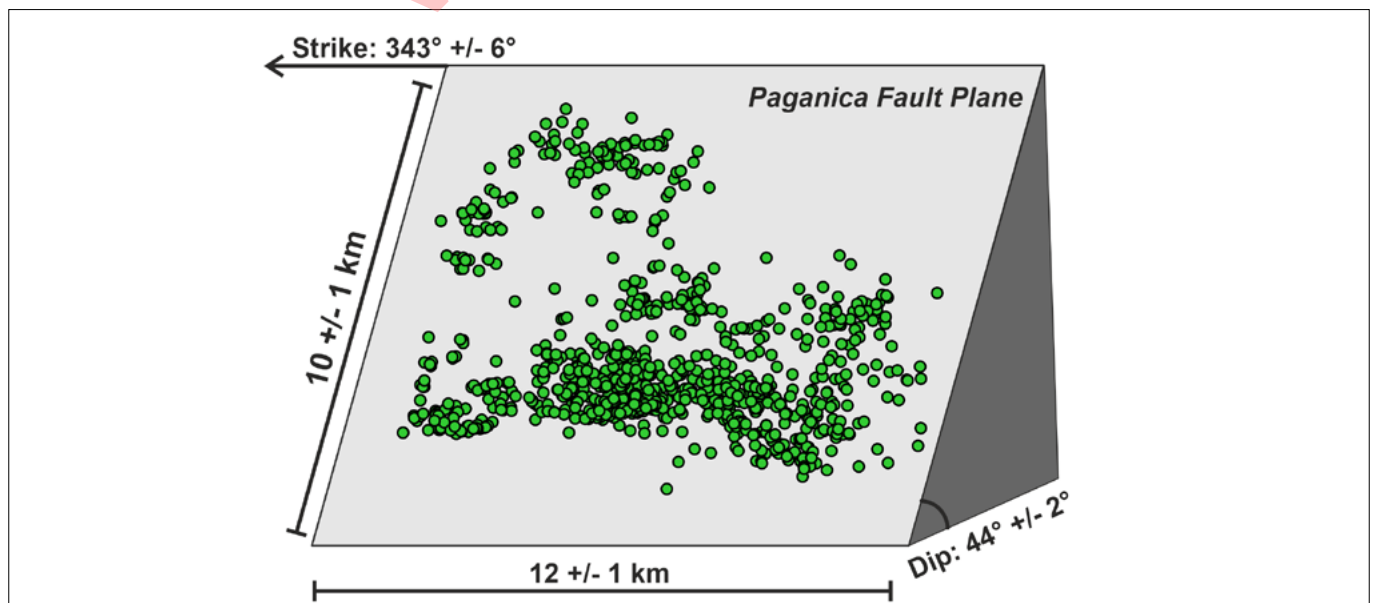


FIGURA 3. Schema della faglia di Paganica, attivata dal terremoto Mw 6.1 de L'Aquila. La figura mostra le dimensioni e l'orientazione della sorgente sismogenetica, così come calcolate in questo studio. In verde sono riportati gli ipocentri appartenenti al cluster 2, Paganica F, in Figura 2.

componenti principali (PCA), basandoci sulla distribuzione spaziale dei terremoti. La PCA, una tecnica che trasforma un insieme di osservazioni di variabili potenzialmente correlate in un nuovo insieme di variabili linearmente non correlate (le componenti principali), ci ha permesso di identificare gli assi principali della distribuzione degli eventi sismici, rivelando l'orientazione e le dimensioni della faglia.

Determinando la direzione di massimo allungamento in un piano orizzontale e l'inclinazione corrispondente in un piano verticale ortogonale, abbiamo calcolato la lunghezza massima della sorgente lungo la direzione di strike e l'estensione massima lungo la direzione del dip. Una volta stabilite le dimensioni lungo entrambe le direzioni, abbiamo stimato l'area di rottura approssimativa della faglia, assumendo che essa sia rappresentabile da un piano rettangolare.

La nostra analisi ha prodotto i seguenti risultati: l'angolo di strike è di 342 ± 5 gradi, l'angolo di dip è di 44 ± 2 gradi. Le dimensioni della sorgente risultano essere di $12 \pm 1,0$ km lungo la direzione di impatto e 10 ± 1 km lungo l'inclinazione. L'area stimata della faglia attivata, assumendo un piano rettangolare, è quindi di 120 km^2 . Questa area rappresenta la dimensione della rottura della faglia associata al terremoto di magnitudo M 6.1 dell'Aquila nel 2009 (Fig. 3).

I nostri risultati indicano che la faglia attivata da terremoto di M 6.1 corrisponde al segmento di Paganica, con una lunghezza di circa 12 km, mentre il segmento di San Demetrio sembra non essere stato coinvolto nella rottura primaria, se non come attivazione post-sismica successiva. Il piano di rottura principale selezionato dalla *cluster analysis* è in buon accordo, sia per estensione che per posizione, con le rotture cosismiche segnalate in letteratura,

suggerendo che l'attivazione del piano di faglia identificato dalle repliche sia stata propagata fino alla superficie, causando i fenomeni di rottura superficiale osservati e mappati dopo l'evento principale. Pertanto, le rotture superficiali cosismiche sono coerenti, sia in posizione che in dimensione, con il piano di faglia determinato tramite il nostro approccio. Infatti, il valore indicato per la lunghezza massima delle rotture superficiali cosismiche è di 13 km (BONCIO *et al.*, 2010; LAVECCHIA *et al.*, 2012).

Il cluster identificato, centrato sull'ipocentro del mainshock e con un'estensione che va da circa 3 km a 10 km di profondità, è in buon accordo anche con le deformazioni osservate tramite immagini satellitari (InSAR). Mostrando una buona corrispondenza con le evidenze fornite da vari autori che hanno definito le dimensioni della faglia di Paganica utilizzando dati e tecniche diverse (WALTERS *et al.*, 2009; ATZORI *et al.*, 2009; FALCUCCI *et al.*, 2010; GORI *et al.*, 2012), le dimensioni calcolate in questo lavoro risultano coerenti e robuste per diverse ragioni, che di seguito elenchiamo.

1. Le dimensioni della faglia di Paganica rimangono coerenti anche variando i valori di *min_samples* e *min_size*, indicando una bassa sensibilità dei parametri derivati da HDBSCAN. Questa stabilità rafforza l'affidabilità della geometria di faglia identificata, riducendo al minimo la possibilità che i risultati siano influenzati dalla selezione arbitraria dei parametri.
2. Anche con valori ridotti di *min_samples* e *min_size*, i risultati mostrano che i cluster associati ai segmenti di Paganica e San Demetrio rimangono nettamente separati, formando due rami distinti nel grafico ad albero. Nel grafico ad albero in Figura 4, la larghezza dei rami indica il numero di punti in ciascun cluster: i rami più larghi corrispondono ai cluster con un numero maggio-

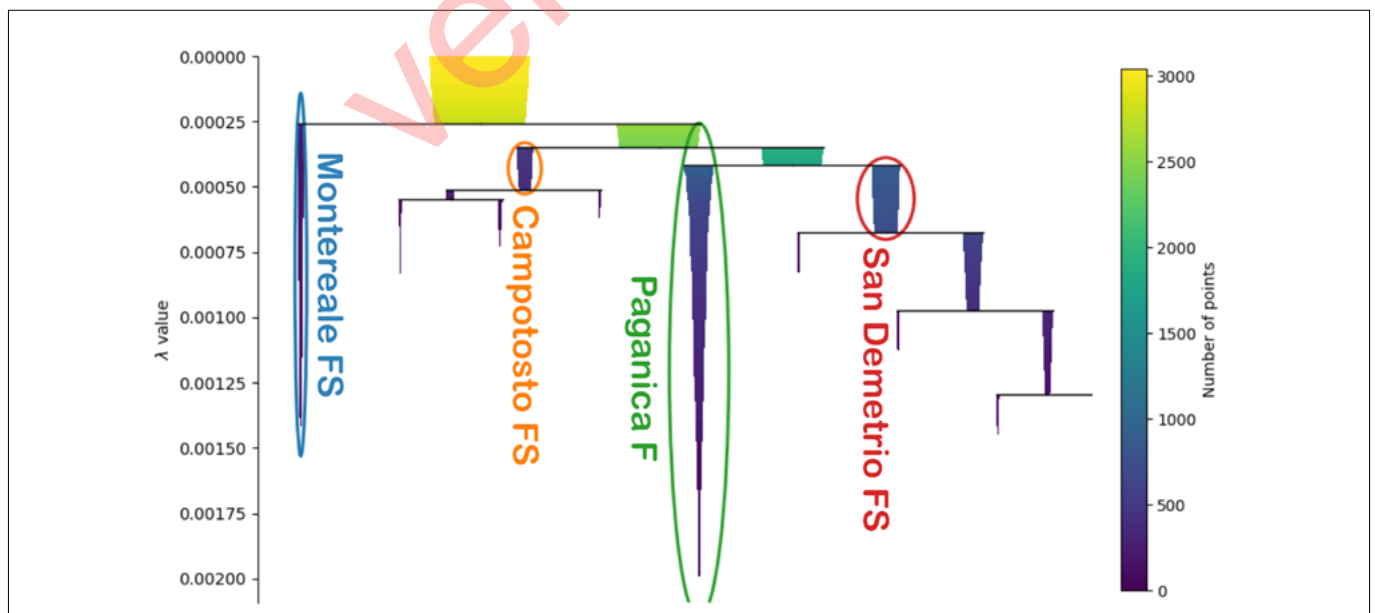


FIGURA 4. Grafico ad albero condensato che mostra la gerarchia dei cluster basata sulla densità dei punti. Le ellissi indicano i cluster finali selezionati in base alla loro densità e stabilità, mentre la scala di colori rappresenta il numero di punti in ciascun cluster. Sono evidenziati quattro cluster principali: Montereale FS (blu), Campotosto FS (arancione), Paganica F (verde) e San Demetrio FS (rosso). I segmenti di Paganica e San Demetrio risultano chiaramente separati anche a bassi valori di lambda, suggerendo differenze significative in termini di densità. In particolare, il cluster di Paganica (verde) appare molto denso e stabile, con un ramo ampio e ben definito che mantiene la propria coesione anche a valori ridotti di lambda, confermandone la netta distinzione rispetto agli altri cluster.

- re di punti, quindi più stabili e densamente popolati, mentre i rami più sottili rappresentano cluster con un numero inferiore di punti, quindi meno stabili. Inoltre, la lunghezza dei rami riflette la distanza tra i cluster: rami più lunghi indicano una separazione maggiore tra i gruppi, mentre rami più corti suggeriscono una separazione ridotta. La scala di colori visualizza il numero di punti, con colori più scuri per i cluster con meno punti e colori più chiari per quelli con più punti. I rami selezionati dall'algoritmo sono evidenziati con delle ellissi, che mostrano i gruppi finali scelti in base alla loro densità e stabilità. Il parametro λ determina la soglia di stabilità: valori più alti separano maggiormente i cluster, mentre valori bassi tendono a unirli, influenzando direttamente la stabilità e la definizione dei gruppi nel clustering. La separazione tra i segmenti di Paganica e San Demetrio suggerisce l'esistenza di due zone di densità distinte, associate a rotture differenti. Questa distinzione è confermata dal fatto che i due cluster si collocano su rami separati anche al variare dei parametri di clustering, indicando una netta separazione spaziale.
3. I nostri risultati sono ben correlati con le relazioni di scala di WELLS & COPPERSMITH (1994) per un terremoto di magnitudo di 6.1, considerando sia le relazioni di faglia normali che quelle generiche e tenendo conto della rottura superficiale o profonda. In particolare, la lunghezza attesa della rottura si colloca tra i 10 e i 15 km. Alcuni autori hanno ipotizzato una rottura più estesa, lunga 20–25 km, che collegherebbe i segmenti di Paganica e San Demetrio. Tuttavia, una simile estensione implicherebbe una magnitudo fino a 6.5, superiore sia alla magnitudo effettivamente misurata che alla lunghezza di rottura cosismica osservata. Questa discrepanza sottolinea quanto sia cruciale definire con precisione la geometria della faglia e l'estensione della rottura per una corretta stima delle dimensioni del piano di faglia coinvolto nel meccanismo sismico di rottura.
 4. L'analisi dei cluster evidenzia l'assenza di continuità laterale tra i segmenti di Paganica e San Demetrio. A sud, la distribuzione dei terremoti indica una rotazione della faglia di San Demetrio verso ovest e la presenza di strutture antitetiche nei primi chilometri, suggerendo una geometria più complessa rispetto a una singola rottura lineare. Anche i meccanismi focali, leggermente differenti tra le due aree, indicano una cinematica potenzialmente distinta per ciascun segmento.

BIBLIOGRAFIA

- ANSARI A., NOORZAD A., ZAFARANI H. (2009). *Clustering analysis of the seismic catalog of Iran*. Comput. Geosci., 35 (2009), pp. 475–486, 10.1016/j.cageo.2008.01.010.
- ATZORI S., HUNSTAD I., CHINI M., SALVI S., TOLOMEI C., BIGNAMI C., BOSCHI E. (2009). *Finite fault inversion of DInSAR coseismic displacement of the 2009 L'Aquila earthquake (central Italy)*. Geophysical Research Letters, 36(15).
- BONCIO P., PIZZI A., BROZZETTI F., POMPOSO G., LA-
VECCHIA G., DI NACCIO D., FERRARINI F. (2010). *Coseismic ground deformation of the 6 April 2009 L'Aquila earthquake (central Italy, Mw 6.3)*. Geophys. Res. Lett., 37, L06308. doi: 10.1029/2010GL042807
- CAMPELLO R.J., MOULAVI D., ZIMEK A., SANDER J. (2015). Hierarchical density estimates for data clustering, visualization, and outlier detection. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD)*, 10(1), 1–51.
- CATTANEO M., AUGLIERA P., SPALLAROSSA D., LANZA V. (1999). *A Waveform Similarity Approach to Investigate Seismicity Patterns*. Natural Hazards 19, 123–138 (1999). <https://doi.org/10.1023/A:1008099705858>.
- CESCA S. (2020). *Seiscloud, a tool for density-based seismicity clustering and visualization*. Journal of Seismology 24, 443–457 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10950-020-09921-8>doi.org/10.1007/s10950-020-09921-8.
- CESCA S., GRIGOLI F., HEIMANN S., DAHM T., KRIEGEROWSKI M., SOBIESIAK M., TASSARA C., OLCAY M. (2016). *The Mw 8.1 2014 Iquique, Chile, seismic sequence: a tale of foreshocks and aftershocks*. Geophysical Journal International, Volume 204, Issue 3, March 2016, Pages 1766–1780, <https://doi.org/10.1093/gji/ggv544>.
- CESCA S., GRIGOLI F., HEIMANN S., GONZÁLEZ Á., BUFORN E., MAGHSOUDI S., BLANCH E.,
CESCA S., ZHANG Y., MOUSLOPOULOU V., WANG R., SAUL J., SAVAGE M., HEIMANN S., KUFNER S.K., ONCKEN O., DAHM T. (2017). *Complex rupture process of the Mw 7.8, 2016, Kaikoura earthquake, New Zealand, and its aftershock sequence*. Earth and Planetary Science Letters Volume 478, 15 November 2017, Pages 110–120.
- CHIARALUCE L., CHIARABBA C., DE GORI P., DI STEFANO R., IMPROTA L., PICCININI D., SCHLAGENHAUF A., TRAVERSA P., VALOROSO L., VOISIN C. (2012). *The 2009 L'Aquila (Central Italy) Seismic Sequence*. Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata, 52 (3) (2012), 10.4430/bgta0019.
- CUSTÓDIO S., LIMA V., VALES D., CESCA S., CARRILHO F. (2016). *Imaging active faulting in a region of distributed deformation from the joint clustering of focal mechanisms and hypocentres: Application to the Azores–western Mediterranean region*. Tectonophysics Volume 676, 26 April 2016, Pages 70–89 <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.03.013>.
- DAHM T. (2014). *The 2013 September–October seismic sequence offshore Spain: a case of seismicity triggered by gas injection?* Geophysical Journal International, Volume 198, Issue 2, August, 2014, Pages 941–953, <https://doi.org/10.1093/gji/ggu172>.
- DEVOTI R., STRAMONDO S., GALADINI F., SALVI S. (2012). *Constraining primary surface rupture length along the Paganica fault (2009 L'Aquila earthquake) with geological and geodetic (DInSAR and GPS) data*. Ital. J. Geosci. (Boll. Soc. Geol. It.), Vol. 131, No. 3 (2012), pp. 359–372, 7 figs. (doi: 10.3301/IJG.2012.21).
- ESTER M., KRIEGER H.P., SANDER J., XU, X. (1996, August). Density-based spatial clustering of applications

- with noise. In Int. Conf. knowledge discovery and data mining (Vol. 240, No. 6).
- FALCUCCI E., GORI S., PERONACE E., FUBELLI F., MORO M., SAROLI M., GIACCIO B., MESSINA P., NASO G., SCARDIA S., SPOSATO A. (2009). *The Paganica Fault and Surface Coseismic Ruptures Caused by the 6 April 2009 Earthquake (L'Aquila, Central Italy)*. Seismological Research Letters, 80 (6), 940-950.
- FROHLICH C. (1987). *Aftershocks and Temporal Clustering of Deep Earthquakes*. Journal of Geophysical Research, 92, 13944-13956. <http://dx.doi.org/10.1029/JB092iB13p13944>.
- GALLI P., GIACCIO B., MESSINA P. (2010). *The 2009 central Italy earthquake seen through 0.5 Myr-long tectonic history of the L'Aquila faults system*. Quaternary Science Reviews, Volume 29, Issues 27-28, December 2010, Pages 3768-3789, <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.08.018>.
- GORI S., FALCUCCI E., ATZORI S., CHINI M., MORO M., SERPELLONI E., FUBELLI G., SAROLI M., HAINZL S., ZOLLER G., KURTHS J., ZSCHAU J. (2000). *Seismic quiescence as an indicator for large earthquakes in a system of self-organized criticality*. Geophys. Res. Lett. 27(5), 597-600, <https://doi.org/10.1029/1999GL011000>.
- JACOB C., SEPAHVAND K., MATSAGAR V.A., MARBURG S. (2013). *Stochastic seismic response of base-isolated buildings*. Int. J. Appl. Mech. 5(1), 1350006. <https://doi.org/10.1142/S1758825113500063> (2013).
- KAGAN Y.Y. (1991). *Seismic moment distribution*. Geophysical Journal International Volume 106, Issue 1 July 1991, Pages 123-134, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1991.tb04606.x>.
- KAGAN Y.Y. & JACKSON D.D. (1994). *Long-term probabilistic forecasting of earthquakes*. Journal of Geophysical Research. 1994;99(B7):13685-13700.
- KAGAN Y.Y. & KNOPOFF L. (1976) *Statistical search for non-random features of the seismicity of strong earthquakes*. Phys. Earth planet. Int., 12, 291-318.
- KONSTANTARAS A.J., KATSIFARAKIS E., MARAVELAKIS E., SKOUNAKIS E., KOKKINOS E., KARAPIDAKIS E. (2012) *Intelligent spatial-clustering of seismicity in the vicinity of the hellenic seismic arc*. Earth Sci. Res., 1 (2012), p. 1, 10.5539/esr.v1n2p1.
- LAVECCHIA G., FERRARINI F., BROZZETTI F., DE NARDIS R., BONCIO P.O., CHIARALUCE L. (2012). *From surface geology to aftershock analysis: Constraints on the geometry of the L'Aquila 2009 seismogenic fault system*. Italian Journal of Geosciences (2012) 131 (3): 330-347. <https://doi.org/10.3301/IJG.2012.24>.
- LIPPIELLO E., GODANO C., DE ARCANGELIS L. (2012). *The earthquake magnitude is influenced by previous seismicity*. Geophysical Research Letters, 39(5), L05309.
- MAURER H. & DEICHMANN N. (1995). *Microearthquake cluster detection based on waveform similarities, with an application to the western Swiss Alps*. Geophysical Journal International, Volume 123, Issue 2, November 1995, Pages 588-600, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1995.tb06873.x>.
- MCINNES L., HEALY J., ASTELS S. (2017). *HDBSCAN: Hierarchical density based clustering*. J. Open Source Softw., 2(11), 205.
- MORIYA H., NIITSUMA H., BARIA R. (2003). *Multiplet-Clustering Analysis Reveals Structural Details within the Seismic Cloud at the Soultz Geothermal Field, France*. Bulletin of the Seismological Society of America (2003) 93 (4): 1606-1620. <https://doi.org/10.1785/0120020072>.
- OUILLOON G. & SORNETTE D. (2011). *Segmentation of fault networks determined from spatial clustering of earthquakes*. J. Geophys. Res., 116 (2011), 10.1029/2010jb007752.
- REASENBERG P. (1985). *Second-order moment of central California seismicity, 1969-1982*. J Geophys Res 90(B7):5479-5495.
- SCHAEFER A.M., DANIELL J.E., WENZEL F. (2017). *The smart cluster method: Adaptive earthquake cluster identification and analysis in strong seismic regions*. Journal of seismology, 21 (4), 965-985. <https://doi.org/10.1007/s10950-017-9646-4>.
- SCHOENBALL M. & ELLSWORTH W.L. (2017). *A systematic assessment of the spatiotemporal evolution of fault activation through induced seismicity in Oklahoma and Southern Kansas*. J. Geophys. Res.: Solid Earth 122, 10,189 (2017).
- SORNETTE D., WERNER M.J. (2005). *Apparent clustering and apparent background earthquakes biased by undetected seismicity*. J. geophys. Res., 110, B09303, <https://doi.org/10.1029/2005JB003621>.
- UCHIDA N. & BÜRGEMANN R. (2019). *Repeating Earthquakes*. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Vol. 47:305-332 (Volume publication date May 2019), <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-053018-060119>.
- WALTERS R.J., ELLIOTT J.R., D'AGOSTINO N., ENGLAND P.C., HUNSTAD I., JACKSON J.A., ROBERTS G. (2009). *The 2009 L'Aquila earthquake (central Italy): A source mechanism and implications for seismic hazard*. Geophysical Research Letters, 36(17).
- WANG F., WAN Y., CAO H., JIN Z., REN Q. (2012). *Application of fuzzy clustering method to determining sub-fault planes of earthquake from aftershocks sequence*. Earthquake Science, 25(2), 187-196.
- WEHLING-BENATELLI S., BECKER D., BISCHOFF M., FRIEDERICH W., MEIER T. (2013). *Indications for different types of brittle failure due to active coal mining using waveform similarities of induced seismic events*. Solid Earth, Articles, Volume 4, issue 2 SE, 4, 405-422, 2013, <https://doi.org/10.5194/se-4-405-2013>.
- YOON C.E., O'REILLY O., BERGEN K.J., BEROZA G.C. (2015). *Earthquake detection through computationally efficient similarity search*. Science Advances 4 Dec 2015 Vol 1, Issue 11 DOI: 10.1126/sciadv.1501057.
- ZALIAPIN I & BEN ZION Y (2013) *Earthquake clusters in southern California I: identification and stability*. J Geophys Res 118(6): 2847-2864. <https://doi.org/10.1002/jgrb.50178>.

Geologia ambientale: geoarcheologia e paesaggi archeologici in Abruzzo

Environmental geology: geoarcheology and archaeological landscapes in Abruzzo

SILVANO AGOSTINI

CAAM (Centro di Ateneo di Archeometria Archeomatica e Microanalisi) Università G. D'Annunzio Chieti-Pescara
SIGEA APS (Sezione Abruzzo)

E-mail: silaggeo@libero.it

EUGENIO DI VALERIO

CAAM (Centro di Ateneo di Archeometria Archeomatica e Microanalisi) Università G. D'Annunzio Chieti-Pescara

E-mail: [mettere mail?](#)

Parole chiave: geoarcheologia, paesaggi archeologici, Abruzzo

Key words: geoarchaeology, archaeological landscapes, Abruzzo

La geologia dell'Abruzzo si caratterizza per una elevata geodiversità (AGOSTINI, DE FLAVIIS E ROSSI, 2005) derivata dalla variabilità delle successioni litostratigrafiche carbonatiche e silicoclastiche, dalla presenza dei rilievi più elevati della catena appenninica centro meridionale, di complesse valli fluviali ed estesi bacini sede durante il Quaternario, e per il Fucino fino in età storica (AGOSTINI & BURRI, 2001), di laghi e alte paludi. All'articolazione dei contesti e dei paesaggi geologici corrispondono sin dalla più antica preistoria, altrettanti articolati modelli insediamentali (AGOSTINI, 1996, 2010, 2015, 2016; COLECCHIA & AGOSTINI, 2014). Stante la configurazione geomorfologica dell'Abruzzo che giustappone unità di paesaggio della montagna, delle colline e costiere, il clima e le sue variazioni hanno fortemente condizionato e influito nel tempo sui modelli insediamentali e su quelli relativi produttivi (AGOSTINI & ROSSI, 2003). Il rapporto tra paesaggi archeologici e geologia ambientale per l'Abruzzo offre diversi temi di lettura: i terremoti, le frane, l'evoluzione tettonica, il clima ed anche lo stesso *man's impact*. Per i terremoti si porta ad esempio il contributo dato alla conoscenza della paleosismicità dallo studio delle concrezioni stalagmitiche deviate e troncate o in rapporto con diverse tipologie di crollo, eseguito nella Grotta del Cervo (AGOSTINI, 2015; AGOSTINI, FORTI E POSTPISCHL, 1994; AGOSTINI E ROSSI, 1986; POSTPISCHL *et al.*, 1991). Questa cavità carsica è la più articolata ed affascinante grotta carsica dei Monti Carseolani. Come evidenzia la Figura 1 diverse sono le fasi sismiche (forti terremoti) individuate in relazione all'evoluzione della grotta e dei suoi depositi chimici e fisici.

La cronologia evidenzia eventi di crollo e di troncatura delle concrezioni datati a vari momenti del Pleistocene medio, ma anche l'evento del 5 dicembre 1456, evidenziando come quest'area dell'Appennino abruzzese, che nel catalogo sismico storico risulta "silente", necessiti comunque di attenzione. All'evento del 1456 è riconducibile anche la

frana che ha ostruito l'ingresso della cavità determinando nuove condizioni ambientali (assenza di penetrazione della luce nei primi 200 metri della grotta) evidenziate dal colore delle concrezioni. La grotta oltre a conservare un interessante associazione faunistica del Pleistocene medio finale rappresentata da *Ursus spelaeus*, *Lynx sp.*, *Panthera leo spelaea*, *Cervus elaphus* (AGOSTINI *et al.*, 2005) è stata luogo di culto alla fine del IV inizio V sec. d.C. Sono state rinvenute infatti 18 monete adagiate in più vaschette poste poco dopo l'ingresso: una forma di offerta e di attardamento di un cul-

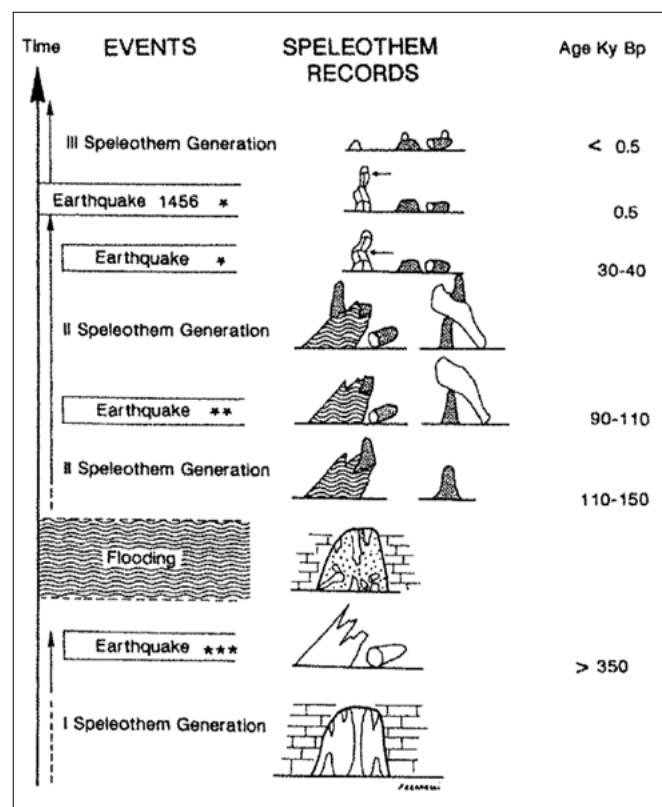


FIGURA 1. Evoluzione temporale delle fasi di concrezionamento e dei terremoti (da Postpischl *et al.* 1991).

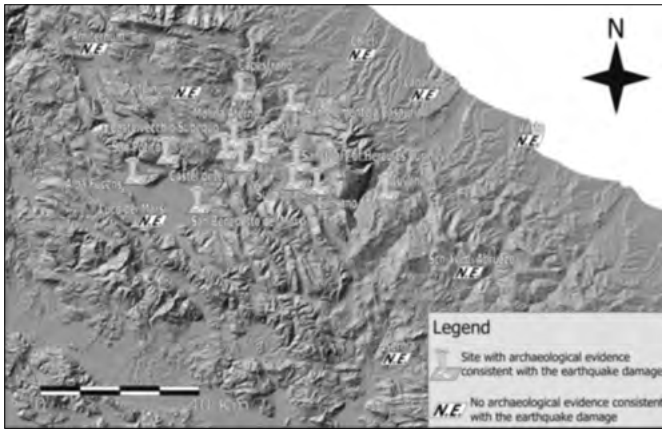


FIGURA 2. Aree archeologiche con evidenze di danni determinati dal terremoto del II sec. d.C. (da Ceccaroni *et al.* 2009).

to pagano (AGOSTINI & GIZZI, 1994). Per quell'aspetto particolare della sismologia rappresentato dall'archeologia sismica, molti siti archeologici dell'Abruzzo hanno registrato danni (AGOSTINI & STOPPA, 2014); in questo campo di ricerca particolare significato assumono gli studi svolti in relazione ad un evento datato alla seconda metà del II sec. d.C. (CECCARONI *et al.*, 2009; GALADINI *et al.*, 2012) (Fig. 2).

Questo terremoto avvenuto nell'Italia centrale è anche conosciuto e attestato da un'epigrafe che riferisce il restauro di una pesa danneggiata presso l'antico *Pagus Interpromium*. Il terremoto o fase sismica, evidenzia l'impatto sociale che i forti terremoti ripetutamente hanno avuto, e tuttora hanno in Abruzzo. Molto importanti per l'Abruzzo sono gli effetti cosismici indotti dai terremoti, tra questi le grandi frane di crollo come i *rock avalanche*. In particolare, tra quelli che hanno interessato la Maiella, il più recente è quello avvenuto sul versante orientale della montagna presso Lettopalena che ha mobilitato 28 milioni di m³ (BIANCHI FASANI, 2003; BIANCHI FASANI *et al.*, 2014; SCARASCIA MUGNOZZA, 2006) (Fig. 3).

Un legno lavorato (pertinente probabilmente ad una capanna) rinvenuto sotto l'accumulo di frana tramite il ¹⁴C ha restituito una datazione 2σ età calibrata di 5445–5300 anni. (DI DOMENICA & PIZZI, 2017). I movimenti franosi in Abruzzo hanno interessato e interessano tutte le unità di paesaggio, con frane di crollo in quelle montane, di scivolamento o miste in quelle collinari e costiere.



FIGURA 3. L'accumulo della rock avalanche di Lettopalena.

Già Plinio il Vecchio menziona (*Plinii Naturalis Historia*, edizione 1984) un evento franoso avvenuto a Teate, l'attuale Chieti, nell'ultimo anno del principato di Nerone (68 d.C.). Chieti è una città che poco o nulla ha imparato nella pianificazione del suo sviluppo urbano, soprattutto a partire dagli anni '50 del secolo scorso, dalla saggezza e l'attenzione che è stata posta al contesto idrogeomorfologico nello sviluppo dell'antica città romana (AGOSTINI & CAMPANELLI, 1994). In età romana, infatti, è stato saggiamente declinato il rapporto tra l'edificato, le strutture di drenaggio e i terrazzamenti assecondando i caratteri geologici e idrogeologici della collina (AGOSTINI, 2018, 2022). In particolare, il territorio meridionale della regione Abruzzo è caratterizzato da estesi affioramenti calcareo marnoso argillosi delle formazioni del bacino Molisano. Questi terreni sono pertinenti ad una falda alloctona, ed hanno caratteristiche e assetto morfostrutturale che determinano quale "normalità" un'evoluzione morfologica determinata da processi erosivi estesi, ma soprattutto da movimenti gravitativi anche su versanti con bassa energia di rilievo e deboli pendenze. In questo contesto si colloca quanto emerso dallo scavo archeologico del santuario in località il Monte (DI VALERIO, 2018, 2022, 2023a, 2023b) nell'alta valle del Trigno tra i comuni di San Giovanni Lipioni (CH) e Celenza (CH). Quest'area sacra, con fasi di utilizzo tra il IV a.C. e il I sec. d.C. è ubicata sulla Formazione Tufillo pertinente la falda alloctona del Bacino Molisano, e caratterizzata da alternanze di calcari, marne, limi calcarei e litoareniti. Nell'area del santuario in particolare affiorano peliti e marne, con giacitura a frana poggio e pendenze talora inferiori, talora superiori, a quella del pendio.

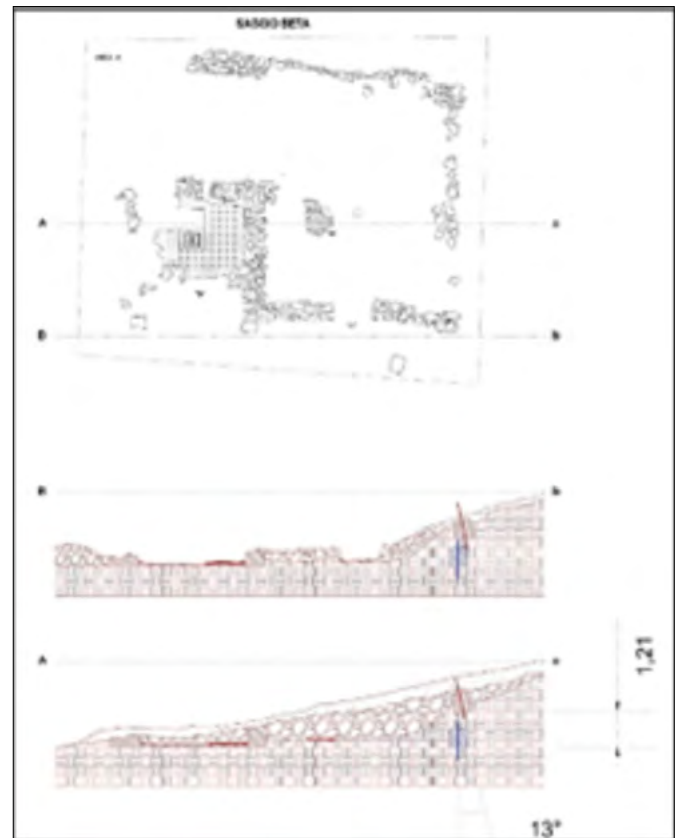


FIGURA 4. Planimetria e sezioni delle geometrie di crollo delle strutture.

Le strutture archeologiche testimoniano danneggiamenti determinati da un movimento gravitativo nel I sec. d.C. che determinò l'abbandono definitivo dell'area (Fig. 4).

Qualora l'evento franoso fosse cosismico sono due i terremoti noti ipotizzabili, verificatisi negli anni tra I e II sec. d.C. (GUIDOBONI, 1989; GUIDOBONI *et al.*, 1994). A seguito di questo evento il luogo sacro venne progressivamente dimenticato e l'area riutilizzata per un uso agricolo-pastorale che si è mantenuto fino al 2012, quando è stato costruito un impianto eolico. In analogia con altri contesti geoarcheologici, simili la risposta delle società antiche di fronte ad eventi come le frane è sempre stata quella dell'abbandono definitivo dell'area; viceversa, in caso di eventi sismici la risposta è sempre stata la ricostruzione degli edificati, spesso con l'adozione di soluzioni tecnico-costruttive finalizzate al recupero di strutture danneggiate alla ricostruzione con espedienti "antisismici" *ante litteram*. Oltre al caso del santuario in località il Monte, altri abbandoni a seguito di frana, si riscontrano nel santuario di Feronia in località Poggio Ragone di Loreto Aprutino (PE) (SANZI DI MINO & STAFFA 1997, STAFFA, 1998) (Fig. 5), per il santuario in località Macchia Porcara di Casalbore (JOHANNOWSKY, 1991) e quello posto in località Colle della Torre a Schiavi d'Abruzzo (CH) (LAPENNA, 1997; LAPENNA, 2006).



FIGURA 5. Il santuario di Poggio Ragone (da Sanzi Di Mino and Staffa 1997).

In quest'ultimo, già danneggiato, le ceramiche di epoca medievale attestano la frequentazione fino al XIV secolo quando un'altra o la ripresa della stessa frana determina il definitivo abbandono. Anche l'area costiera, soprattutto quella meridionale, in relazione al discreto tasso di sollevamento attivo per tutto il Pleistocene superiore, mostra gli effetti combinati sulla falesia costiera dall'alta energia di rilievo e l'arretramento dei versanti determinati da ripetute frane di crollo indotte dall'erosione marina. Un esempio significativo è rappresentato dalla falesia di Punta Aderci (Vasto), un'area naturale marina e costiera tutelata dall'omonima Riserva Regionale. Qui sulla parete della falesia in arretramento, dove è stato di recente restaurato un tipico trabocco, sono ben visibili tombe a fossa troncate datate alla media età del bronzo, fosse profonde qualche metro rispetto all'attuale piano di campagna. Analogamente e non

distante dalle tombe, sono stati scavati i fondi di due capanne analogamente datate alla media età del bronzo, mentre alla foce di una modesta incisione fluviale, l'erosione ha messo in luce sulla sinistra idrografica della vallecchia, una stratigrafia molto interessante con alla base un paleosuolo bruno alla cui sommità si rinvenivano reperti ceramici della media età del bronzo. Al paleosuolo si sovrappongono con più livelli colluvi di versante intagliati al tetto da un'ampia fossa antropica con ossa umane pertinenti a scheletri, oggi scomposti, di individui deceduti a seguito della grossa epidemia di peste avvenuta nel 1817 (Fig. 6).



FIGURA 6. La fossa comune degli appestati del 1817 di Punta Aderci (Vasto). (Foto da Vastoweb.com).

Nell'insieme un contesto geoarcheologico particolarmente significativo. Analogamente la morfostruttura, una falesia arretrata, su cui sorge l'abitato di Vasto è stata interessata da importanti grandi frane e da erosione marina. Qui la successione litostratigrafica presenta alla base argille a cui si sovrappongono sabbie, arenarie e conglomerati, una successione datata al Pliocene superiore-Pleistocene. L'energia di rilievo e l'instabilità idrogeomorfologica che interessa le argille, riconducibile a una deformazione DGPV (deformazione gravitativa profonda di versante), ha determinato complesse e articolate frane di scivolamento contestualmente a fratture per taglio e frane di crollo del soprastante blocco sabbioso arenaceo. Questi movimenti hanno coinvolto già nel Pleistocene medio finale (TADDEI & TRIZZINO, 2020) e successivamente in vari momenti storici, le strutture del soprastante abitato nel suo settore che guarda verso mare.

Dati geoarcheologici hanno evidenziato che in età romana l'antica Histonium fu soggetta ad un importante evento franoso come evidenziano i resti archeologici di strutture crollate e i molti reperti rinvenuti fino a mare. Gli eventi più recenti datano invece al 1831, e poi al 1816, 1831, 1843, 1844, 1845, 1847, 1941, 1946, e da ultimo al 1956. Questi eventi franosi distruttivi sono stati descritti in molti documenti e atti locali. Il movimento franoso più recente del 1956 (Fig. 7) fu documentato da un filmato

della Settimana Incom conservato presso l'Archivio Storico Luce, e disponibile sul sito YouTube.

Il tema delle variazioni climatiche in relazione ai rapporti con gli insediamenti umani trova testimonianze importanti a partire da oltre 600.000 anni fa presso il sito preistorico di Valle Giumentina nel settore settentrionale della Maiella. Nel 1955 A. Radmilli e J. Demangeot scavarono e descrissero una successione stratigrafica che attesta ripetuti livelli del Paleolitico inferiore e medio, nell'ambito dell'unità di sedimenti pertinenti un ambiente palustre, in cui si alternano in relazione alle variazioni climatiche, paleosuoli e depositi periglaciali. Recentemente l'École Francoise di Roma, sotto la direzione di E. Nicoud, ha effettuato nuove ricerche interdisciplinari e scavi i cui risultati sono stati riassunti in diverse pubblicazioni (AGOSTINI & NICOUD, 2016, BRANDANO *et al.*, 2019, NICOUD *et al.*, 2015, 2022a, 2022b; VILLA *et al.*, 2016a, 2016b). Queste ricerche aggiornano e definiscono i rapporti tra il più antico popolamento umano della Maiella e la storia del clima, per un particolare momento del Quaternario dove fasi fredde si alternano a quelle calde. In età storica e moderna anche le variazioni del clima neo-oloceniche hanno fortemente condizionato le dinamiche degli insediamenti, soprattutto nei contesti che sono propri del paesaggio montano. Quest'ultimi, infatti, hanno subito nel tempo notevoli trasformazioni determinate dall'esigenza di disporre di più ampie aree per il pascolo, sia per la nota transumanza estiva, sia per quella verticale legata all'economia agropastorale (nota anche come morra). Insieme alle

aree per il pascolo, erano ricavati con fatica pezzi di terra da coltivare, attività di sopravvivenza che hanno disegnato il paesaggio agrario montano attraverso lo spietramento, i terrazzamenti, la costruzione di muretti a secco e di ricoveri stagionali, le capanne in pietra a secco, impropriamente chiamate *tholos* (COLECCHIA & AGOSTINI, 2014, MICATI, 1992, 2000, 2002, 2003, 2023). Gran parte dei paesaggi degli altopiani montani hanno visto nel tempo cambiare le loro caratteristiche ambientali ed i caratteri delle architetture in essi costruiti, cambiamenti da porre in relazione alla geografia politica, alla natura dei possidenti delle terre e di quella degli armenti, e non da ultimo anche delle caratteristiche climatiche del tempo. In questo quadro rientrano gli abbandoni e lo spopolamento degli abitati nelle terre alte che dal Settecento in poi (in piena piccola età glaciale) hanno contestualmente determinato il crescendo fenomeno dell'emigrazione, prima stagionale, e poi definitiva. Si è già fatto riferimento al sollevamento che caratterizza l'evoluzione neotettonica delle strutture geologiche dell'Abruzzo nel Quaternario, strutture pertinenti sia la catena appenninica, sia il settore sub appenninico collinare e costiero. In questo quadro particolare significato assumono le grotte carsiche poste su tre livelli nelle gole del fiume Orta. I sedimenti di queste cavità delineano l'evoluzione dell'area e delle gole, la cui incisione ha inizio nel Pleistocene superiore (AGOSTINI & ROSSI 1988) (Fig. 8).

La morfologia delle grotte evidenzia forme vadose originarie e successive fasi freatiche. Le cavità sono state oggetto di frequentazione umana dal Neolitico, per proseguire



FOTORITOCO DALL'ORIGINALE

FIGURA 7. La grande frana di Vasto del 1956 (da Archivio storico Comune di Vasto).

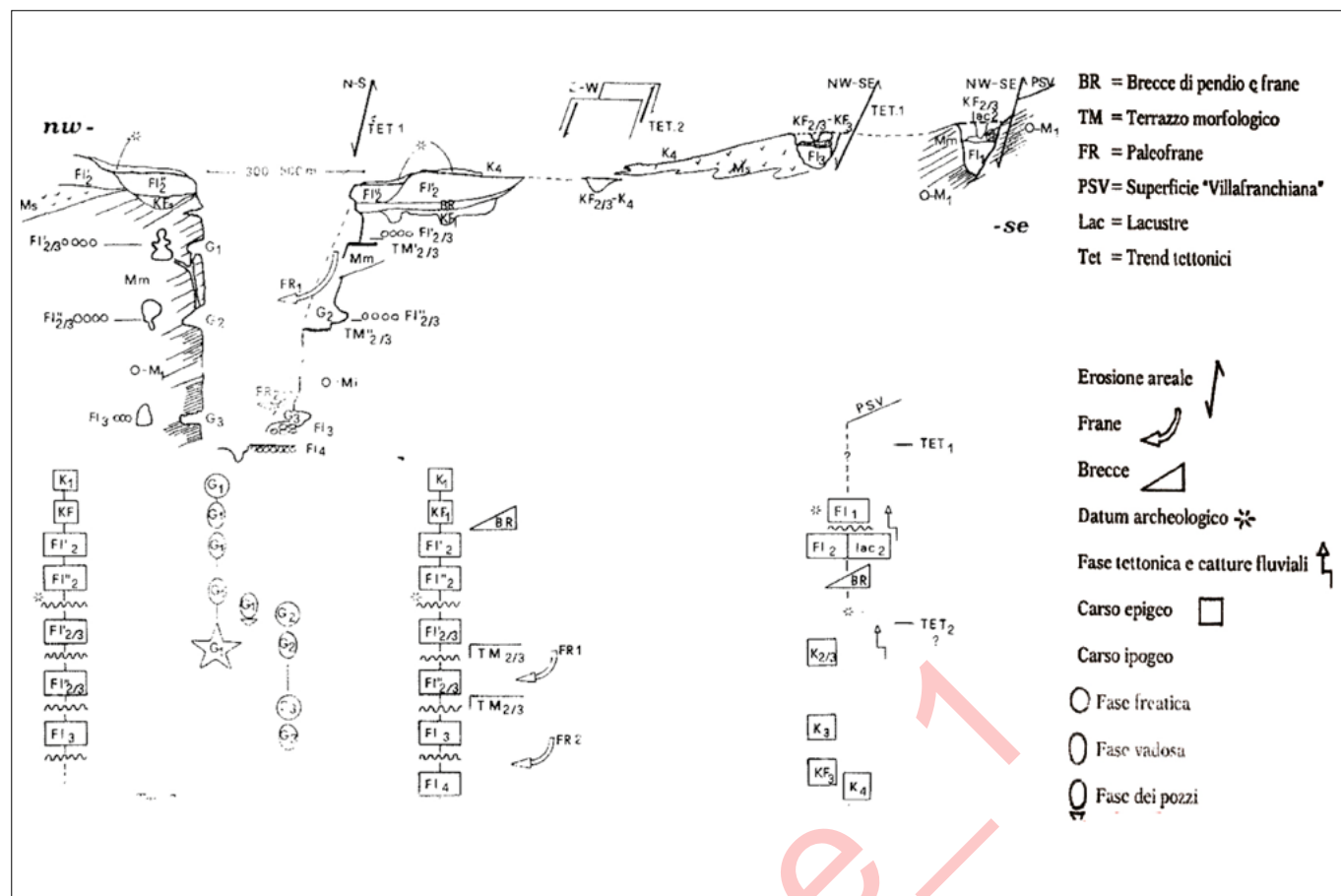


FIGURA 8. Evoluzione delle gole dell'Orta e del versante settentrionale della Maiella (area di Valle Giumentina dalla fine del Pleistocene medio (circa 125.000 anni fa) ad oggi).

nel tempo durante tutta la preistoria, la protostoria, l'età classica e il medioevo. Anche in età storica recente a seguito dell'occupazione tedesca dopo l'8 settembre del 1943, le grotte sono state oggetto di postazioni belliche o di rifugio per gli abitanti dei paesi posti sui versanti opposti delle gole. Anche a Campo delle Piane (Montebello di Bertona) nel settore sub appenninico posto ai piedi del versante orientale del Gran Sasso, i rilevamenti geologici di dettaglio (AA. VV., 2017) eseguiti nell'ambito delle ricerche e dello scavo di un sito *open air* dell'epigravettiano alla sommità di una unità alluvionale del Pleistocene superiore del Torrente Gallero, affluente del Fiume Tavo, hanno evidenziato gli effetti del continuo sollevamento tettonico. L'evoluzione nel Pleistocene superiore e Olocene dei due corsi d'acqua si caratterizza per la deposizione di unità alluvionali e la loro successiva incisione e terrazzamento (Fig. 9).

L'originale sistema fluviale di tipo *braided* mostra valli trasversali progressivamente meno ampie, che alla fine della piccola età glaciale, diverranno sede di incisi alvei mono canale. Questo un processo di evoluzione idrogeomorfologica è comune a tutti i fiumi in Abruzzo con foce nell'Adriatico, un processo che condiziona nel tempo la viabilità, gli attraversamenti fluviali ... e molte problematiche moderne legate alla "cementificazione" del territorio. I paesaggi agrari antichi in Abruzzo hanno una documentazione archeologica corroborata anche da fonti letterarie e da iscrizioni. Si tratta di strutture agrarie misurate, le centuriazioni, e di assetti precedenti alla ripartizione augustea. Paesaggi disegnati sulle estese aree pianeggianti, dei grandi bacini lacustri del

Quaternario e delle ampie valli fluviali che probabilmente costituirono gli assi di riferimento delle regolari divisioni agrarie insieme agli antichi tracciati viari. Queste aree erano come attestano i dati archeologici, giustapposte ai *vicatim*, o anche alle vie della transumanza e/o agli acquedotti. La loro ubicazione coincide con buone condizioni pedologiche e la disponibilità di acqua, allo stesso tempo progressivamente si affermano sui versanti terrazzati, le colture dell'olivo e della vite. La lettura delle prime cartografie IGM al 50.000 e di quelle successive alla scala 1: 25.000, insieme allo studio delle foto aeree riprese dalla RAF o dallo stesso IGM, permettono di individuare il tessuto geometrico delle centurie che talvolta è riorganizzano da una struttura agrimensoria già esistente. Queste geometrie dei campi oggi sono ancora in parte conservate nella suddivisione delle proprietà. Gli esempi migliori caratterizzano le aree attorno ai centri romani di *Alba Fucens*, di *Amiternum* e *Sulmo*. I campi aperti sono invece una persistenza di paesaggio storico agrario di particolare bellezza. Legati soprattutto all'autoconsumo familiare, hanno origine da pratiche comunitarie connesse a servitù medioevali. Impostati su ampie depressioni tettonocarsiche sono i campi tutt'oggi condotti con pratiche tradizionali e la tipica rotazione delle colture di leguminose (lenticchie, cicerchie), di cereali (farro, grano solina, orzo) e di patate. Il continuo abbandono di queste terre mette a rischio, purtroppo, la conservazione di paesaggi agrari montani in rara armonia con l'edificato dei borghi e il contesto geomorfologico (AQUILANO *et al.*, 2016; STAFFA 1988, 1990; TUTERI 2019; VAN WONTERGHEM, 1990).

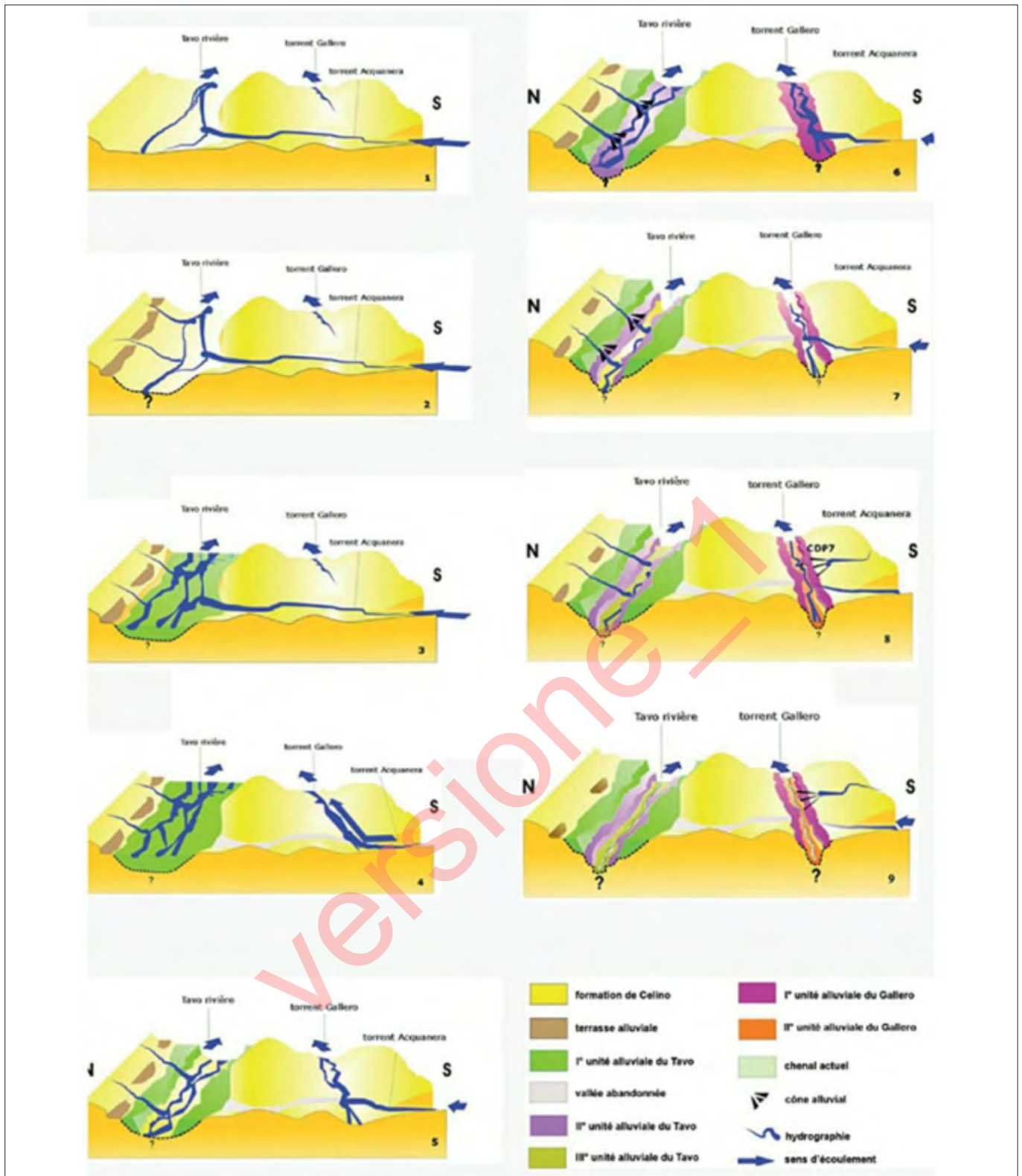


FIGURA 9. L'evoluzione del Fiume Tavo e del Torrente Gallero dal Pleistocene medio all'Olocene. 1) Pleistocene medio (circa 250.000 - 200.000 anni fa); 2) Pleistocene medio (circa 150.000 anni fa); 3) Pleistocene superiore iniziale (circa 120.000 anni fa); 4) Pleistocene superiore (circa 80.000 - 60.000 anni fa); 5) Pleistocene superiore (circa 60.000 - 50.000 anni fa); 6) Pleistocene superiore (circa 50.000 - 25.000 anni fa); 7) Pleistocene superiore (circa 22.000 anni fa); 8) Pleistocene superiore post Last Glacial Maximum (circa 15.000 - 12.000 anni fa); 9) Olocene post *Little Glacial Age*.

BIBLIOGRAFIA

- AGOSTINI S. (1996). *Dall'ambiente naturale al paesaggio archeologico*. DAT (Documenti Archivio Teramano) IV. Teramo.
- AGOSTINI S. (2010). *Paesaggi di geologia, archeologia e storia*, in La Montagna di Celestino. Maiella Madre, pp 12-18. Sulmona.

AGOSTINI S. (2015). *Geologia e Archeologia del paesaggio della diocesi di Penne nel medioevo*. Penne Vol. III e IV. Roma.

AGOSTINI S. (2015). *Le grotte cataloghi paleosismici*. Atti IV Convegno di Archeologia "Il fucino e le aree limitrofe. Archeologia e rinascita culturale dopo il sisma del 1915". Avezano.

- AGOSTINI S. (2016). *La geodiversità del paesaggio collinare e vallivo abruzzese a nord del Fiume Pescara*. Urbanistica Informazioni (269-270).
- AGOSTINI S. (2018). *The stratified growth of the Chieti from roman times to tomorrow: a new, geology-based conscience in city planning and renewal*. Alpine and Mediterranean Quaternary, 31 (2).
- AGOSTINI S. (2022). *Chieti la città stratificata: aspetti del contesto geologico, archeologico, storico e di uno sviluppo moderno non o mal pianificato*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It. 109, Giornate di Geologia & Storia dicembre 2021 - giugno 2022.
- AGOSTINI S. & BURRI E. (2001). *La scomparsa di un Lago*, in "Il tesoro del Lago". L'archeologia del Fucino e la Collezione Torlonia". Pescara.
- AGOSTINI S., CANDELORE M., GIZZI E., ROSSI M.A. (2005). *La Grotta del Cervo, un archivio di storia, un laboratorio naturale*, in Gli Equi tra Abruzzo e Lazio, Sulmona.
- AGOSTINI S. & CAMPANELLI A. (1994). *La rete infrastrutturale di Chieti romana. Nuovi dati sull'urbanistica antica di Teate Marruccinorum*, in Atti II Convegno di Archeologia Subacquea 1989. MBGA Bollettino di Archeologia subacquea, 2. Roma.
- AGOSTINI S., DE FLAVIIS A.G., ROSSI M.A. (2005). *La Regione Abruzzo. Attività di censimento, tutela e valorizzazione*, in Patrimonio Geologico e geodiversità. Esperienze ed attività dal Servizio Geologico d'Italia all'APAT. APAT Vol. 51, pp118-123.
- AGOSTINI S., FORTI P., POSTPISCH D. (1994). *Gli studi sismotettonici e paleosismici effettuati nella Grotta del Cervo di Pietrasecca nel periodo 1987-1991*, in A.A. V.V., *L'area carsica di Pietrasecca (Carsoli - Abruzzo)*. Studio Multidisciplinare, a cura di Ezio Burri. Memorie dell'istituto italiano di Speleologia, 5, serie II.
- AGOSTINI S. & GIZZI E. (1994). *Reperti archeologici della Grotta del Cervo (Abruzzo -Italia Centrale)*. Memorie Ist. It. di Speleologia, 5 s.2, Bologna.
- AGOSTINI S. & NICOUDE E. a cura di (2016). *Livret guide de l'excursion Vallée Giumentina, Abruzzes, Italie Géomorphologie et remplissage des bassins et des vallées del Abruzzes adriatiques en relation avec le néotectonique et le climat*. Association française pour l'étude du Quaternaire – Comité national français de l'International Quaternary Association, l'Ecole française de Rome, CNRS Cepam – Nice.
- AGOSTINI S. & ROSSI M.A. (1986). *Il carsismo dei Monti Carseolani*. Proc. 9th Int. Speleol. Congr., Barcelona, 1.
- AGOSTINI S. & ROSSI M.A. (1988). *I sedimenti carsici e l'evoluzione geologica della Valle dell'Orta (Abruzzo Italia)*. Notiziario Circolo Speleologico Romano n.s. 3. Roma.
- AGOSTINI S. & ROSSI M.A. (2003). *Archeologia del paesaggio in Abruzzo fra il XIV e il V sec a.C.* Atti Seminario Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali "Variazioni climatico ambientali e impatto sull'uomo nell'area circum mediterranea durante l'Olocene", a cura di C. Albore Livadie e F. Ortolani. Collana Territorio storico e ambiente Vol. III. Bari.
- AGOSTINI S. & STOPPA F. (2014). *Il Dio dimora sulla faglia*. Atti Convegno Testo, Contesto ed Evento. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia XCV
- AQUILANO D., FAUSTO FERRI A., LAPENNA S., R. TUTERI (2016). *Esempi di centuriazioni e villae nell'Abruzzo antico*, in «Quaderni di Archeologia d'Abruzzo», 4/2012.
- AA.VV. (2017). *Campo delle Piane. Un habitat de plein air épigravettien dans la Vallée du Gallero (Abruzzes, Italie centrale)*, Sous la direction de Monique Olive, Collection de l'École française de Rome 526, pp 168, Roma.
- BIANCHI-FASANI G., ESPOSITO C., DI LUZIO E., MARTINO S., SAROLI M., CAVINATO G.P., SCARASCIA MUGNOZZA G. (2003). *Il deposito a blocchi di Lettopalena (CH): un ulteriore esempio di accumulo di rock avalanche nell'Appennino centrale*. AIQUA-CNR Atti delle Giornate di studio sul tema: Successioni continentali nell'Appennino centro-meridionale.
- BIANCHI FASANI G., DI LUZIO E., ESPOSITO C., EVANS S.G., SCARASCIA MUGNOZZA G. (2014). *Quaternary, catastrophic rock avalanches in the Central Apennines (Italy): Relationships with inherited tectonic features, gravity-driven deformations and the geodynamic frame*. Geomorphology 211.
- BRANDANO M., TOMASSETTI L., CORNACCHIA I., POMAR L., AGOSTINI S., NICOUDE E., VILLA V. (2019). *Paleocene to Quaternary stratigraphic evolution of Majella Carbonate Platform (Central Apennines); from geological and archeological events to the potential carbonate reservoir*. 34th IAS MEETING OF SEDIMENTOLOGY · 2019, ROME – ITALY, FIELD TRIP B7.
- CECCARONI E., AMERI G., GÓMEZ CAPERA A.A., GALADINI F. (2009). *The 2nd century AD earthquake in central Italy: archaeoseismological data and seismotectonic implications*. Natural Hazards 50.
- COLECCHIA A. AGOSTINI S. (2014). *Economie marginali e paesaggi storici nella Maiella settentrionale (Abruzzo, Italia)*. European Journal of Post Classical Archaeologies 4.
- GALADINI F., AGOSTINI S., CECCARONI E., FALCUCCI E. (2012). *I terremoti nelle stratificazioni archeologiche abruzzesi in Atti Giornate di studio Scienze Naturali e Archeologia. Il paesaggio antico: interazione uomo/ambiente ed eventi catastrofici*. Università degli Studi di Napoli Federico II, SIGEA – ONG, Scienze Naturali e archeologia.
- DI DOMENICA A., PIZZI A. (2017). *Defining a mid-Holocene earthquake through speleoseismological and independent data: implications for the outer Central Apennines (Italy) seismotectonic framework*. Solid Earth, 8.
- MICATI E. (1992). *Pietre d'Abruzzo. L'architettura agropastorale spontanea in pietra a secco*, Pescara.
- DI VALERIO E. (2018). *L'area sacra in località il Monte di San Giovanni Lipioni (CH): un pavimento in cementizio con inserti litici (III sec. a.C.)*, in Atti del XXIII Colloquio AISCOM 2017, Roma.
- DI VALERIO E. (2023a). *Preliminary data from the investigations in the municipality of San Giovanni Lipioni (CH) the archaeological areas of Colle Vernone and Il Monte*, in O. Menozzi, From Safin to Roman, Cultural

- change and hybridization in mid-Adriatic Appennines, RES III, Archeopress, Oxford.
- DI VALERIO E. (2023b). *San Giovanni Lipioni (CH). Indagini archeologiche in località Il Monte*. Quaderni di Archeologia d'Abruzzo, 5.
- DI VALERIO E. (2022). *Dati preliminari dalle indagini nel comune di San Giovanni Lipioni (CH): le aree archeologiche di Colle Vernone e Il Monte*, in *Archeologiae*. Una storia al plurale. Atti del Convegno studi e ricerche in memoria di Sara Santoro, Chieti.
- GUIDOBONI E. (1989). *I terremoti prima del Mille in Italia e nell'area mediterranea*. SGA Storia Geofisica Ambiente. Bologna.
- GUIDOBONI E., COMASTRI A., MARIOTTI D., CIUCCARELLI C., BIANCHI M.G. (2012). *Ancient and Medieval Earthquakes in the Area of L'Aquila (Northwestern Abruzzo, Central Italy), AD 1-1500: A critical revision of the historical and archaeological data*. Bulletin of the Seismological Society of America 102, 4.
- JOHANNOWSKY W. (1991). *Circello, Casalbone e Flumeri nel quadro della romanizzazione dell'Irpinia*, in *La romanisation du Samnium aux II et I siècles av. J.C.*, pubblicazione del Centre Jean Bérard, Napoli.
- LAPENNA S. (1997). *Il santuario italico di Schiavi d'Abruzzo*. I luoghi degli Dei. Sacro e natura nell'Abruzzo italico. Carsa, Pescara.
- LA PENNA S. (2006). *Le aree sacre*, in *Schiavi d'Abruzzo*, Synapsi, Sulmona.
- MICATI E. (2000). *Pietre d'Abruzzo. Guida alle capanne in pietra a secco*, Carsa, Pescara.
- MICATI E. (2002). *Gli insediamenti agro-pastorali sul Gran Sasso*, in *Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga*, Carsa, Pescara.
- MICATI E. (2003). *Il paesaggio agro-pastorale*, in *Parco Nazionale della Majella. La montagna dei lupi dell'orso e dei santi eremiti*, Carsa, Pescara.
- MICATI E. (2023). *Pastori. La cultura pastorale in Abruzzo*. Carsa Edizioni, Pescara.
- NICOUD E., AURELI D., PAGLI M., VILLA V., CHAUSSE C., AGOSTINI S., BAHAIN J.-J., BOSCHIAN G., DEGEAI J.P., FUSCO F., GIACCIO B., HERNANDEZ M., KUZUCUOGLU C., LAHAYE C., LEMORINI C., LIMONDIN-LOZOUET N., MAZZA P., MERCIER N., NOMADE S., PEREIRA A., ROBERT V., ROSSI M.A., VIRMOUX C., ZUPANCICH A. (2015). *Preliminary data from Valle Giumentina Pleistocene site (Abruzzo, Central Italy): a new approach to a Clactonian and Acheulian sequence*, Quaternary International 409.
- NICOUD E., PALMERINI G., VILLA V., AGOSTINI S., BECK L., DESSÌ R.M., GALLET X., LEBON M. (2022a). *Géochronologie en contexte karstique dans la Maiella (Abruzzes, Italie). Prospection à visée géoarchéologique et analyses non invasives de l'art rupestre*. Bulletin archéologique des Écoles françaises à l'étranger.
- NICOUD E., VILLA V., AGOSTINI S., AURELI D., BAHAIN J.J., BOSCHIAN G., CARRÉ A., CHAUSSE C., DAVTIAN G., DEGEAI J.P., FUSCO F., GIACCIO B., GUIBERT-CARDIN J., HERNANDEZ M., KUZUCUOGLU C., LAHAYE C., LEMORINI C., LIMONDIN-LOZOUET N., MAZZA P., MERCIER N., NOMADE S., PAGLI M., PEREIRA A., REGATTIERI E., ROBERT V., ROSSI M.A., STOETZEL E., SORIN-MAZOUNI S., TOMASSO A., VIETTI A., VIRMOUX C., ZUPANCICH A. (2022b). *Etudier les sociétés humaines du Pléistocène moyen au XXI^e siècle : 10 ans de recherches à Valle Giumentina (Abruzzes, Italie)*, Etudier les sociétés humaines du Pléistocène moyen au XXI^e siècle, colloque Q13.
- PLINIO IL VECCHIO (1984). *Storia naturale - Libri I - XXXVII*, Giardini Editore, Pisa.
- POSTPISCHL D., AGOSTINI S., FORTI P., QUINIF Y. (1991). *Palaeoseismicity from karst sediments: the Grotta del Cervo cave case study (Central Italy)*, Tectonophysics, 193.
- SCARASCIA-MUGNOZZA G., BIANCHI-FASANI G., ESPOSITO C., MARTINO S., SAROLI M., DI LUZIO E., EVANS S.G. (2006). *Rock avalanche and mountain slope deformation in a convex dip-slope: the case of the Maiella massif, central Italy*. In: Evans, S.G., Mugnozza, G.S., STROM, A., HERMANN, R.L. (eds), Landslides from Massive Rock Slope Failure. NATO Science Series, vol 49. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4037-5_19
- STAFFA A R. (1988). *La cartografia archeologica: osservazioni metodologiche. Un esempio: Alba Fucens*. Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia, 72-73-74.
- STAFFA A. R. (1990). *Contributo alla ricostruzione dell'assetto antico del territorio di Alba Fucens*. Ricognizioni a Valle Sologara in Atti del Convegno Il Fucino e le aree limitrofe nell'antichità, Avezzano.
- TADDEI D., TRIZZINO (2020). *Le grandi frane della Città del Vasto (CH) - Analisi storica e ricostruzione geologica delle frane nel territorio vastese*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It. 107.
- TUTERI R. (2019). *Silvae, calles, vineae et segetes nei paesaggi antichi d'Abruzzo tra Sabini e Peligni*, in *L'agricoltura in età romana a cura di Simonetta Segenni*, Milano.
- AQUILANO D., FAUSTO-FERRI A., LAPENNA S., TUTERI R. (2016). *Esempi di centuriazioni e villae nell'Abruzzo antico*, in «Quaderni di Archeologia d'Abruzzo», 4/2012.
- VAN WONTERGHEM F. (1990). *Note su alcune divisioni agrarie nell'Italia centrale*, in *Acta Archaeologica Lovaniensia*, 28-29.
- VILLA V. PEREIRA A. CHAUSSE C. NOMADE S. GIACCIO B. LIMONDIN-LOZOUET N. FUSCO F. REGATTIERI E. DEGEAI J.P. ROBERT V. KUZUCUOGLU C. BOSCHIAN G. AGOSTINI S. AURELI D. PAGLI M. BAHAIN J.J. NICOUD E. (2016a). *A MIS 15 – MIS 12 record of environmental changes and Lower Palaeolithic occupation from Valle Giumentina, central Italy*. Quaternary Science Reviews 151.
- VILLA V. VIRMOUX C. CHAUSSE C. DEGEAI J.B. ROBERT V. KUZUCUOGLU C. BOSCHIAN G. AGOSTINI S. AURELI D. PAGLI M. NICOUD E. (2016b). *The long sedimentary succession of the Valle Giumentina basin (Abruzzo, Central Italy): new evidence from stratigraphic studies and electrical resistivity tomography (ERT)*. Alpine and Mediterranean Quaternary, 29 (2).

Studio geologico-ambientale del bacino del T. Raiale (Versante meridionale del Gran Sasso d'Italia, AQ)

Environmental-geologic study of Raiale stream basin (Southern slope of Gran Sasso d'Italia, AQ)

SABRINA BONETTO¹, ANNALISA BOVE², ANDREA FESTA³, GIANDOMENICO FUBELLI⁴, LUCIANO MASCIOTTO⁵, PIERLUIGI PIERUCCINI³, FRANCESCO SEITONE⁴, BATTISTA TABONI¹, GESSICA UMILI⁶

¹Università degli Studi di Torino – Vice Presidente Sezione Piemonte-VdA SIGEA-APS

²Geologo, Libero Professionista – Presidente Sezione Piemonte-VdA SIGEA-APS

³Università degli Studi di Torino

⁴Università degli Studi di Torino – Socio SIGEA-APS

⁵Università degli Studi di Torino – Consigliere Nazionale SIGEA-APS

⁶Università degli Studi di Torino – Segretario Sezione Piemonte-VdA SIGEA-APS

E-mail: sabrina.bonetto@unito.it (S. Bonetto), annalisa.bove@geologiapiemonte.it (A. Bove), andrea.festa@unito.it (A. Festa), giandomenico.fubelli@unito.it (G. Fubelli), luciano.masciotto@unito.it (L. Masciocco), pierluigi.pieruccini@unito.it (P. Pieruccini), battista.taboni@unito.it (B. Taboni), francesco.seitone@unito.it (F. Seitone), gessica.umili@unito.it (G. Umili)

Parole chiave: bacino del T. Raiale, georisorse, pericolosità sismica, pericolosità geo-idrologica

Key words: Raiale stream basin, geo-resources, seismic hazard, geo-hydrological hazard

1. INTRODUZIONE

Il bacino T. Raiale si estende per circa 140 km² interamente in provincia de L'Aquila, drenando il versante meridionale del Gran Sasso d'Italia, il massiccio montuoso più alto degli Appennini e dell'Italia peninsulare. Per circa

metà del suo corso, il T. Raiale scorre parallelamente al massiccio; piega di 90 gradi all'altezza di Assergi e prosegue verso SSW, attraversando gli abitati di Camarda e Paganica; infine confluisce nel Fiume Aterno dopo aver ricevuto in sinistra idrografica le acque del T. Vera (Fig. 1).

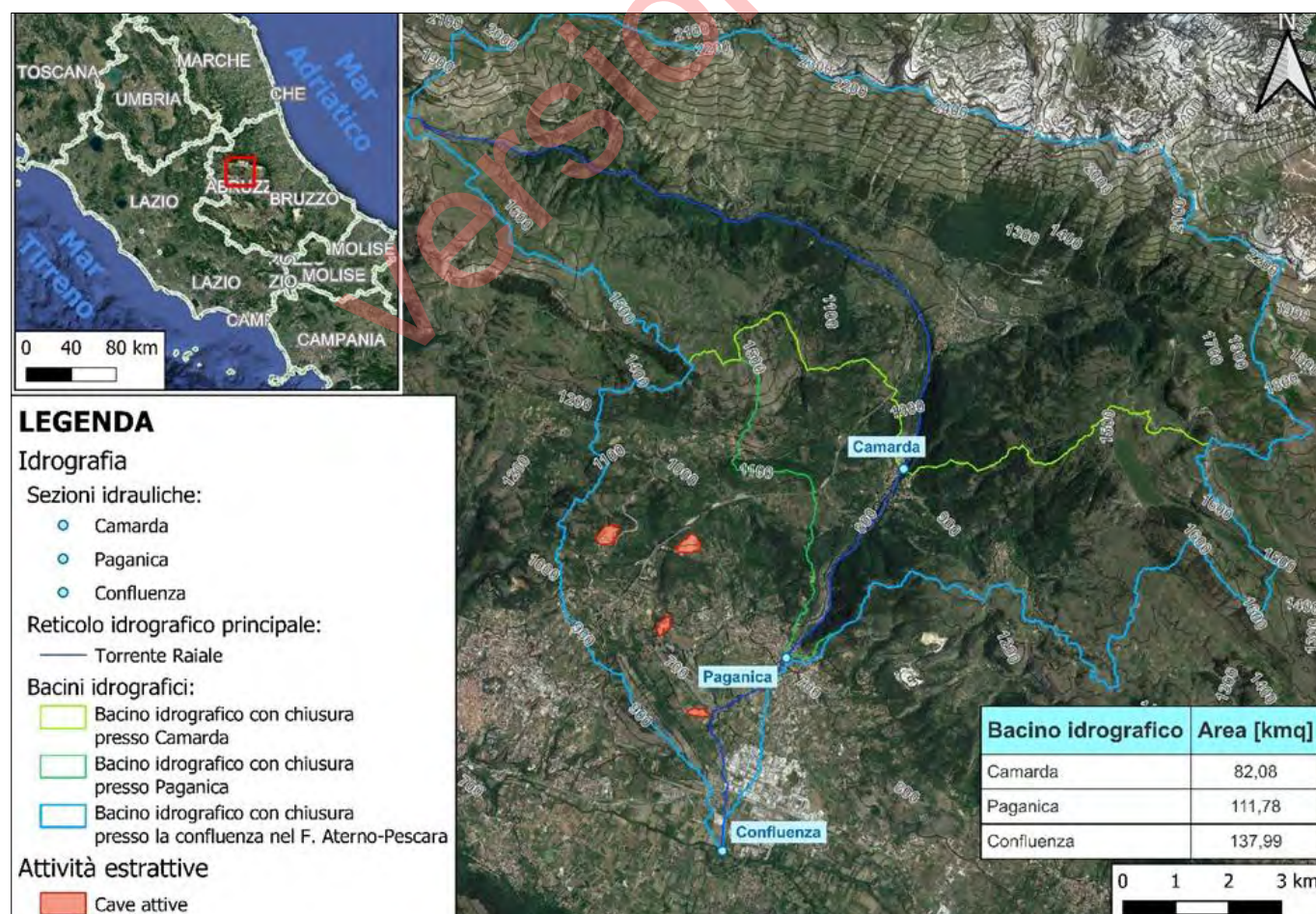


FIGURA 1. Ubicazione del bacino del T. Raiale. Nella figura vengono indicate le cave (cfr. par. 6) e le due sezioni fluviali analizzate (Paganica), con i relativi bacini idrografici sottesi (cfr. par. 7)

Dopo un breve *inquadramento geologico e geomorfologico*, lo studio prende in considerazione alcuni aspetti geologico-ambientali del territorio in esame, quali l'interazione delle *georisorse*, della *pericolosità sismica* e della *pericolosità geo-idrologica* con l'uomo e quindi, rispettivamente, l'*attività estrattiva*, il *rischio sismico* e il *rischio geo-idrologico*.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il Gran Sasso d'Italia rappresenta un settore della catena a pieghe e sovrascorrimenti dell'Appennino centrale (Fig. 2), in corrispondenza del quale avviene la sovrapposizione tettonica, con vergenza settentrionale, delle Unità di transizione piattaforma – bacino del Gran Sasso sulle Unità di Bacino Marchigiano (GHISETTI & VEZZANI, 1986).

La successione stratigrafica di tale settore fu interamente deposta su crosta di tipo continentale di pertinenza della Microplacca Adria, frammento disarticolato della Placca Africana e rappresenta il risultato dell'evoluzione tettono-stratigrafica compresa tra il Triassico superiore e il Pliocene (VEZZANI *et al.*, 2010 *cum biblio*). Tale successione stratigrafica documenta l'evoluzione da un ambiente di piattaforma carbonatica, al suo progressivo annegamento associato alle fasi di *rifting* giurassico, fino al suo coinvolgimento nelle fasi contrazionali responsabili della formazione della catena a pieghe e sovrascorrimenti dell'Appennino centrale e successiva segmentazione da parte della tettonica distensiva (Fig. 2).

Le caratteristiche della successione stratigrafica e l'assetto strutturale, nonché la presenza in quota (tra circa 1500 e 1700 m s.l.m.) di una fascia a carsismo diffuso di spessore ettometrico (MONJOIE, 1975), la presenza a quote elevate di numerose depressioni endoreiche tettono-carsiche prive

di coperture vegetali e la notevole diffusione di carsismo superficiale, favoriscono l'infiltrazione della maggior parte dell'afflusso pluviometrico e nivale e l'alimentazione di un imponente acquifero basale di tipo compartimentato (PETITTA & TALLINI, 2002; ADAMOLI *et al.*, 2012). Quest'ultimo alimenta a sua volta le sorgenti poste ai margini della catena e il reticolo fluviale con una portata media complessiva di circa 23,5 m³/s, pari ad un volume idrico annuo di circa 740 milioni di mc (ADAMOLI *et al.*, 2012). La compartimentazione dell'acquifero carsico è controllata oltre che dalle caratteristiche litostratigrafiche e dall'assetto strutturale, anche dalla presenza di fasce di cataclasi finissime associate alle faglie principali che agiscono da diaframmi impermeabili sotterranei, limitando le comunicazioni tra settori attigui della falda di fondo, come evidenziato da differenze nelle quote piezometriche fino a centinaia di metri (ADAMOLI *et al.*, 2012).

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Come anticipato nella premessa, il Torrente Raiale scorre nella parte di catena più meridionale del massiccio del Gran Sasso (Fig. 3). Nella porzione prossimale, il torrente, noto in questo tratto come Acqua San Franco, scorre in direzione ONO-ESE tra il M.S. Franco ad O e il Pizzo Cefalone e Campo Imperatore in sinistra idrografica e i rilievi meno elevati del Monte Stabiata-Monte D'Aragno che degradano verso la conca aquilana in destra idrografica.

In sinistra idrografica, si eleva il versante meridionale della dorsale del Gran Sasso con un dislivello complessivo di circa 1500 metri lungo il quale, nella parte alta, prevalgono i processi erosivi che danno luogo a spettacolari scarpate di erosione selettiva.

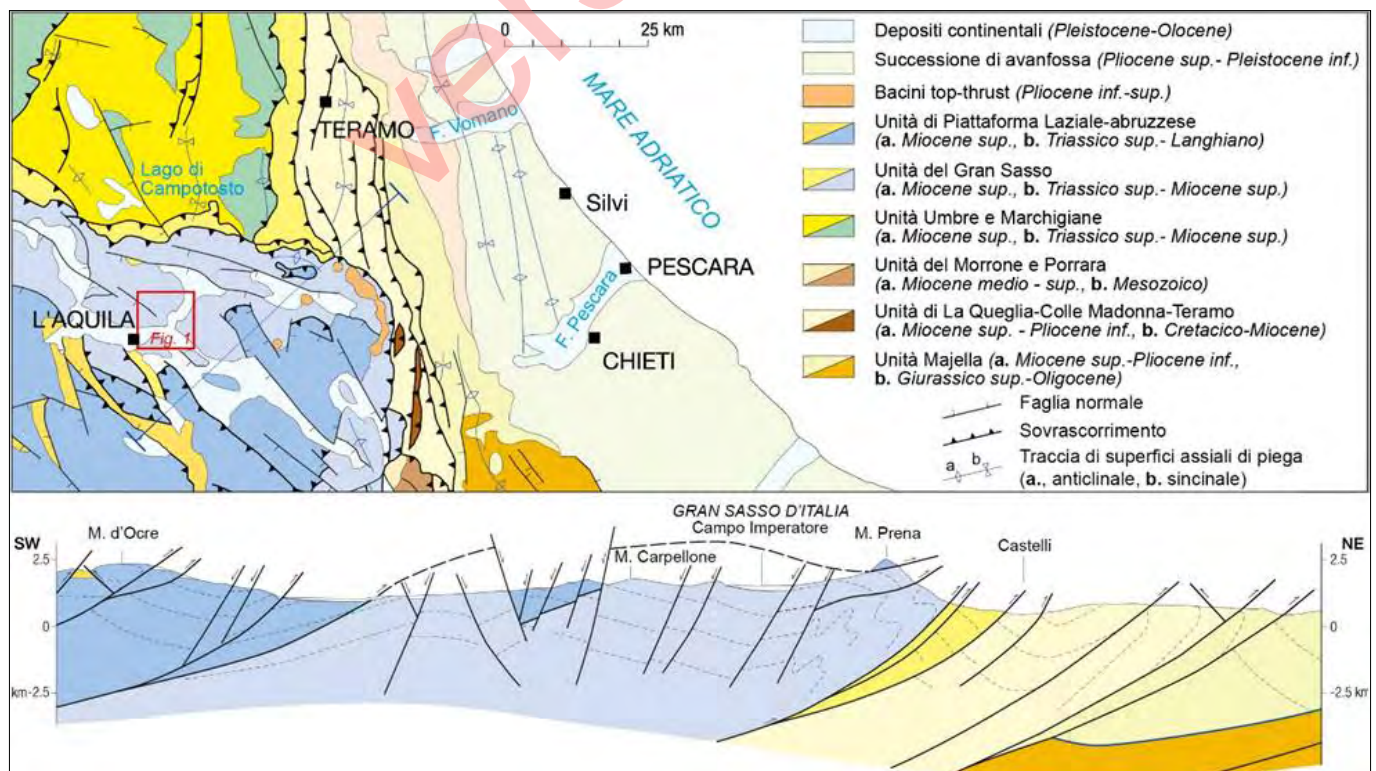


FIGURA 2. Schema geologico regionale del settore del Gran Sasso d'Italia e relativa sezione geologica (modificato da Vezzani *et al.*, 2010). Il quadrato rosso indica l'area studiata.

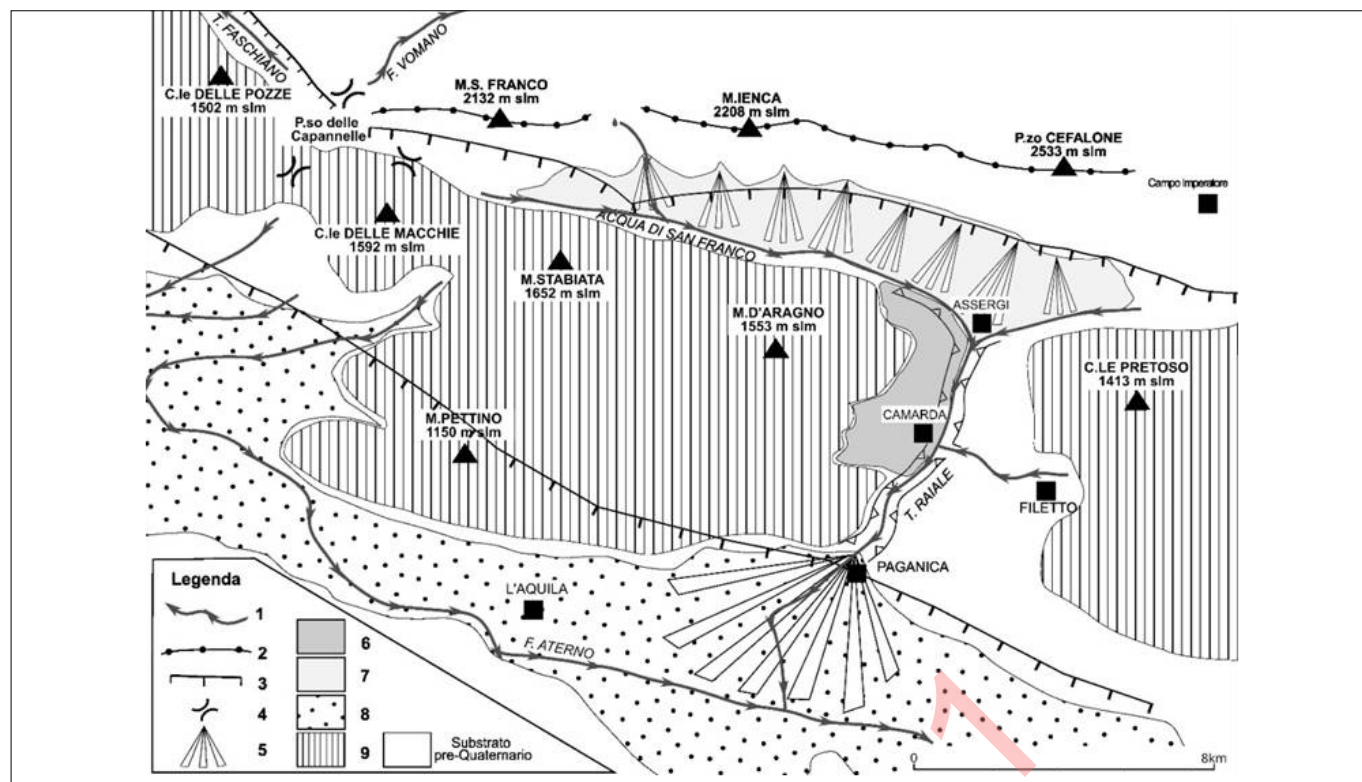


FIGURA 3. Schema geomorfologico dell'area del bacino del T. Raiale. 1. Corso d'acqua e direzione dello stesso; 2. Cresta; 3. Scarpata di faglia; 4. Sella o windgap; 5. Conoide alluvionale; 6. Depositi fluviali e fluvio-glaciali del Pleistocene Medio; 7. Depositi fluviali, fluvio-glaciali e di versante del Pleistocene Superiore-Olocene; 8. Depositi fluviali di fondovalle e terrazzati del Pleistocene Superiore-Olocene; 9. Forme Carsiche diffuse.

Nella porzione più bassa dello stesso versante, sono presenti ingenti spessori di depositi di conoide alluvionale, fluvio-glaciali e di versante associati alla presenza di uno dei sistemi di faglie attive più continui dell'area, che si estende da Campo Imperatore a est fino al P.s. delle Capannelle e oltre a ovest (PIERUCCINI & PIZZI, 2012; PIZZI & PIERUCCINI, 2012). In questa porzione il T. Raiale (Acqua S. Franco) riceve acqua prevalentemente dalle risorgive poste in sinistra (la principale, Sorgente S. Franco).

In destra idrografica, la dorsale del M. Stabiata - M. D'Aragno, oltre ad essere meno elevata, presenta invece forme caratteristiche di processi carsici con numerose valli chiuse e cieche, doline e doline coalescenti e diffusa presenza di riempimenti costituiti da argille residuali di colore rossastro. In questo settore, il torrente scorre inciso all'interno dei versanti ma presenta un fondovalle discretamente esteso e caratterizzato dalla presenza di limitate estensioni di depositi associati.

All'altezza di Assergi, il corso d'acqua devia bruscamente verso S scorrendo all'interno di una profonda forra con ripide scarpate laterali che si sviluppano anche per molte decine di metri mentre l'alveo si restringe e l'estensione del deposito si riduce notevolmente (Fig. 4). In destra idrografica, a sud Assergi, sono presenti spessori notevoli (fino a 150 metri) di ghiaie e breccie fortemente cementate di origine fluviale e fluvio-glaciale attribuibili al Pleistocene Medio (PIERUCCINI & PIZZI, 2012) localmente clinostratificate e tiltate verso sud che danno luogo a spettacolari forme erosive denudazionali (es. Camarda). Infine, nella porzione più distale, il T. Raiale entra nel bacino del F. Aterno all'altezza di Paganica, tagliando il versante di fa-

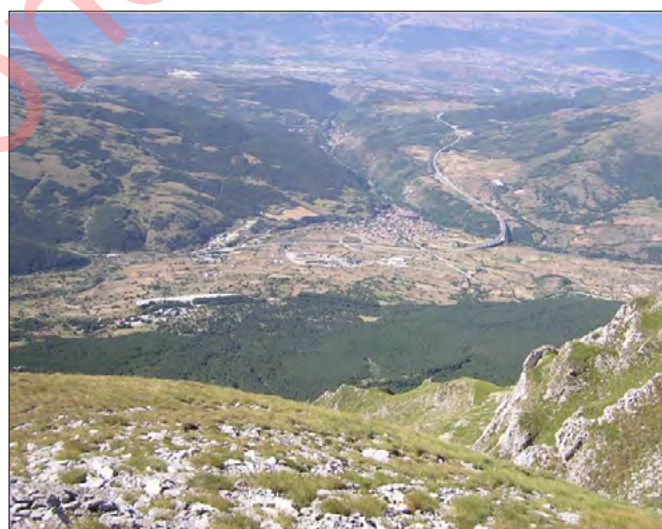


FIGURA 4. Panoramica verso S della bassa valle del T. Raiale dalla Cresta delle Malecoste. Il versante a monte di Assergi è caratterizzato dalla presenza di estese coltri detritiche e di conoide alluvionale. Dall'abitato di Assergi fino alla valle dell'Aterno si osserva la profonda forra all'interno della quale scorre il torrente. In destra idrografica (dove è presente l'autostrada) si osserva la superficie pianeggiante corrispondente ai depositi fluviali e fluvio-glaciali terrazzati del Pleistocene Medio e Superiore.

glia che borda a nord il bacino, probabilmente riattivata in occasione del terremoto del 2009 (PIZZI & PIERUCCINI, 2012) e generando un vasto conoide alluvionale.

4. STABILITÀ DEI VERSANTI

L'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI), realizzato dall'ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome, censisce le frane verificatesi sul territorio naziona-

le secondo modalità standardizzate e condivise (TRIGILA *et al.*, 2021). In Tabella 1, sono riportati i dati ricavati dalla consultazione della cartografia online del Progetto IFFI (RIF. WEB n. 1) e dei dati areali ad essa associati (i dati disponibili per la regione Abruzzo sono aggiornati al 2007). Nel bacino del torrente Raiale sono censite 41 frane, tra

limitato (3), coprono da soli il 4,83% della superficie del bacino (aree di color marrone in Figura 5). Si osserva che l'alveo del T. Raiale segue il perimetro della DGPV più estesa, suggerendo una possibile interazione tra l'evoluzione del percorso del torrente e la dinamica del fenomeno franoso.

Tabella 1. Frane censite nel catalogo IFFI relative al bacino considerato.

Tipologia	Numero di fenomeni	Area in frana [km ²]	Incidenza sul bacino [%]
Crolli	2	0,03	0,02%
Colamento lento	7	0,22	0,16%
Colamento rapido	7	0,14	0,10%
Complesso	2	0,10	0,07%
DGPV	3	6,67	4,83%
Scivolamento r/t	20	1,68	1,22%
Tutte	41	8,84	6,40%

le quali predominano nettamente per numerosità i fenomeni di scivolamento rototraslativo (20), seguiti dai colamenti lenti (7) e rapidi (7). In termini di estensione areale, i versanti interessati da fenomeni franosi, omogeneamente distribuiti nel bacino, si estendono per un totale di circa 9 km², corrispondenti al 6,4% dell'intera superficie. I fenomeni di deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV), che per loro natura interessano appunto interi versanti, seppur presenti in numero

Inoltre si citano gli interventi di consolidamento di versante in corrispondenza delle infrastrutture viarie. Ad esempio, lungo la SS17bis tra Camarda e Assergi, dove la strada si sviluppa parallelamente e a breve distanza dal corso del T. Raiale, si osservano interventi di consolidamento realizzati mediante posa di teli di rete paramassi in aderenza, chiodature di ancoraggio e funi d'orditura (Fig. 6). Si tratta di affioramenti a ridosso della sede stradale, potenzialmente soggetti a crolli.

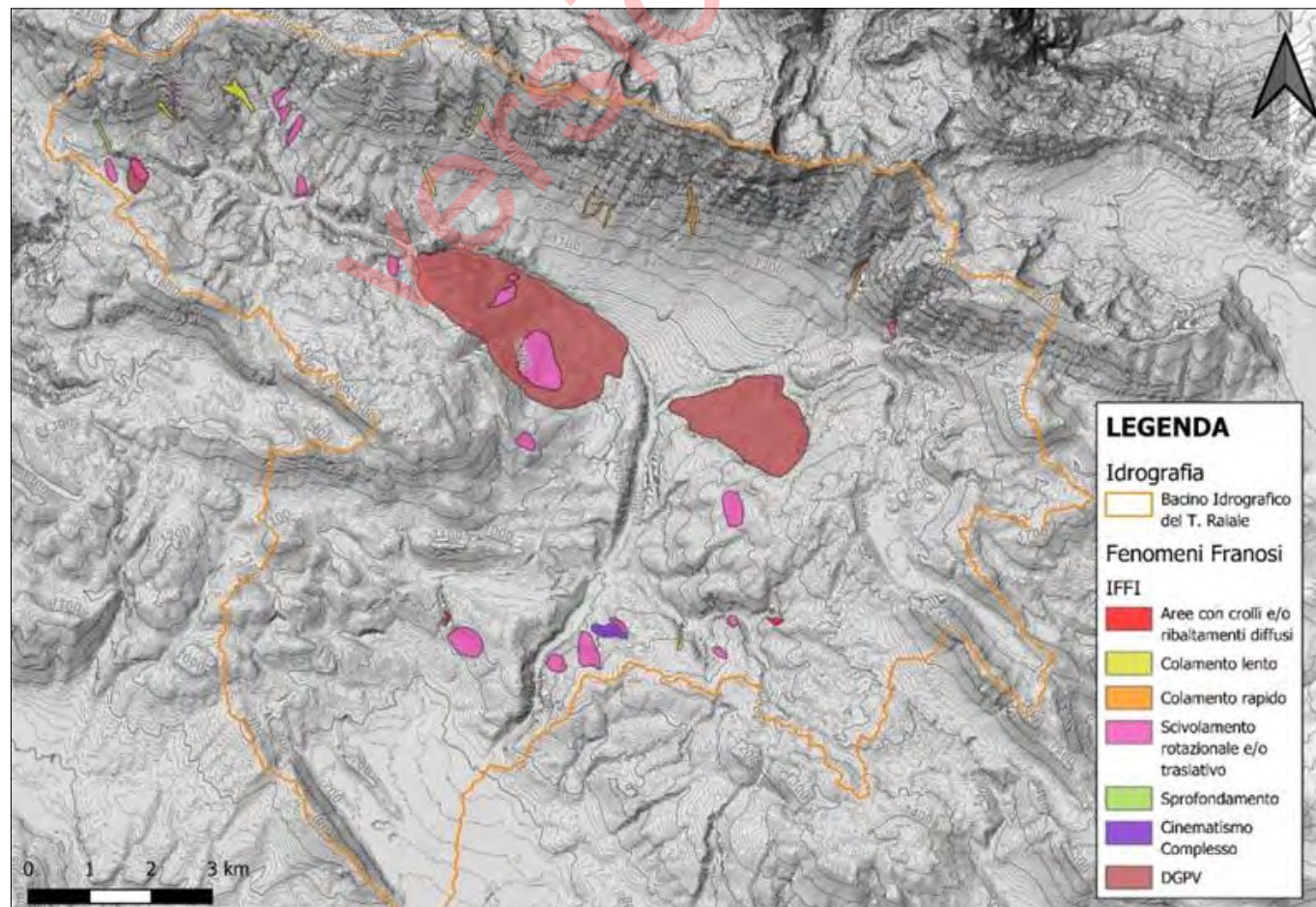


FIGURA 5. Estratto della cartografia online del Progetto IFFI (RIF. WEB n. 1).



FIGURA 6. Intervento di consolidamento di un versante lungo la SS17bis, in prossimità del centro abitato di Assergi.

5. PERICOLOSITÀ SISMICA E RISCHIO SISMICO

La Pericolosità sismica dell'area del T. Raiale ricade nella Classe 2 prevista dalla Normativa Nazionale cioè un'area dove i forti terremoti sono possibili con valori di accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni compresi tra 0,15 e 0,25g e un'accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico di 0,25g, come previsto dall'OPCM 3519/06 e suoi successivi aggiornamenti (Rif. WEB n. 2).

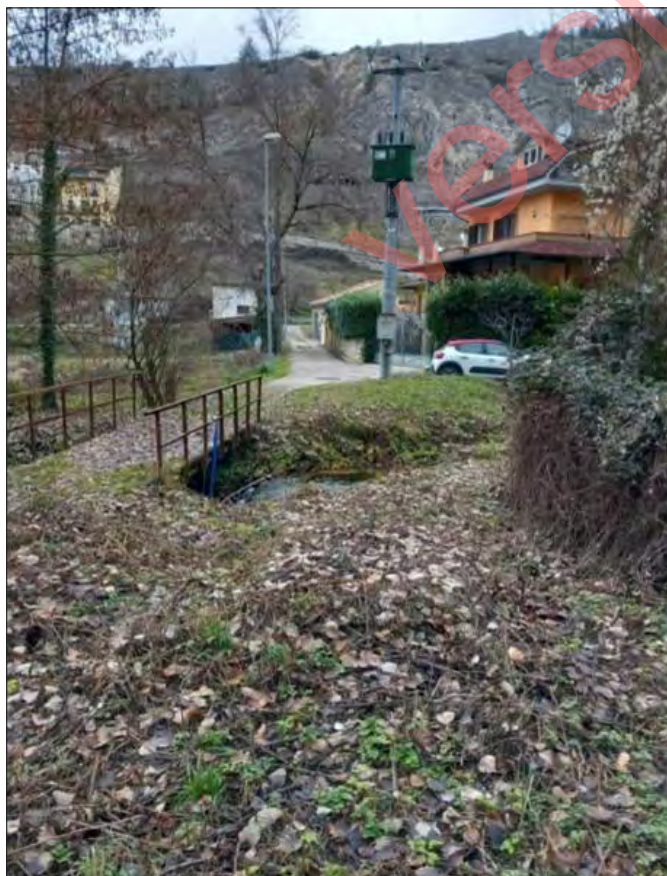


FIGURA 7. La Sezione 1 è ubicata nella Frazione di Camarda, in un tratto compreso tra il T. Raiale e la Strada Statale 17 bis e incautamente edificato negli ultimi decenni.

Inoltre, il terremoto del 6 aprile 2009 che ha interessato l'area aquilana ha comportato la riattivazione di una faglia normale che ha provocato la fagliazione della superficie topografica attraverso l'abitato di Paganica. Questa era nota prima del terremoto del 2009 nella letteratura scientifica ed era riportata

nella Cartografia Geologica Ufficiale, Foglio CARG 359 "L'Aquila". Gli studi geologici di terreno condotti nell'area epicentrale dopo l'evento del 6 aprile 2009 hanno riconosciuto l'occorrenza di fagliazione superficiale lungo la faglia di Paganica dalla profondità dell'ipocentro (circa 9 km di profondità), dislocando la superficie topografica fino a un massimo di 10-15 cm sulla verticale (FALCUCCI *et al.*, 2009; VITTORI *et al.*, 2011; GALLI *et al.*, 2011; MORO *et al.*, 2013).

Inoltre, per tutta l'area, inclusi i centri abitati di Assergi, Camarda e Paganica sono noti numerosi terremoti storici di intensità superiori a 7 anche se più frequenti nella zona di Paganica (Rif. WEB n. 3).

6. GEORISORSE E ATTIVITÀ ESTRATTIVE

La coltivazione di sostanze minerali, di miniera e di cava secondo la definizione del Regio Decreto n. 1443 del 1927, oltre ad assumere un ruolo socio-economico rilevante nell'ottica di un potenziale sviluppo per le aree ove vi sia la disponibilità di giacimenti, costituisce un'attività fondamentale per la fornitura di materie prime alle industrie di trasformazione di minerali, all'industria cementizia e verso il settore edile e infrastrutturale, per i quali è fondamentale l'apporto di inerti.





FIGURA 8. La Sezione 2 è ubicata in corrispondenza del ponte principale di Paganica (Ponte Grande), dove le case e la scuola media si affacciano direttamente sull'alveo del corso d'acqua.

A tal riguardo, nell'area oggetto di studio sono presenti tre cave per produzione di inerti sono realizzate nei depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi del Quaternario. Due sono cave di monte a mezza costa contigue, coltivate a gradoni multipli con mezzi meccanici, mentre la terza è una cava pedemontana coltivata anch'essa a gradoni multipli, ma con uso di esplosivo. Un quarto sito estrattivo attivo corrisponde invece ad una cava di monte a mezza costa su gradoni multipli che produce calcare per uso industriale, coltivata con esplosivo, realizzata nei termini calcareo-marnosi pelagici di età meso-cenozoica.

Nel settore meridionale dell'area di studio è invece presente un sito estrattivo dismesso, nel quale sono stati coltivati depositi quaternari di origine alluvionale per la produzione di inerti.

7. PERICOLOSITÀ GEO-IDROLOGICA E RISCHIO DI ALLUVIONE

La valutazione della pericolosità idrologica ha comportato la verifica idraulica su due sezioni fluviali su cui sono state rilevate alcune criticità: la *sezione 1* è stata individuata nella Frazione di Camarda, in un tratto largo al massimo una cinquantina di metri compreso tra il T. Raiale e la Strada Statale 17 bis e incautamente edificato negli ultimi decenni (coordinate: 42°23'33.6"N 13°29'50.5"E - Fig. 7). La sezione sottende un bacino di 82,08 km².

La *sezione 2* è localizzata in corrispondenza del ponte principale (Ponte Grande) di Paganica, dove le case e la scuola media si affacciano direttamente sull'alveo del corso d'acqua (coordinate: 42°21'34.6"N 13°28'15.9"E - Fig. 8). La sezione sottende un bacino di 111,78 km².

Dagli Annali Idrologici della Regione Abruzzo (RIF. WEB n. 4) sono state estratte le altezze di pioggia massima annua di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore relative a 49 anni di osservazioni registrate alla stazione di Assergi. I dati sono stati elaborati col metodo di Gumbel per ricavare le curve di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 50, 100 e 200 anni:

$$\begin{aligned} \text{Tr}_{20}: h &= 55,624 \cdot t^{0,246}; & \text{Tr}_{50}: h &= 67,987 \cdot t^{0,230}; \\ \text{Tr}_{100}: h &= 77,256 \cdot t^{0,221}; & \text{Tr}_{200}: h &= 86,492 \cdot t^{0,214} \end{aligned}$$

Vista la posizione baricentrica della stazione, tali curve sono state considerate rappresentative per l'intero bacino del T. Raiale.

Le portate di massima piena vengono calcolate con il Metodo Razionale attraverso la seguente relazione:

$$Q_{max} = k \cdot C \cdot i_c \cdot A$$

dove:

- Q_{max} è la portata di massima piena del corso d'acqua espressa in m³/s;
- k è un fattore adimensionale che tiene conto della non uniformità delle unità di misura. Se A è espressa in km² ed i in mm/h, per ottenere la portata in m³/s bisogna attribuire a k il valore $1/3,6 = 0,278$;
- C è il coefficiente di deflusso;
- i_c è l'intensità della precipitazione critica che provoca la piena (mm/ora);
- A è l'area del bacino a monte della sezione presa in esame (km²)

Le precipitazioni considerate sono quelle descritte dalle curve di probabilità pluviometrica riportate nel paragrafo precedente. Per determinare l'intensità critica i_c , sono stati valutati i tempi di corrivazione t_c per i due bacini sottesi dalle sezioni 1 e 2 utilizzando la formula di Giandotti, idonea per le dimensioni dei due bacini ($t_{c\text{ sez1}} = 2,86$ ore; $t_{c\text{ sez2}} = 3,42$ ore).

A questo punto, l'intensità critica i_c risulterà dal rapporto tra l'altezza della pioggia h_c di durata pari al tempo di corrivazione t_c (per calcolare la quale basta sostituire t_c nella durata t delle equazioni delle curve di probabilità pluviometrica) e il tempo di corrivazione t_c stesso, e sarà riferita quindi a un determinato tempo di ritorno:

$$i_c = \frac{h_c}{t_c}$$

Un altro parametro nel calcolo della portata di massima piena è rappresentato dal coefficiente di deflusso C che rappresenta il rapporto tra l'acqua che defluisce in superficie (acqua di ruscellamento) rispetto alle precipitazioni totali. Esso tiene conto della natura dei terreni, del tipo di copertura vegetale e della pendenza (BENINI, 1990). Il territorio in esame è stato suddiviso in aree omogenee per valutare i coefficienti di deflusso medi C_m dei due bacini. In Tabella 2, sono riassunti tutti i dati utilizzati per calcolare le portate di massima piena in corrispondenza delle due sezioni.

Una volta calcolate le portate di massima piena attese per i cinque tempi di ritorno in corrispondenza delle due sezioni prese in esame, si è verificato se tutte queste portate sarebbero defluite normalmente nell'alveo o se in qualche occasione il fiume avrebbe esondato, inondando le zone abitate circostanti. A tal fine, è stato necessario fare un confronto tra le portate di progetto, appena riportate in Tabella 5, e la portata massima ammissibile Q_{amm} in corrispondenza delle due sezioni, pari al prodotto dell'area A della sezione e la velocità del flusso idrico V .

Per ricavare l'area A sono stati effettuati sopralluoghi sulle sezioni di interesse con battute topografiche per ricavare le quote e misure tramite telemetro per ricavare le lunghezze. Come quota massima della sezione è stato preso il livello base delle abitazioni anche laddove fossero presenti opere di contenimento quali muretti o argini. Questa scelta

è dovuta al fatto che seppure l'opera di contenimento può cedere o può comunque essere aggirata a monte del tratto considerato e risultare inutile ai fini della sicurezza degli abitanti. Come quota minima è stata invece presa la quota del fondo del corso d'acqua.

Per determinare la velocità del flusso idrico V delle sezioni, si utilizza la formula di Chézy:

$$V = \chi \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

dove:

V è la velocità media in m/s;

χ è il coefficiente di Chézy che dipende dalla scabrezza dell'alveo e dal raggio idraulico;

R è il raggio idraulico in m;

i è la pendenza media dell'asta principale espressa in %.

Per raggio idraulico si intende il rapporto tra l'area della sezione e il perimetro bagnato. Per perimetro bagnato si intende la somma tra la lunghezza del fondo dell'alveo e delle sponde. Con i dati ricavati dalle misure effettuate *in situ*, sono state ottenute le aree (sez. 1: $A = 8,16$ m²; sez. 2: $A = 32,8$ m²), i perimetri bagnati (sez. 1: $p_b = 9,2$ m; sez. 2: $p_b = 17,65$ m) e, dal loro rapporto, i raggi idraulici (sez. 1: $R = 0,89$ m; sez. 2: $R = 1,86$ m) delle due sezioni. La pendenza media dell'asta principale i [%], è stata calcolata come rapporto tra la differenza tra le quote massime e minime dei pixel del DEM e la LLDP (*longest drainage path length*) cioè la lunghezza dell'asta principale estesa fino allo spartiacque. Per la sezione 1 è risultata $i = 0,0273$ mentre, per la sezione 2, $i = 0,0221$. Per il coefficiente di scabrezza, è stata utilizzato il coefficiente n di Manning, per cui la formula di Chézy diventa:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}}$$

Il coefficiente n di Manning è stato calcolato facendo riferimento alle tabelle riportate dall'Autorità di Bacino del Po (RIF. WEB n. 5) ed è risultato pari a 0,1656 per la sezione 1 e pari a 0,2116 per la sezione 2.

Coi dati ottenuti, sono state calcolate le velocità di deflusso V tramite la formula di Chézy. Infine, moltiplicando le aree delle sezioni per le rispettive velocità di deflusso so-

Tabella 2. Dati utilizzati per calcolare le massima piena Q_{max} attese alle 2 sezioni di misura per diversi tempi di ritorno.

Sez.	Tr [anni]	h_c [mm]	t_c [ore]	i_c [mm/ ora]	Uso del suolo	Area [%]	C	C_m	k	A [km ²]	Q_{max} [m ³ /s]
1	20	72,03	2,86	25,19	Vegetato	47,67	0,62	0,49	0,278	82,08	281,6
	50	86,57		30,27	Prato	50,9	0,36				338,4
	100	97,45		34,07	Roccia	0,38	0,7				380,9
	200	108,30		37,87	Urbanizzato	1,04	0,9				423,4
2	20	75,27	3,42	22,01	Vegetato	50,71	0,62	0,50		111,78	342,0
	50	90,21		26,38	Prato	48,05	0,36				409,9
	100	101,38		29,64	Roccia	0,27	0,7				460,5
	200	112,53		32,90	Urbanizzato	0,94	0,9				511,2

Tabella 3. Portate massime ammissibili nelle due sezioni.

Sezione	Area sezione [m ²]	Velocità [m/s]	Q _{amm} [m ³ /s]
1	8,16	0,92	7,5
2	32,8	1,06	34,8

no state ricavate le portate massime ammissibili per le due sezioni analizzate (Tab. 3).

Dal confronto tra le portate massime ammissibili e le portate di progetto (Tab. 4) si rileva che in entrambe le portate attese per tempi di ritorno anche solo di 20 anni sono notevolmente maggiori della portata massima ammissibile *con prevedibili allagamenti delle zone edificate circostanti che pertanto risultano ad elevato rischio di alluvione.*

Riguardo alle alluvioni passate nel bacino del T. Raiale, un'importante tracimazione avvenne a Paganica nell'agosto 1924 all'altezza di Piazza Regina Margherita (sezione 2), con l'acqua di esondazione che arrivò in Piazza Umberto I.

Per indagare infine sulla pericolosità dell'ulti del T. Raiale, dall'ingresso in destra idrografica del T. Vera fino alla sua confluenza nell'Aterno, si è verificata l'evoluzione in tempi storici del reticolo idrografico analizzando le seguenti fonti: 1) Carta del Regno delle due Sicilie (1821 – 1826); 2) Carta delle Province Meridionali d'Italia (1861); 3) Foglio 140 Teramo della Carta Geologica d'Italia alla

Tabella 4. Dalle verifiche idrauliche effettuate, le due sezioni prese in esame risultano clamorosamente insufficienti anche per tempi di ritorno di 20 anni.

Sezione	Tr [anni]	Q _{max} [m ³ /s]	Q _{amm} [m ³ /s]
1	20	281,6	7,5
	50	338,4	
	100	380,9	
	200	423,4	
2	20	342,0	34,8
	50	409,9	
	100	460,5	
	200	511,2	

scala 1:100.000 (1963); 4) Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000 (2007); 5) Carta del Piano Gestione Rischio Alluvioni (2016).

Le carte mostrano sostanzialmente una situazione idrografica simile. Solo in quella più antica (Carta del Regno delle due Sicilie), l'andamento del Raiale tra Paganica e Bazzano risulta parallelo al F. Vera che si immette nel primo appena prima della confluenza di questo nell'Aterno. Si nota inoltre un canale che, dipartendosi dal T. Raiale appena prima della confluenza del Vera, si immette nell'Aterno circa 2 km più a sudest (Fig. 9).

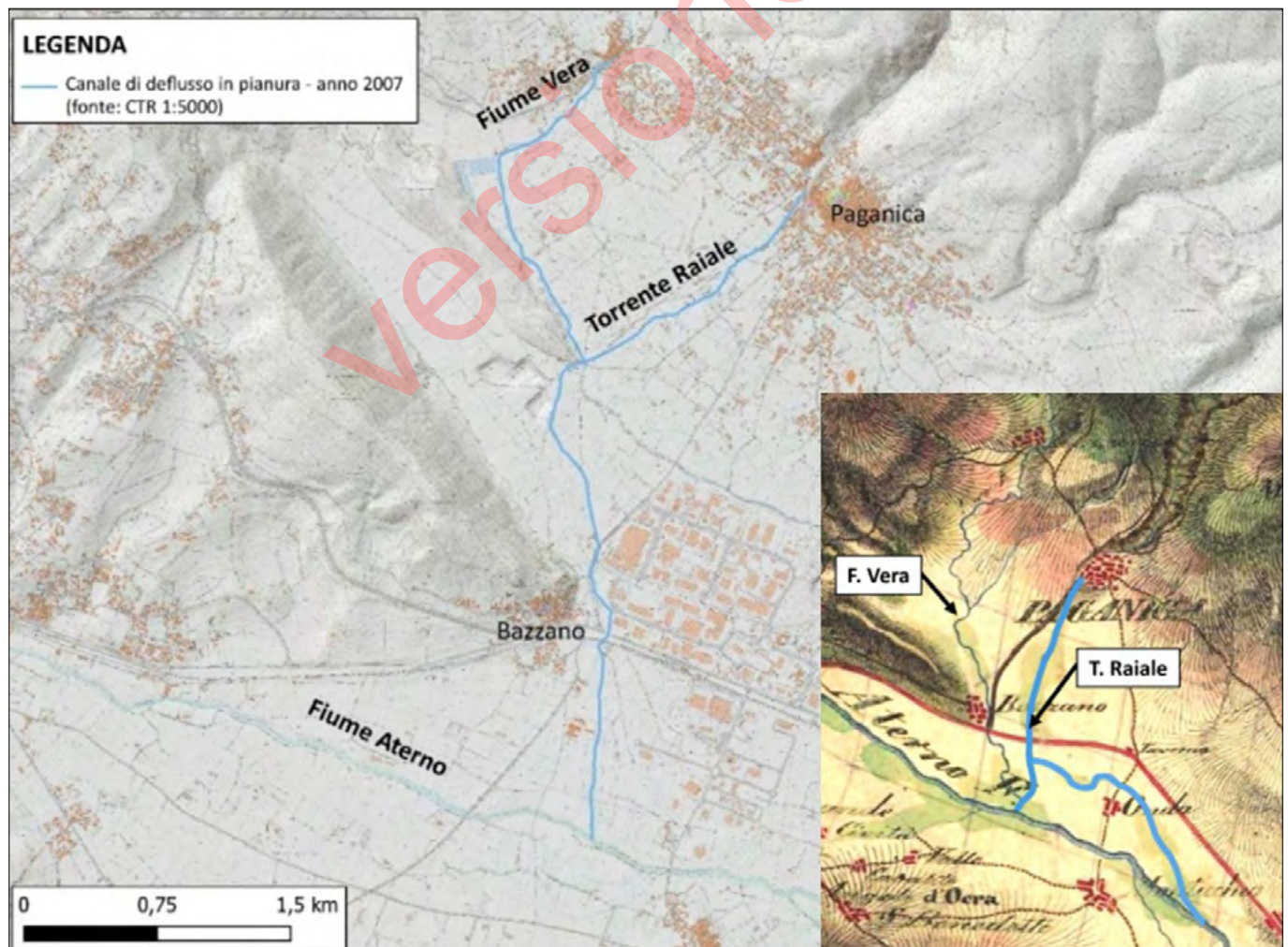


FIGURA 9. La Carta Tecnica Regionale 1:5000 dell'anno 2007 messa a confronto con la Carta del Regno delle due Sicilie, realizzata tra il 1821 e il 1826.

Da circa 150 anni, invece, la situazione risulta simile a quella attuale, per cui la pericolosità idrologica sembra concentrarsi più a monte, particolarmente nei settori delle sezioni studiate.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMOLI L., CALAMITA F., PIZZI A. (2012). *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 349 Gran Sasso d'Italia*. ISPRA, Roma, 255 pp.
- BENINI G. (1990). *Sistemazioni idraulico forestali*. Collana Scienze forestali e ambientali. UTET, Torino, 308 pp., ISBN-10: 880204340X, ISBN-13: 978-8802043401
- CHOW V.T. (1959). *Open Channel Hydraulics*. Mc Graw Hill Company, 680 pp.
- FALCUCCI E., GORI S., PERONACE E., FUBELLI G., MORO M., SAROLI M., GIACCIO B., MESSINA P., NASO G., SCARDIA G., SPOSATO A., VOLTAGGIO M., GALLI P., GALADINI F. (2009). *The Paganica fault and surface coseismic ruptures caused by the 6 April, 2009, earthquake (L'Aquila, central Italy)*. Seismological Research Letters, 80, 940–950.
- GALLI P., GIACCIO B., MESSINA P., PERONACE E., ZUPPI G.M. (2011). *Palaeoseismology of the L'Aquila faults (central Italy, 2009, Mw 6.3 earthquake): implications for active fault linkage*. Geophysical Journal International 187 (3), 1119–1134.
- GHISSETTI F. & VEZZANI L. (1986). *Assetto geometrico ed evoluzione strutturale della catena del Gran Sasso tra Vado di Sella e Vado di Corno*. Boll. Soc. Geol. It., 105, 131-171.
- MONJOIE A. (1975). *Hydrogeologie du massif du Gran Sasso (Apennin central)*. Coll. Pubbl. Fac. Scienze Appl. Univ., 53, 1-60.
- MORO M., GORI S., FALCUCCI E., SAROLI M., GALADINI F., SALVI S. (2013). *Historical earthquakes and variable kinematic behaviour of the 2009 L'Aquila seismic event (central Italy) causative fault, revealed by paleoseismological investigations*. Tectonophysics, 583, 131-144.
- PETITTA M. & TALLINI M. (2002). *Idrodinamica sotterranea del Gran Sasso (Abruzzo): nuove indagini idrologiche, idrogeologiche e idrochimiche (1994-2001)*. Boll. Soc. Geol. It., 121, 343-363.
- PIERUCCINI P. & PIZZI A. (2012). *La Successione del Quaternario continentale*. In: Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 349 Gran Sasso d'Italia. ISPRA, Roma, 117-136.
- PIERUCCINI P. & PIZZI A. (2012). *Neotettonica e sismicità*. In: Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 349 Gran Sasso d'Italia. ISPRA, Roma, 153-172.
- TRIGILA A., IADANZA C., LASTORIA B., BUSSETTINI M., BARBANO A. (2021). *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio* - Edizione 2021. ISPRA, Rapporti 356/2021.
- VEZZANI L., FESTA A. & GHISSETTI F. (2010). *Geology and Tectonic evolution of the Central-Southern Apenni-*

nes, Italy. Geol. Soc. America Spec. Pap., 469, 58 pp. ISBN 978-0-8137-2469-0. DOI: 10.1130/2010.2469.

- VITTORI E., DI MANNA P., BLUMETTI A.M., COMERCI V., GUERRIERI L., ESPOSITO E., MICHETTI A.M., PORFIDO S., PICCARDI L., ROBERTS G.P., BERLUSCONI A., LIVIO F., SILEO G., WILKINSON M., MCCAFFREY K.J.W., PHILLIPS R.J., COWIE P.A. (2011). *Surface Faulting of the 6 April 2009 Mw 6.3 L'Aquila Earthquake in Central Italy*. Bulletin of the Seismological Society of America, 101 (4), 1507-1530.

RIFERIMENTI WEB

- 1 - <https://www.progettoiffi.isprambiente.it/>
- 2 - <https://esse1-gis.mi.ingv.it/>
- 3 - <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>
- 4 - <https://www.regione.abruzzo.it/content/annali-idrologici>
- 5 - https://www.adbpo.it/PAI/7%20-%20Norme%20di%20attuazione/7.2%20-%20Direttive%20di%20Piano/Direttiva3/2006_10_Direttiva_4_PAI_Elab_7_Norme_5aprile2006.pdf

Pericolosità geo-idrologica del fiume Aterno-Pescara (Abruzzo, Italia)

Geo-hydrological hazard of the Aterno-Pescara River (Abruzzo, Italy)

ANNALISA BOVE¹, GUIDO STEFANO MARIANI², LUCIANO MASCIOCOCCO³

¹Geologo, Libero Professionista – Presidente Sezione Piemonte-VdA SIGEA-APS

²Università degli Studi di Torino

³Università degli Studi di Torino – Consigliere Nazionale SIGEA-APS

E-mail: annalisa.bove@geologipiemonte.it (A. Bove), guidostefano.mariani@unito.it (G. S. Mariani), luciano.masciocco@unito.it (L. Masciococco)

Parole chiave: pericolosità geo-idrologica, Fiume Aterno-Pescara, regione Abruzzo

Key words: geo-hydrological hazard, Aterno-Pescara River, Abruzzo region

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'Aterno-Pescara è il fiume più lungo d'Abruzzo (145 km). Il suo bacino idrografico si estende per 3190 km², interessando la provincia dell'Aquila per circa 2.281 km², la provincia di Pescara per circa 810 km², la provincia di Chieti per circa 57 km² e molto marginalmente la Provincia di Teramo per circa 0,01 km² (Fig. 1).

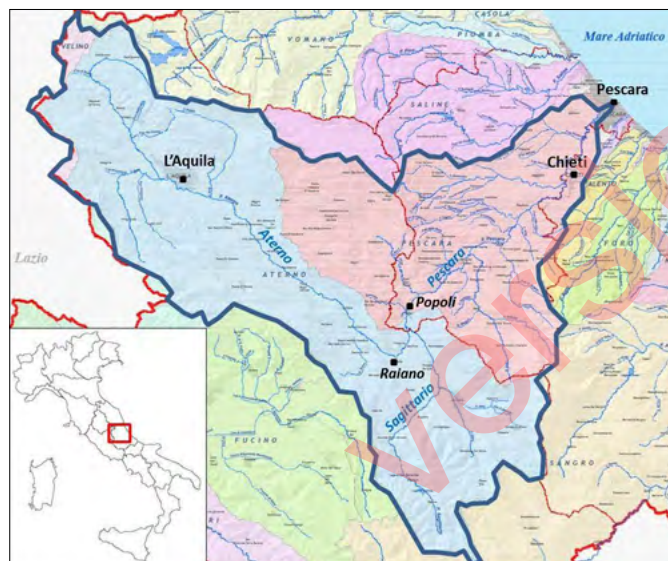


FIGURA 1. Il Fiume Aterno – Pescara (145 km) e il suo bacino idrografico (3.190 km²). Carta dei corpi idrici superficiali e relativi bacini della regione Abruzzo (RIF. WEB n. 1) modificata.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'assetto geologico dell'Appennino centrale è strettamente correlato alla subduzione verso ovest della litosfera adriatica che ha causato una catena a pieghe e sovrascorrimenti migrata progressivamente verso est e nord-est, che ha spostato sequenze carbonatiche e silicoclastiche meso-cenozoiche spesse migliaia di metri. Alla migrazione dei sovrascorrimenti verso l'avampaese adriatico è seguito un regime tettonico estensionale che ha interessato le porzioni più interne della catena a partire dal Mio-Pliocene e che ha dato origine a sistemi di faglie normali. La tettonica estensionale procedette contemporaneamente al sollevamento della catena durante tutto il Quaternario e, nell'Ap-

pennino centrale, ha portato alla formazione di numerose strutture parallele alla catena (bacini intermontani), che hanno condizionato l'andamento dei corsi d'acqua, tra i quali l'Aterno – Pescara.

INQUADRAMENTO IDROLOGICO

Per gran parte del suo corso (Aterno s.s.), l'Aterno-Pescara segue tali strutture intermontane parallelamente alla catena appenninica. L'impluvio ha origine nel Comune di Pizzoli (AQ), presso la strada provinciale 86 "del Vasto", in corrispondenza della Cappella di San Vincenzo, a 1455 m s.l.m. (Fig. 2).

In questo primo tratto, il corso d'acqua scorre verso NW, direzione che mantiene sino alla conca alluvionale di Montereale, spartiacque tra il bacino dell'Aterno e quello del Vomano. Con un'ampia curvatura, qui il fiume inverte la propria direzione e procede verso sud-est immettendosi nella conca aquilana.

Dopo aver lambito da sud L'Aquila, il fiume prosegue il suo corso in direzione sud-est attraversando la piana di Bazzano, dove riceve le acque del Vera-Raiale (BONETTO *et al.*, 2025). Quindi si separa in due corsi distinti che si riuniscono nei pressi di Sant'Eusanio Forconese. Da Villa Sant'Angelo l'Aterno entra nella stretta valle del Medio Aterno, e quindi della valle Subequana, all'uscita della quale - nei pressi di Molina Aterno - viene rifornito dalle acque delle cosiddette sorgenti di Molina. Tramite le gole di San Venanzio (Fig. 3) l'Aterno giunge a Raiano, entrando nella conca Peligna (o di Sulmona), con un brusco aumento di pendenza e una rotazione di direzione di 90° (da sud-est verso nord-est).

L'anomala interruzione nel profilo di equilibrio fa pensare a un fenomeno di cattura per erosione rimontante dell'attuale Pescara verosimilmente associato allo svuotamento del lago che occupava la conca di Sulmona. A monte di Popoli, l'Aterno riceve il suo principale tributario, il Sagittario. Per qualche chilometro il fiume muta denominazione in Aterno-Sagittario. Più avanti il corso dell'Aterno-Sagittario si unisce a quello, proveniente da sinistra, del Pescara, brevissimo fiume sorgivo assai ricco di acque (Fig. 4), che gli apporta un contributo minimo di

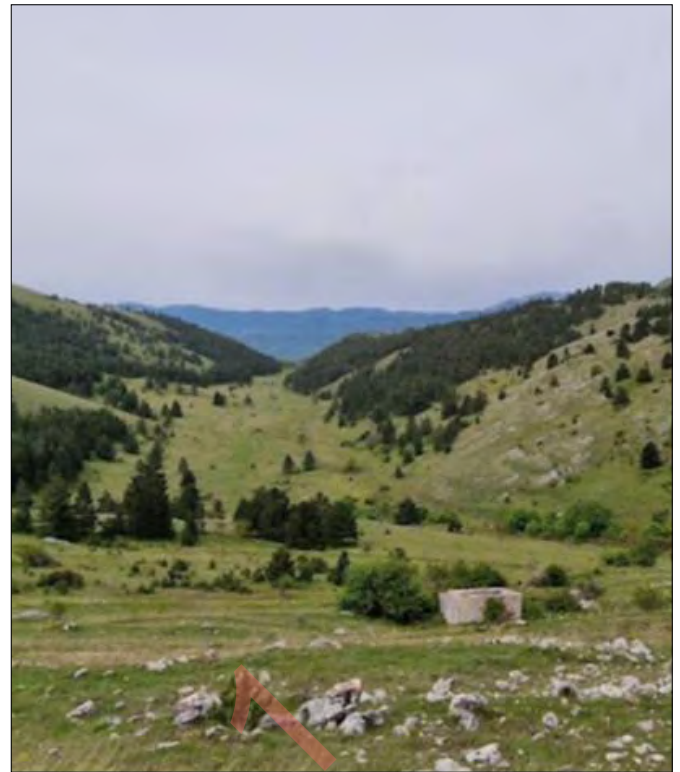


FIGURA 2. La Cappella di San Vincenzo, posta sullo spartiacque e, a destra, vista da monte, la testata dell'Aterno-Pescara che, dopo 145 km, termina il suo percorso in Adriatico.

magra pari a $7 \text{ m}^3/\text{s}$. Da questo punto in poi il fiume viene chiamato Pescara.

Il fiume entra nelle strette gole di Popoli notevolmente ingrossato, stretto dalle montagne del Gran Sasso a nord e dal massiccio del Morrone a sud; da questo punto in poi raccoglie altri affluenti di una certa importanza (in particolare il Tirino), incrementando la sua portata. Mantenendo

la direzione nord-est, l'Aterno-Pescara attraversa quindi la piana alluvionale della Val Pescara. Superata la parte bassa di Chieti il fiume entra a Pescara, dividendola in due e sfociando infine nel mare Adriatico.

RISCHIO DI ALLUVIONE

In molti casi (ad es. l'Aquila, Raiano, Chieti...), i centri abitati sono stati saggiamente edificati a distanza di sicurezza dall'alveo di piena del corso d'acqua. Purtroppo, in località come Popoli e Pescara, si è costruito nell'area di competenza del fiume, con prevedibili conseguenze calamitose. Si hanno notizie di alluvioni disastrose già nel 1456, e poi a seguire nel 1893, 1934, 1939, 1999. In particolare l'alluvione dell'ottobre 1934, documentata da numerose immagini (Fig. 5 – RIF. WEB n. 2 e Fig. 6 - RIF. WEB n. 3), fece seguito a piogge particolarmente intense



FIGURA 3. L'Aterno tra le gole di San Venanzio.



FIGURA 4. Sorgenti del fiume Pescara.



FIGURA 5. Alluvione dell'ottobre 1934 a Popoli (Rif. WEB n. 2).



FIGURA 6. Alluvione dell'ottobre 1934 a Pescara: a) Via D'Annunzio; b) e c) Via Di Ruvo; d) Via Bastioni (Rif. WEB n. 3).

Tabella 1. Piogge giornaliere relative ai giorni 7-11 ottobre 1934.

Stazione	Coordinate geografiche	Pioggia giornaliera (mm)					Pioggia cumulata (mm)
		07/10/1934	08/10/1934	09/10/1934	10/10/1934	11/10/1934	07-11/10/1934
Alanno	42°17'45.5"N 13°58'17.0"E	0,0	72,0	107,4	40,2	80,0	299,6
Anversa	41°59'40.9"N 13°48'12.9"E	21,0	65,5	75,0	5,0	42,5	209,0
Aringo	42°33'21.9"N 13°16'01.9"E	7,8	12,8	13,8	0,2	30,4	65,0
Assergi	42°24'56.1"N 13°30'27.6"E	17,6	80,6	78,2	1,4	10,8	188,6
Bagnaturo	42°05'25.2"N 13°54'25.6"E	52,0	177,4	143,6	36,4	85,6	495,0
Barete	42°27'02.4"N 13°16'56.0"E	19,0	31,0	54,0	9,0	8,0	121,0
Bazzano	42°20'13.1"N 13°26'39.0"E	0,0	11,0	31,0	0,0	0,0	42,0
Beffi	42°11'31.8"N 13°40'46.4"E	10,0	22,0	76,0	4,0	31,0	143,0
Brittoli	42°18'53.6"N 13°51'38.7"E	15,8	63,4	129,0	28,8	70,6	307,6
Bussi Officine	42°11'44.8"N 13°50'38.8"E	15,0	92,0	141,5	27,0	66,5	342,0
Campana	42°14'46.5"N 13°34'01.2"E	8,0	0,0	63,0	0,0	22,0	93,0
Campo di Giove	42°00'27.9"N 14°02'30.4"E	21,0	51,0	72,0	21,0	38,0	203,0
Capestrano	42°15'57.9"N 13°46'13.3"E	9,8	32,4	77,8	3,2	17,0	140,2
Caporciano	42°14'58.0"N 13°40'25.3"E	5,0	10,2	61,0	1,0	27,5	104,7
Caramanico meteo	42°09'07.6"N 14°00'06.2"E	45,2	158,4	203,8	42,0	133,0	582,4
Carapelle Calvisio	42°17'56.9"N 13°41'09.2"E	13,8	26,0	34,3	0,0	18,0	92,1
Casalincontrada	42°17'46.8"N 14°08'02.5"E	57,0	63,0	119,0	42,0	137,0	418,0
Casamaina	42°15'30.3"N 13°23'25.9"E	20,0	50,0	0,0	22,0	0,0	92,0
Castel del Monte	42°21'55.6"N 13°43'32.3"E	21,6	125,8	136,4	11,4	29,4	324,6
Catignano	42°20'45.1"N 13°56'59.1"E	15,2	55,6	102,2	50,8	88,8	312,6
Centrale I° Salto Pescara	42°11'58.8"N 13°52'52.8"E	12,0	63,0	95,0	35,0	75,0	280,0
Centrale II° Salto Pescara	42°14'48.2"N 13°57'13.6"E	18,2	62,8	115,0	35,0	71,5	302,5
Cepagatti	42°21'52.4"N 14°04'29.4"E	25,7	90,0	90,0	43,2	105,6	354,5
Chieti	42°21'44.3"N 14°08'29.3"E	37,2	51,0	122,8	27,6	173,4	412,0
Civita di Bagno	42°18'30.1"N 13°26'48.5"E	6,0	1,0	25,0	16,0	0,0	48,0
Cocullo	42°01'55.5"N 13°46'31.4"E	17,8	74,8	122,4	11,6	38,6	265,2
Collepietro	42°13'14.1"N 13°46'47.1"E	9,1	60,0	111,2	16,3	27,1	223,7

Tabella 1. Piogge giornaliere relative ai giorni 7-11 ottobre 1934.

Corfinio	42°07'14.8"N 13°50'19.5"E	32,8	127,0	202,0	21,0	105,0	487,8
Forca Caruso	42°03'53.0"N 13°42'20.0"E	5,0	85,0	5,0	3,0	5,0	103,0
Forca di Penne	42°16'59.3"N 13°50'06.2"E	86,2	73,1	94,2	66,3	23,5	343,3
Frattura	41°55'49.9"N 13°52'15.2"E	48,0	114,0	71,0	6,0	30,0	269,0
Gagliano Aterno	42°07'31.4"N 13°42'04.3"E	13,0	36,0	85,0	5,0	27,0	166,0
Goriano Sicoli	42°04'47.2"N 13°46'31.3"E	20,0	84,0	120,0	11,0	41,0	276,0
L'Aquila	42°20'59.3"N 13°23'54.3"E	3,8	3,4	27,2	0,6	23,4	58,4
Manoppello	42°15'28.7"N 14°03'34.5"E	26,7	100,0	190,0	17,0	188,0	521,7
Montereale	42°31'25.4"N 13°14'40.4"E	1,0	16,0	20,0	15,0	25,0	77,0
Ocre	42°17'25.8"N 13°27'36.3"E	6,1	3,0	33,0	1,0	15,0	58,1
Pacentro	42°03'03.3"N 13°59'22.1"E	45,0	119,0	25,0	48,0	47,0	284,0
Pescara	42°26'46.7"N 14°13'54.5"E	8,4	6,8	19,6	20,6	60,6	116,0
Pescosansonesco	42°15'11.9"N 13°53'02.4"E	30,0	22,0	103,4	42,6	66,6	264,6
Pettorano	42°21'31.6"N 13°52'09.8"E	27,1	41,0	53,0	5,5	39,0	165,6
Popoli	42°09'58.3"N 13°49'44.1"E	20,6	91,2	177,0	18,0	60,2	367,0
Roccacaramanico	42°06'12.8"N 14°00'49.0"E	47,8	159,0	114,0	42,6	89,4	452,8
Roccacasale	42°07'20.1"N 13°53'17.6"E	66,0	253,0	299,0	86,0	157,1	861,1
Roccamorice	42°12'42.9"N 14°01'31.8"E	29,0	157,0	211,0	69,0	165,0	631,0
Rocca Pia	41°55'58.7"N 13°58'38.2"E	35,0	50,5	82,0	20,4	30,9	218,8
Salle	42°10'39.6"N 13°57'44.6"E	54,0	147,0	270,0	40,0	195,0	706,0
Sambuceto	42°25'08.6"N 14°10'46.5"E	21,4	23,2	90,6	21,0	91,4	247,6
Scanno	41°54'19.9"N 13°52'50.1"E	23,0	44,4	63,2	4,2	27,6	162,4
Scoppito	42°22'10.3"N 13°15'32.6"E	5,0	12,0	18,0	0,0	0,0	35,0
Sulmona	42°02'53.2"N 13°55'26.0"E	18,0	73,4	63,2	6,6	27,4	188,6
S. Stefano di Sessanio	42°20'37.2"N 13°38'35.7"E	15,0	25,0	50,0	0,0	27,0	117,0
S. Valentino	42°14'00.7"N 13°59'06.8"E	19,8	50,0	130,4	32,0	99,6	331,8
Termine	42°26'38.9"N 13°12'29.6"E	8,6	17,6	17,4	0,2	26,0	69,8
Tornimparte	42°17'43.5"N 13°16'06.4"E	2,2	3,0	18,4	0,0	17,0	40,6
Villa S. Lucia	42°19'56.8"N 13°46'39.8"E	39,0	146,0	166,5	24,0	63,5	439,0

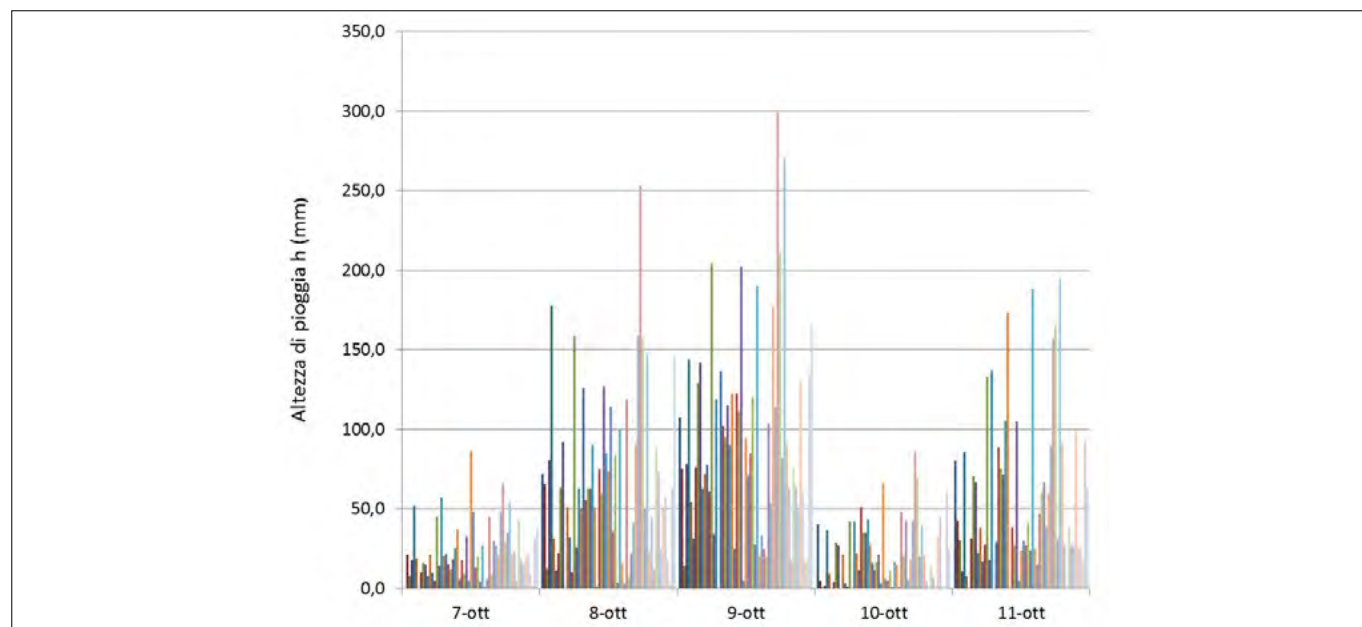


FIGURA 7. Evoluzione dell'evento piovoso 07-11/10/1934 sul bacino dell'Aterno-Pescara.

documentate dall'annale idrologico 1934 della Regione Abruzzo (RIF. WEB n. 4).

In Tabella 1 vengono riportate le piogge giornaliere registrate nelle stazioni ubicate all'interno del bacino dell'Aterno-Pescara, relative ai giorni 7-11 ottobre 1934. I dati giornalieri sono relativi alla quantità di pioggia caduta dalle 9 del giorno precedente alle ore 9 del giorno di misura. I quantitativi sono espressi in millimetri. Con carattere netto è segnalato il massimo giornaliero del mese. Nell'ultima colonna sono riportate le piogge cumulate dei cinque giorni 07-11/10/1934.

Dalla Figura 7 si può seguire l'evoluzione dell'evento piovoso: si nota una crescita graduale di intensità della pioggia dal 7 ottobre al 9 ottobre, dove si raggiunge il massimo con piogge giornaliere che sfiorano i 300 mm (stazione

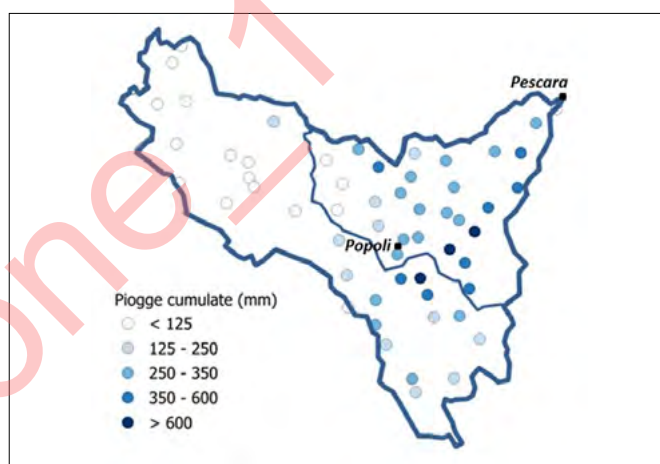


FIGURA 8. Altezza di pioggia cumulata (mm) dell'evento 7-11/10/1934, nel bacino idrografico dell'Aterno-Pescara.

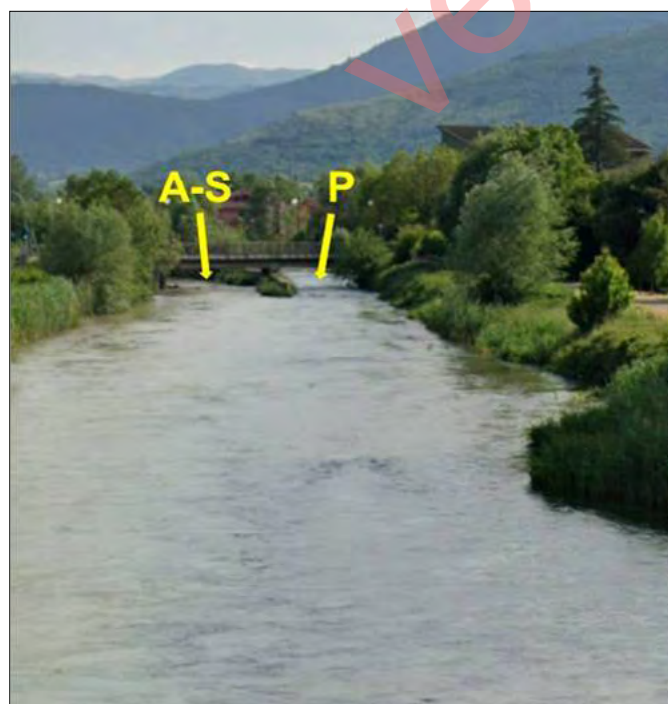


FIGURA 9. La Sezione 1 (segmento giallo) è ubicata a Popoli, circa 100 m a valle della confluenza del Pescara (P) nell'Aterno-Sagittario (A-S). La foto è presa da valle verso monte (freccia gialla). In azzurro la direzione di scorrimento del corso d'acqua.



FIGURA 10. La Sezione 2 è ubicata a Pescara, appena a monte del ponte ferroviario. La foto è presa dalla sponda sinistra (freccia gialla). In azzurro la direzione di scorrimento del corso d'acqua.

meteo di Roccacasale). Il 10 ottobre l'intensità si attenua per poi ritornare a superare i 100 mm l'11 ottobre. Nella Figura 8 sono state visualizzate piogge cumulate 7-11 ottobre 1934. Dalla figura si può notare come l'evento piovoso si sia concentrato sul settore orientale del bacino, con le intensità più alte registrate nel bacino del Sagittario (che confluisce nell'Aterno da sud appena a monte di Popoli) e nel bacino del Pescara. Piovenendo intensamente solo nella parte bassa del bacino, si è praticamente dimezzato il tempo di corrivazione dell'evento, amplificando in tal modo le portate al colmo, con gli effetti calamitosi registrati a Popoli e a Pescara.

Dopo aver ricostruito le cause dell'alluvione del 1934, nel lavoro si è voluto valutare, dopo 90 anni, il rischio di alluvione nelle due località colpite dall'evento del 1934.

VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDROLOGICA

La valutazione della pericolosità idrologica ha comportato la verifica idraulica su due sezioni fluviali considerate critiche per la vicinanza degli edifici al corso d'acqua: la sezione 1 è ubicata a Popoli, nel tratto appena a valle della confluenza del Pescara nell'Aterno-Sagittario (Fig. 9 - Coord.: 42°10'26.6"N 13°49'48.5"E): tale sezione sottende un bacino di 2214 km². La sezione 2 è localizzata a Pescara appena a monte del ponte ferroviario (Fig. 10 - Coord.: 42°27'41.0"N 14°12'34.9"E), a soli 1,5 km dal mare, per cui la sezione sottende un bacino di 3187 km², praticamente l'intero bacino dell'Aterno-Pescara.

ANALISI PLUVIOMETRICA

Dagli Annali Idrologici della Regione Abruzzo (RIF. WEB n. 4) sono stati estratte le altezze di pioggia massi-

ma annua di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore relative al periodo 1985 – 2015 registrate dalle stazioni ubicate all'interno del bacino idrografico Aterno-Pescara (sono state escluse le stazioni con meno di 5 anni di registrazione). I dati sono stati elaborati col metodo di Gumbel per ricavare le curve di probabilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno rappresentative delle singole stazioni (Tab. 2).

Le curve di probabilità pluviometrica rappresentative del bacino sotteso dalla sezione 1 sono state ricavate mediando i parametri a e n estrapolati dalle sole stazioni poste a monte, mentre per la sezione 2 sono stati mediati i parametri di tutte le stazioni (Tab. 3).

PORTATE DI MASSIMA PIENA

Le portate di massima piena vengono calcolate con il Metodo Razionale attraverso la seguente relazione:

$$Q_{max} = k \cdot C \cdot i_c \cdot A$$

dove:

- Q_{max} è la portata di massima piena del corso d'acqua espressa in m³/s;
- k è un fattore adimensionale che tiene conto della non uniformità delle unità di misura. Se A è espressa in km² ed i in mm/h, per ottenere la portata in m³/s bisogna attribuire a k il valore $1/3,6 = 0,278$;
- C è il coefficiente di deflusso;
- i_c è l'intensità della precipitazione critica che provoca la piena (mm/ora);
- A è l'area del bacino a monte della sezione presa in esame (km²)

Le precipitazioni considerate sono quelle descritte dalle curve di probabilità pluviometrica riportate nel para-

Tabella 2. Curve di probabilità pluviometrica calcolate con i dati delle piogge intense registrate nel periodo 1985-2015 dalle stazioni ubicate all'interno del bacino idrografico Aterno-Pescara (sono state escluse le stazioni con meno di 5 anni di registrazione). Viene segnalato in seconda colonna se la stazione è ubicata a monte (m) o a valle (v) rispetto alla sezione 1.

Stazione	m/v	anni oss.	Tr 20 anni	Tr 50 anni	Tr 100 anni	Tr 200 anni
Alanno	v	8	$h = 38,825 \cdot t^{0,2901}$	$h = 44,289 \cdot t^{0,2954}$	$h = 48,387 \cdot t^{0,2985}$	$h = 52,471 \cdot t^{0,3011}$
Anversa	m	5	$h = 39,147 \cdot t^{0,2002}$	$h = 45,532 \cdot t^{0,1770}$	$h = 50,320 \cdot t^{0,1628}$	$h = 55,093 \cdot t^{0,1507}$
Assergi	m	11	$h = 41,366 \cdot t^{0,2593}$	$h = 48,341 \cdot t^{0,2431}$	$h = 53,563 \cdot t^{0,2334}$	$h = 58,762 \cdot t^{0,2253}$
Barisciano	m	12	$h = 34,847 \cdot t^{0,1696}$	$h = 40,592 \cdot t^{0,1591}$	$h = 44,893 \cdot t^{0,1529}$	$h = 49,175 \cdot t^{0,1477}$
Beffi	m	6	$h = 66,150 \cdot t^{0,0949}$	$h = 82,867 \cdot t^{0,0734}$	$h = 95,408 \cdot t^{0,0617}$	$h = 107,91 \cdot t^{0,0525}$
Bussi Officine	v	8	$h = 46,502 \cdot t^{0,2928}$	$h = 55,750 \cdot t^{0,2798}$	$h = 62,677 \cdot t^{0,2724}$	$h = 69,577 \cdot t^{0,2663}$
Capestrano	v	9	$h = 38,613 \cdot t^{0,3557}$	$h = 44,501 \cdot t^{0,3613}$	$h = 48,911 \cdot t^{0,3645}$	$h = 53,305 \cdot t^{0,3671}$
Caramanico meteo	v	13	$h = 46,572 \cdot t^{0,4069}$	$h = 54,824 \cdot t^{0,3945}$	$h = 61,004 \cdot t^{0,3873}$	$h = 67,158 \cdot t^{0,3813}$
Carapelle Calvisio	v	13	$h = 36,149 \cdot t^{0,1628}$	$h = 41,727 \cdot t^{0,1508}$	$h = 45,909 \cdot t^{0,1435}$	$h = 50,076 \cdot t^{0,1373}$
Castel del Monte	v	6	$h = 35,710 \cdot t^{0,4303}$	$h = 40,621 \cdot t^{0,4464}$	$h = 44,301 \cdot t^{0,4558}$	$h = 47,969 \cdot t^{0,4636}$
Catignano	v	14	$h = 60,753 \cdot t^{0,2037}$	$h = 72,617 \cdot t^{0,1948}$	$h = 81,514 \cdot t^{0,1897}$	$h = 90,383 \cdot t^{0,1856}$
Cepagatti	v	8	$h = 41,411 \cdot t^{0,2139}$	$h = 49,839 \cdot t^{0,1969}$	$h = 56,158 \cdot t^{0,1871}$	$h = 62,457 \cdot t^{0,1792}$
Chieti	v	15	$h = 48,675 \cdot t^{0,3415}$	$h = 55,873 \cdot t^{0,3488}$	$h = 61,271 \cdot t^{0,353}$	$h = 66,650 \cdot t^{0,3565}$
Collepietro	m	5	$h = 41,551 \cdot t^{0,1999}$	$h = 49,300 \cdot t^{0,1899}$	$h = 55,109 \cdot t^{0,1841}$	$h = 60,898 \cdot t^{0,1793}$
Goriano Sicoli	m	7	$h = 28,007 \cdot t^{0,2916}$	$h = 32,910 \cdot t^{0,2752}$	$h = 36,577 \cdot t^{0,2655}$	$h = 40,226 \cdot t^{0,2575}$
L'Aquila	m	16	$h = 29,137 \cdot t^{0,1993}$	$h = 33,627 \cdot t^{0,1861}$	$h = 36,990 \cdot t^{0,1781}$	$h = 40,341 \cdot t^{0,1713}$
Manoppello	v	7	$h = 41,657 \cdot t^{0,2940}$	$h = 44,968 \cdot t^{0,2824}$	$h = 48,271 \cdot t^{0,272}$	$h = 59,238 \cdot t^{0,2611}$
Montereale	m	11	$h = 35,342 \cdot t^{0,3072}$	$h = 40,466 \cdot t^{0,3075}$	$h = 44,304 \cdot t^{0,3077}$	$h = 48,128 \cdot t^{0,3079}$
Passo Godi	m	6	$h = 44,215 \cdot t^{0,3273}$	$h = 51,401 \cdot t^{0,3117}$	$h = 56,780 \cdot t^{0,3023}$	$h = 62,134 \cdot t^{0,2944}$
Pescara	v	16	$h = 40,241 \cdot t^{0,3311}$	$h = 45,420 \cdot t^{0,3272}$	$h = 49,287 \cdot t^{0,3249}$	$h = 53,133 \cdot t^{0,3229}$
Pescosansonesco	v	14	$h = 71,911 \cdot t^{0,1908}$	$h = 87,850 \cdot t^{0,1774}$	$h = 99,806 \cdot t^{0,1699}$	$h = 111,73 \cdot t^{0,1639}$
Popoli	m	7	$h = 37,246 \cdot t^{0,5262}$	$h = 44,867 \cdot t^{0,5316}$	$h = 50,573 \cdot t^{0,5345}$	$h = 56,254 \cdot t^{0,5369}$
Roccacasale	m	9	$h = 49,751 \cdot t^{0,5146}$	$h = 57,349 \cdot t^{0,5166}$	$h = 63,041 \cdot t^{0,5178}$	$h = 68,712 \cdot t^{0,5188}$
Salle	v	9	$h = 44,657 \cdot t^{0,4423}$	$h = 51,087 \cdot t^{0,4551}$	$h = 55,903 \cdot t^{0,4625}$	$h = 60,700 \cdot t^{0,4686}$
Sant'Eufemia a Maiella	v	6	$h = 47,462 \cdot t^{0,3108}$	$h = 53,816 \cdot t^{0,3107}$	$h = 58,567 \cdot t^{0,3106}$	$h = 63,295 \cdot t^{0,3106}$
Scafa	v	8	$h = 51,765 \cdot t^{0,3829}$	$h = 47,366 \cdot t^{0,3428}$	$h = 52,126 \cdot t^{0,3398}$	$h = 56,860 \cdot t^{0,3373}$
Scanno	m	10	$h = 41,638 \cdot t^{0,2912}$	$h = 48,285 \cdot t^{0,2763}$	$h = 53,262 \cdot t^{0,2674}$	$h = 58,220 \cdot t^{0,2598}$
Scoppito	m	7	$h = 26,811 \cdot t^{0,3468}$	$h = 31,234 \cdot t^{0,3334}$	$h = 34,548 \cdot t^{0,3254}$	$h = 37,848 \cdot t^{0,3188}$
Spoltore	v	7	$h = 56,677 \cdot t^{0,1653}$	$h = 67,462 \cdot t^{0,1495}$	$h = 75,560 \cdot t^{0,1403}$	$h = 83,638 \cdot t^{0,1326}$
Sulmona	m	13	$h = 31,993 \cdot t^{0,3073}$	$h = 36,984 \cdot t^{0,3097}$	$h = 40,724 \cdot t^{0,3111}$	$h = 44,450 \cdot t^{0,3122}$
Tornimparte	m	8	$h = 34,519 \cdot t^{0,4525}$	$h = 38,844 \cdot t^{0,4614}$	$h = 42,082 \cdot t^{0,4667}$	$h = 45,306 \cdot t^{0,4711}$
Villa S. Lucia	v	12	$h = 39,377 \cdot t^{0,4958}$	$h = 45,931 \cdot t^{0,5009}$	$h = 50,840 \cdot t^{0,5039}$	$h = 55,729 \cdot t^{0,5064}$

Tabella 3. Curve di probabilità pluviometrica rappresentative dei bacini sottesi dalle sezioni 1 e 2.

Bacino sotteso	Tr 20 anni	Tr 50 anni	Tr 100 anni	Tr 200 anni
Sezione 1	$h = 38,781 \cdot t^{0,2991}$	$h = 45,506 \cdot t^{0,2901}$	$h = 50,545 \cdot t^{0,2848}$	$h = 55,564 \cdot t^{0,2803}$
Sezione 2	$h = 42,771 \cdot t^{0,3062}$	$h = 49,579 \cdot t^{0,2989}$	$h = 54,958 \cdot t^{0,2952}$	$h = 60,557 \cdot t^{0,2821}$

Tabella 4. Dati utilizzati per calcolare le massima piena Q_{max} attese alle 2 sezioni di misura per diversi tempi di ritorno.

Sez.	Tr [anni]	h_c [mm]	t_c [ore]	i_c [mm/ ora]	Uso del suolo	Area [%]	C	C_m	k	A [km ²]	Q_{max} [m ³ /s]
1	20	89,7	16,5	5,4	Bosco	39,7	0,36	0,523	0,278	2214	1738,3
	50	102,6		6,2	Prato/coltivo	52,1	0,62				1995,8
	100	112,3		6,8	Roccia	4,5	0,65				2188,9
	200	121,9		7,4	Urbanizzato	3,1	0,9				2382,1
2	20	105,2	18,9	5,6	Bosco	35,0	0,36	0,539		3187	2674,3
	50	119,4		6,3	Prato/coltivo	58,6	0,62				3008,5
	100	130,9		6,9	Roccia	3,1	0,65				3295,1
	200	138,8		7,3	Urbanizzato	3,3	0,9				3486,1

grafo precedente. Per determinare l'intensità critica i_c , sono stati valutati i tempi di corrivazione t_c per i due bacini sottesi dalle sezioni 1 e 2 utilizzando la formula di Giandotti, idonea per le dimensioni dei due bacini ($t_{c\text{ sez1}} = 16,5$ ore; $t_{c\text{ sez2}} = 18,9$ ore).

A questo punto, l'intensità critica i_c risulterà dal rapporto tra l'altezza della pioggia h_c di durata pari al tempo di corrivazione t_c (per calcolare la quale basta sostituire t_c nella durata t delle equazioni delle curve di probabilità pluviometrica) e il tempo di corrivazione t_c stesso, e sarà riferita quindi a un determinato tempo di ritorno:

$$i_c = \frac{h_c}{t_c}$$

Un altro parametro nel calcolo della portata di massima piena è rappresentato dal *coefficiente di deflusso* C che rappresenta il rapporto tra l'acqua che defluisce in superficie (acqua di ruscellamento) rispetto alle precipitazioni totali. Esso tiene conto della natura dei terreni e del tipo di copertura vegetale. Per valutare i coefficienti di deflusso medi C_m dei due bacini, sono stati utilizzati i dati della caratterizzazione dell'uso agro forestale del suolo del bacino dell'Aterno-Pescara (RIF. WEB n. 5).

In Tabella 4, sono riassunti tutti i dati utilizzati per calcolare le portate di massima piena in corrispondenza delle due sezioni.

VERIFICHE IDRAULICHE E CONCLUSIONI

Una volta calcolate le portate di massima piena attese per i quattro tempi di ritorno in corrispondenza delle due sezioni prese in esame, si è verificato se tutte queste portate sarebbero defluite normalmente nell'alveo o se in qualche occasione il fiume avrebbe esondato, inondando le zone abitate circostanti. A tal fine, è stato necessario fare un confronto tra le *portate di progetto* riportate in Tabella 4 e la *portata massima ammissibile* Q_{amm} in corrispondenza delle due sezioni, pari al prodotto dell'area A della sezione e la *velocità del flusso idrico* V .

Per ricavare l'area A delle sezioni di interesse sono state effettuate apposite misure per ricavare quote relative e lun-

ghezze. Come quota massima della sezione è stato preso il livello base delle abitazioni anche laddove fossero presenti opere di contenimento quali muretti o argini. Questa scelta è dovuta al fatto che seppure l'opera di contenimento può cedere o può comunque essere aggirata a monte del tratto considerato e risultare inutile ai fini della sicurezza degli abitanti. Come quota minima è stata invece presa la quota del fondo del corso d'acqua.

Per determinare la *velocità del flusso idrico* V delle sezioni, si utilizza la formula di Chézy:

$$V = \chi \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

dove:

- V è la velocità media in m/s;
- χ è il coefficiente di Chézy che dipende dalla scabrezza dell'alveo e dal raggio idraulico;
- R è il raggio idraulico in m;
- i è la pendenza media dell'asta principale espressa in %.

Per *raggio idraulico* si intende il rapporto tra l'area della sezione e il *perimetro bagnato* (somma della larghezza del fondo dell'alveo e con la lunghezza delle sponde. Con i dati ricavati dalle misure, sono state ottenute le *aree* (sez. 1: $A = 150 \text{ m}^2$; sez. 2: $A = 300 \text{ m}^2$), i *perimetri bagnati* (sez. 1: $p_b = 56 \text{ m}$; sez. 2: $p_b = 70 \text{ m}$) e, dal loro rapporto, i *raggi idraulici* (sez. 1: $R = 2,68 \text{ m}$; sez. 2: $R = 4,29 \text{ m}$) delle due sezioni.

Per il coefficiente di scabrezza, è stato utilizzato il *coefficiente n di Manning*, con il quale la formula di Chézy diventa:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}$$

Il *coefficiente n di Manning* è stato calcolato facendo riferimento alle tabelle riportate dall'Autorità di Bacino del

Tabella 5. Portate massime ammissibili nelle due sezioni.

Sezione	Area sezione [m ²]	Velocità [m/s]	Q_{amm} [m ³ /s]
1	150	1,83	274,7
2	300	2,28	684,8

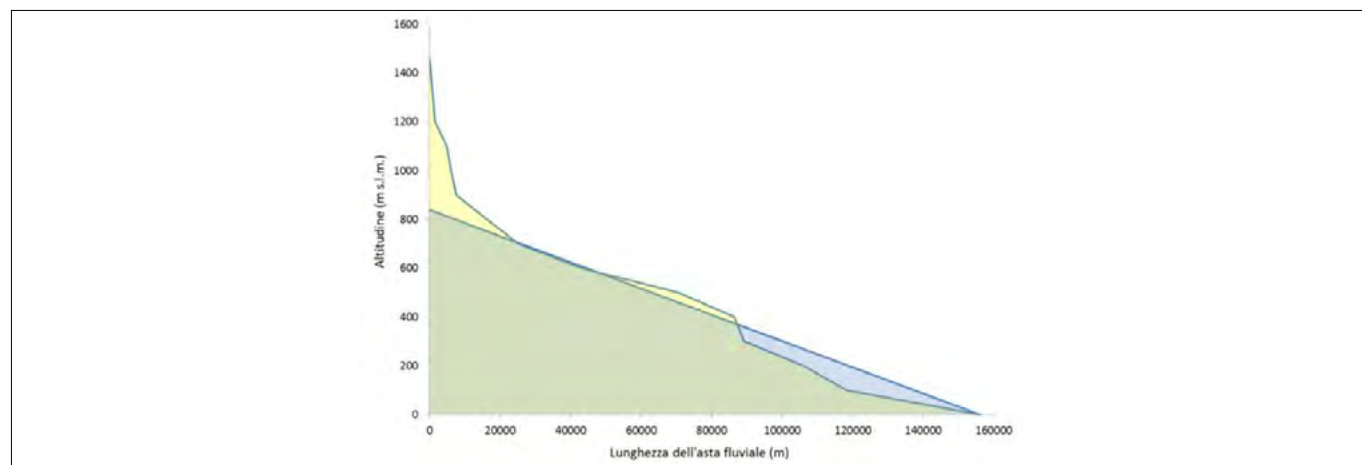


FIGURA 11. Sezione 1: pendenza media dell'asta principale $i = 0,0073$ (m/m), calcolata tramite il metodo grafico dell'area equivalente (Rif. WEB n. 7).

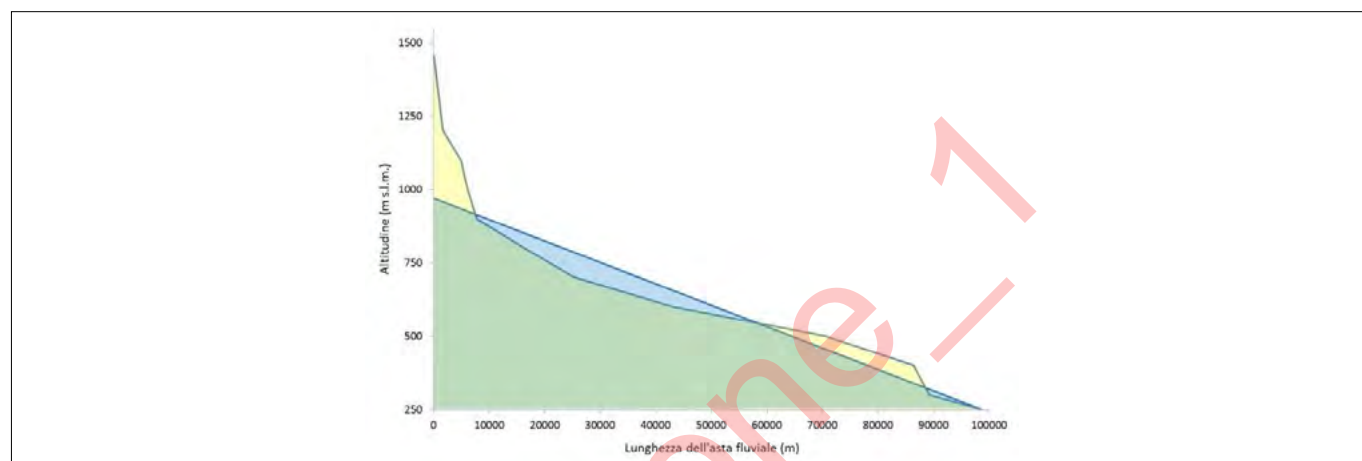


FIGURA 12. Sezione 2: pendenza media dell'asta principale $i = 0,0054$ (m/m), calcolata tramite il metodo grafico dell'area equivalente (Rif. WEB n. 7).

Po (RIF. WEB n. 6) ed è risultato pari a 0,090 per la sezione 1 e pari a 0,085 per la sezione 2.

La pendenza media dell'asta principale i [%], è stata calcolata tramite il metodo grafico dell'area equivalente (Rif. WEB n. 7). Per la sezione 1 è risultata $i = 0,0073$ (Fig. 11) mentre, per la sezione 2, $i = 0,0054$ (Fig. 12).

Coi dati ottenuti, sono state calcolate le velocità di deflusso V tramite la formula di Chézy. Infine, moltiplicando le aree delle sezioni per le rispettive velocità di deflusso

sono state ricavate le portate massime ammissibili per le due sezioni analizzate (Tab. 5). Dal confronto tra le portate massime ammissibili e le portate di progetto (Tab. 6) si rileva che, in entrambe le sezioni, le portate attese per tempi di ritorno anche solo di 20 anni sono notevolmente maggiori della portata massima ammissibile, con prevedibili allagamenti delle zone edificate circostanti che pertanto risultano ancora ad elevato rischio di alluvione.

RIFERIMENTI WEB

- 1 - https://www.regione.abruzzo.it/system/files/urbanistica-territorio/piano-tutela-acque/elaborati-di-piano/cartografia-piano/1_1.pdf
- 2 - <https://www.youtube.com/watch?v=2QYgBw4EL3Q>
- 3 - <http://cetemps.aquila.infn.it/100idrografico/index.php/galleria/>
- 4 - <https://www.regione.abruzzo.it/content/annali-idrologici>
- 5 - http://www.regione.abruzzo.it/pianoTutelaacque/docs/schedeMonograf/Scheda_Monografica_Aterno-Pescara.pdf
- 6 - https://www.adbpo.it/PAI/7%20-%20Norme%20di%20attuazione/7.2%20-%20Direttive%20di%20Piano/Direttiva4/5456PAI_Elab7_Norme_Direttiva4_agg05_04_2006.pdf
- 7 - https://docs.niwa.co.nz/library/public/TM61_1980.pdf

Tabella 6. Dalle verifiche idrauliche effettuate, in entrambe le sezioni, le portate attese per tempi di ritorno anche solo di 20 anni sono notevolmente maggiori della portata massima ammissibile.

Sezione	Tr [anni]	Q_{max} [m ³ /s]	Q_{amm} [m ³ /s]
1	20	1738,3	274,7
	50	1995,8	
	100	2188,9	
	200	2382,1	
	20	2674,3	
2	50	3008,5	684,8
	100	3295,1	
	200	3486,1	

L'Aquila, 6 aprile 2009: quella notte

L'Aquila, April 6, 2009: that night

UMBERTO BRACCILI

Giornalista professionista

E-mail: umberto.braccili@gmail.com

Parole chiave: terremoto dell'Aquila del 2009, vittime della casa dello studente, processi iniqui

Key words: 2009 L'Aquila earthquake, student house's victims, unfair trials

PREMESSA

Un libro ripercorre dai primi terremoti disastrosi fino al 6 aprile 2009 le cause mai affrontate nei processi per quello che successe a L'Aquila (Fig. 1). Ci furono 309 morti dei quali 55 studenti fuorisede che non hanno ricevuto comunicazioni preventive di quello che poteva succedere. È mancata la comunicazione, è mancata la prevenzione, prima nel costruire. E ora solo la Cassazione può ribaltare la sentenza che quei ragazzi, morti nel sonno, sono stati "incauti". Dovevano uscire prima da quelle case diventate le loro bare.

PROLOGO

Era settembre del 2009. Dal 6 aprile facevo la spola tra Roseto degli Abruzzi, dove abito e L'Aquila dove quel giorno, all'inaugurazione di un'opera in legno dei vigili del fuoco che avevano creato l'atto di affetto con materiale di risulta di quello trovato nei condomini venuti giù, come un panetto di burro quando avvicini un accendino. Una Onlus da poco nata di genitori che avevano perso i figli, universitari fuori sede, che cercavano a L'Aquila il loro futuro, invitata alla commemorazione a cinque mesi dal sisma. Mi chiese-

ro di scrivere un libro, mi invitarono alla mensa del dolore. Mi misi sotto e "partorii" un volume di 156 pagine al quale diedi il titolo di "Macerie dentro e fuori". Era febbraio 2010 quando lo presentammo. AVUS 2009 era lo strano editore. la Onlus che ricordava, piangendo sempre, 13 ragazzi volati in cielo ed io, in cerca di "qualcosa", come loro... entrai nella "comitiva" (Fig. 2). Vi dico che girammo tutta Italia, tantissime università ma anche feste di paese per vendere il libro. Avanti vi spiegherò cosa facemmo con tanti soldi che la gente, che non conosceva noi ma si avvicinò, alla vicenda. Perfino la mostra del libro di Torino, grazie ad un professore universitario che ci "sposò" e che insegnava criminologia, ci ospitò in un bel ampio locale. "Macerie dentro e fuori" ebbe una decina di copie vendute che non avevamo preventivato.

SOTTO IL BRACCIO IL LIBRO AL PROCESSO DELLA COMMISSIONE GRANDI RISCHI

Sei anni a tutti gli imputati. Il professor Barberi che non penso proprio mi conoscesse, durante una udienza mi si avvicinò e disse "non mi aspettavo di vivere un processo da



FIGURA 1. L'Aquila, la Casa dello studente crollata il 6 aprile 2009.



FIGURA 2. I 13 ragazzi della casa dello studente e il logo dell'Associazione AVUS 2009.

imputato ". Quei giudici fecero bene e assolutamente non misero sotto processo la Scienza ma gli uomini che lavoravano per la scienza. Tutto parte il 30 marzo del 2009. Guido Bertolaso, capo della Protezione Civile prende il telefono, intercettato per un'altra inchiesta, e chiama Daniela Stati, assessore regionale abruzzese alla Protezione Civile. Dopo il sisma quel colloquio fu pubblicato su Repubblica.it.

Guido Bertolaso: *Buongiorno Daniela. Ti chiamerò De Bernardiniis, il mio vice, e ti dirà di fare una riunione lì, a L'Aquila, su questa vicenda di questo sciame sismico che continua, in modo da zittire subito qualsiasi imbecille, placare le reazioni, preoccupazioni, eccetera.*

Daniela Stati, assessore Regione Abruzzo Protezione Civile: *Ti ringrazio Guido, grazie mille.*

G.B: *Però devi dire ai tuoi di non fare comunicati dove non sono previste altre scosse di terremoto, perché quelle sono delle cazzate, non si dicono mai queste cose quando si parla di terremoti.*

D.S: *Va benissimo.*

G.B: *È uscita, non so mi dicono, l'agenzia dove si dice che non sono più previste altre scosse. È una cosa che non si dice mai, Daniela, neanche sotto tortura.*

D.S: *Guido, non lo sapevo e mi scuso per loro, perché esco in questo momento dalla giunta regionale.*

G.B: *Sì, però quando devono fare i comunicati che parlassero con il mio ufficio stampa, che ormai ha la laurea 'honoris causa' in informazione, in emergenza e quindi sanno come ci si comporta in modo da evitare boomerang, perché se tra due ore c'è una scossa di terremoto, che cosa dicono tutti? Il terremoto è un terreno minato, bisogna essere prudentissimi, comunque adesso questa cosa la sistemiamo. La cosa importante è che De Bernardiniis ti chiama per dire dove domani volete fare la riunione, io non vengo ma vengono Zamberletti, Barberi, Boschi, quindi i luminari del terremoto d'Italia, li faccio venire o da te o in Prefettura, decidete voi, a me non me ne frega niente, in modo che è più un'operazione mediatica, così loro che sono i massimi esperti di terremoti diranno: è una situazione normale, sono fenomeni che si verificano, meglio che ci siano 100 scosse di 4 scala Richter, piuttosto che il silenzio, perché le 100 scosse servono a liberare energia e non ci sarà mai la scossa, quella che "fa male".*

D.S: *Allora io intanto adesso li chiamo, cerco di bloccare il comunicato.*

G.B: *No, l'hanno già fatto, adesso ci stanno mettendo una pezza. Tu adesso parla con De Bernardiniis e decidete dove fare questa riunione domani, poi fatelo sapere che ci sarà questa riunione, che non è perché siamo spaventati e preoccupati, ma è perché vogliamo tranquillizzare la gente e invece di parlare io e te facciamo parlare i massimi scienziati nel campo della sismologia.*

D.S: *Va benissimo, poi ci vediamo domani pomeriggio a Roma, perché il Presidente dice che c'è un incontro sui Giochi del Mediterraneo.*

G.B: *Non ci sarò io, ci sarà Aiello, io domani pomeriggio sono a Napoli.*

È allora "mettere in mezzo" la scienza in questa storia dove gli scienziati non si presero le responsabilità venute da tanti anni di studio ma solo mancate responsabilità sostenendo che quella non era una riunione della Commissione Grandi Rischi poiché non vi erano "verbali di cinque sei righe"? Anche il regolamento lo dice. Una piccola riflessione. Ma cosa andarono a fare il 30 marzo e il 6 aprile 2009 all'Aquila? ... per mangiare arrostiti? Verrebbe voglia di sbirciare tra le ricevute di quella trasferta e chiamare in causa la Corte dei Conti. Sei anni a tutti e al professor Bernardo De Bernardiniis due anni senza limitazione alla sua carriera. Aveva esagerato il professore. Aveva inneggiato ad un brindisi, troppo. Fu la vittima sacrificale. Conosco il professore o meglio lo conoscevo poiché non l'ho visto più. È stato troppo ingenuo, ma io che di mestiere faccio

il giornalista capisco il fascino del microfono che spesso ti “regala” la voglia di non pensare e quella di lievitare.

Fatto sta, che molti furono avvolti da quel “Valium” virtuale che calmò le ansie e fece decidere che tutto si sarebbe risolto in breve tempo.

L'ULTIMO BACIO IN QUESTA VITA TERRENA

Devo introdurre, non è pubblicità, ma se comprate il libro servirà non al sottoscritto che per i due lavori lascia tutti i compensi ma per una iniziativa che va avanti da 12 anni e della quale parlerò più avanti, la mia seconda pubblicazione sul tema. Dopo “Macerie dentro e fuori” in contemporanea con questo scritto esce “Noi non abbiamo colpe” (Fig. 3).

Prima di andare avanti devo spiegare che, dopo quello che avete letto, molte cause civili contro De Bernardinis e la commissione Grandi Rischi sono state chiuse con l'assoluzione degli imputati.

Fin qui nulla di nuovo rispetto alla causa penale che ha visto l'assoluzione dei componenti dei Grandi Rischi ma la cosa che ha fatto indignare la gente comune è stata che alcuni universitari fuori sede hanno avuto tutta la colpa per la loro morte. In primo. E in secondo grado è passata la tesi che i ragazzi sono stati “incauti”. Mi spiego. La colpa è tutta loro che invece di uscire e dormire, seppur a -3, in strada, sono rimasti a dormire.

La domanda viene spontanea diceva un collega molto più famoso di me. “Ma non avevate voi, uomini di scienza e di tecnica degli allarmi per emergenze che non bisogna preoccuparsi, che le scosse stavano scaricando l'energia (pur essendo presenti dal dicembre 2008)?

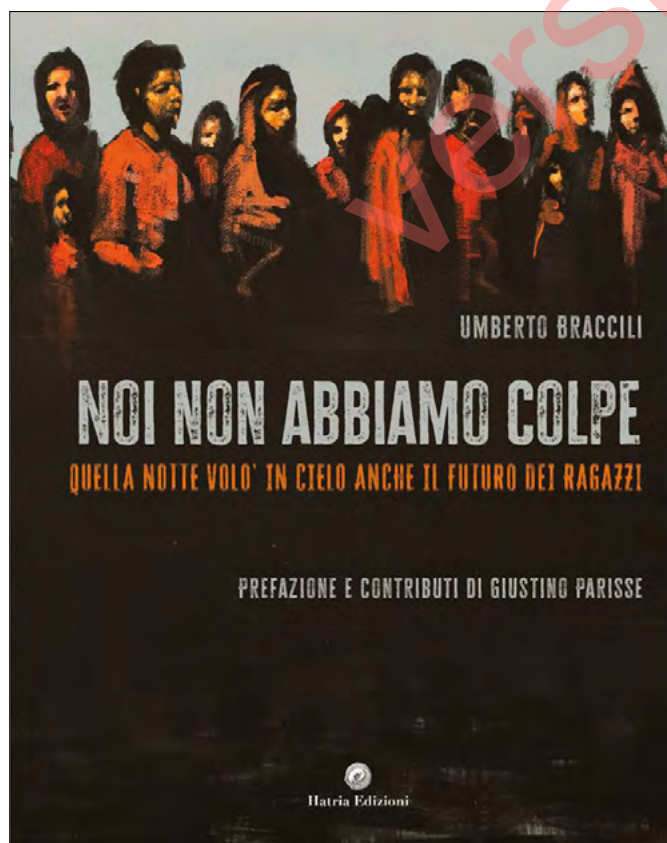


FIGURA 3. La copertina del libro di Umberto Braccili “Noi non abbiamo colpe”.

I ragazzi si fidavano della scienza. Nel secondo libro racconto la sera prima del terremoto quando i ragazzi partirono dal paese mentre i genitori dicevano di restare a casa. **Assunta, sorella di Daniela Bortoletti** – *Le dissi riparti domani mattina, riparti domani mattina, dai. Lei mi rispose “No, no, devo ripartire stasera perché domani mattina c'è lezione. E quindi poi non ci sto con i tempi, devo prendere il pullman, devo andare all'università e poi la valigia, eccetera, eccetera. Aveva la lezione alle otto e mezza di lunedì 6 aprile, lunedì Santo. Da sempre il lunedì Santo l'università era chiusa per le feste di Pasqua.*

Franca, madre di Martina Benedetta Di Battista – *Mi ha detto la sera “mamma me ne vado, torno il mercoledì”. Infatti lasciò a casa il computer. Pensa, Martina si voleva fermare anche dopo la laurea a L'Aquila a lavorare, era attratta da L'Aquila. A lei piaceva studiare, amava, una volta laureata, andare in qualsiasi parte per dimostrare il suo sapere.*

Cesare, padre di Martina Benedetta Di Battista – *Ama-va studiare, amava L'Aquila, perché per lei L'Aquila era il futuro.*

Maria Rita, mamma di Ivana Lannutti – *Il 31 marzo era il mio compleanno e quindi è restata a casa, non è ripartita. Sono venute le nonne e hanno domandato, Ivana ma non hai paura? No, rispose, ci siamo abituati. Lei alla penultima scossa delle 23, dormiva o forse si stava appisolando. Il ragazzo non sentendola, visto che Ivana chiamava sempre in quei casi, le chiese perché questa volta non era agitata e lei lo rassicurò dicendo che tanto era come le altre volte. Non ti preoccupare, disse, si comporta come le altre volte. Chiuse la telefonata con l'appuntamento solito, la mattina seguente alle 8.*

Marilisa Coco, fidanzata di Maurizio Natale – *Lui era pauroso, estremamente pauroso, aveva paura di tutto, però del terremoto no, o perlomeno si era abituato, era tranquillo tanto che ci scherzava e in dialetto mi ripeteva in continuazione, amore, ci hanno “allisciato” una trave qua, che prima che cade questa cade tutta L'Aquila. Era sicuro di quella casa, si sentiva estremamente tranquillo.*

Daniela, sorella di Michele Strazzella – *Quella notte Michele non andò a dormire in macchina con gli amici, perché aveva l'esame la mattina dopo, il lunedì mattina, il 6 aprile. Restò nella casa, presa in affitto a L'Aquila.*

Raffaele, papà di Roberta Zavarella – *Una quindicina di giorni prima, sono stato a L'Aquila per portarle dei viveri. Roberta abitava con altre tre ragazze delle quali una si è salvata perché non era lì quella notte. Percepì che stava tremando la terra. Chiesi loro se sentivano come me quel movimento. Loro fecero sì con la testa, ma subito dissero: “Ci hanno assicurato che sono scosse di assestamento”.*

Maria, mamma di Enza Terzini – *Durante i weekend ci incoraggiava, ci tranquillizzava. Ripartiva per L'Aquila la domenica sera alle 7. La sera di domenica 5 aprile, quando l'accompagnai al pullman, le ho detto di non ripartire. Quasi a brutto muso, lei mi disse che “ero sempre la solita, votata a fare polemica e aggiunse: “perché dovrei rinunciare a tornare a L'Aquila questa sera? tutti ripartono”. Tenne a precisare che il giorno dopo, 6 aprile, aveva tante lezioni, a partire dalle 9.*

Nel libro “Noi non abbiamo colpe” ho trovato molte sfaccettature fino ad oggi sconosciute ma soprattutto ho messo insieme tutti i puzzle che spesso sono stati analizzati

separatamente e quindi non c'è stata la visione di insieme di una imbarazzante impreparazione di chi doveva semplicemente allarmare la popolazione per decretare il "si salvi chi può". L'"errore aquilano" partì dieci anni prima, quando gli scienziati, tanti presenti a L'Aquila il 30 marzo 2009, scrissero saggi, studi e proposte per cambiare la politica edilizia in città. A proposito di questo la Regione Abruzzo spese 4 milioni di euro per uno studio sulla edilizia pubblica. "Abruzzo Engineering" e "Collabora" stilano, per gli edifici aperti al pubblico, l'analisi del rischio. Volete sapere cosa "collassò" quella notte? Tutto quello previsto dallo studio. La prefettura, crollata, la facoltà di Ingegneria a Roio lesionata, la casa dello Studente, dove ci sono stati morti, crollata come il Convitto per gli studenti fuori sede più "piccoli". Anche quella struttura diventò una bara per dei ragazzi.

IO C'ERO

Liviana è la ragazza di Nicola Bianchi. È salva perché quel lunedì era a Teramo per un corso. In caso contrario probabilmente avrebbe dormito nell'appartamento che il moroso definiva "una botte di ferro". Ci racconta i giorni precedenti alla tragedia, partendo dal 30 marzo 2009, quando moltissimi fuorisede si ritrovarono in Piazza Duomo dopo una forte scossa.

Liviana – *Quando c'è stata la scossa del quarto grado, avevo lezione. E' entrata una ragazza a dirci che dovevamo uscire perché a Piazza Duomo girava voce che ci sarebbe stata una scossa ulteriormente più forte. Erano più o meno le tre e mezza. Dopo la prima scossa noi siamo rimasti lì perché il professore ha detto di continuare a seguire la lezione. Anche i professori forse hanno provato a tranquillizzarci perché comunque noi abbiamo continuato a fare lezione. Poi abbiamo deciso di andare via perché comunque non ce la sentivamo di restare lì e siamo andati a Piazza Duomo. Ho chiesto a due persone della protezione civile cosa dovevamo fare. C'era tanta gente a Piazza Duomo, girava questa voce che ci sarebbe stata una scossa più forte, dicevano che questa voce era arrivata dai laboratori del Gran Sasso.*

Umberto Braccili – *Laboratori del Gran Sasso e quindi Giuliani?*

L. – *Non lo sappiamo. Dicevano solo che la voce era arrivata dai laboratori del Gran Sasso. Chiesi ad un ragazzo che portava una maglia della protezione civile ed era nei pressi di un furgoncino della protezione civile, di fronte al negozio Manzi, in Piazza Duomo. Ho chiesto se era vero e lui mi ha risposto che il terremoto non poteva essere previsto, ma che dovevamo stare tranquilli e che potevamo tornare a casa. Era la solita frase fatta da parte di tutti.*

Marilisa Coco, per il mio primo libro sul sisma, "Macerie dentro e fuori", per ricordare il suo ragazzo Maurizio Natale, ideò una "genialata". Scrisse una piccola storia che commosse anche l'attore Lino Guanciale che la recitò per l'associazione AVUS 2009. Ogni volta che leggo "lettera dal futuro" piango. Marilisa scrive per Maurizio di come è evoluta la sua vita, a 10 anni dal terremoto. Il finale è un pugno in un occhio come lo scandire le tappe di vita di un giovane di 22 anni.

LETTERA DAL FUTURO, 6 APRILE 2019

Sono tornato a L'Aquila, 10 anni dopo il forte sisma che ha distrutto la città. Sono andato a pregare nella Basilica di Col-

lemaggio, come facevo ai tempi dell'Università quando non tornavo a Monteodorisio per il fine settimana. Ho passeggiato per le strade del centro. Ed infine sono tornato in via Luigi Sturzo dove abitavo quell'anno, il mio palazzo quella notte si sbriciolò riducendosi a un cumulo di macerie.

Per fortuna in molti non dormivano in casa dopo gli allarmi dal Comune e dalla Protezione Civile durante la settimana precedente, e noi studenti eravamo già a casa per le vacanze di Pasqua perché l'Università era stata chiusa anticipatamente. Anche se L'Aquila non mi piaceva molto, vedere in TV le immagini catastrofiche dei luoghi che avevo vissuto con i miei compagni di Università e con la mia fidanzata mi fece male. Avevo molti ricordi lì. A settembre mi sono trasferito dall'Università dell'Aquila perché viaggiare tutti i giorni da Vasto era troppo stancante e nel 2012 mi sono laureato. Ho trovato subito lavoro, anche se all'inizio la retribuzione non era eccezionale e lavoravo per altri, ma mi sarei ritrovato in pochi anni a dirigere cantieri miei! Nonostante il lavoro, ho continuato a impegnarmi per il mio paese: l'Odorisiana, il comitato feste e anche l'amministrazione comunale! Mia madre è fiera di me!!!, i suoi tanti sacrifici fatti per farmi studiare sono finalmente stati ripagati. Il 14 settembre 2014 mi sono sposato, Don Nicola ha celebrato il mio matrimonio nel Santuario della Madonna delle Grazie. Da due anni sono diventato papà e Nico è la mia gioia. La sera non vedo l'ora di tornare a casa per giocare con lui e tra qualche mese arriverà anche una bambina ma non sappiamo ancora come chiamarla. Questa è la storia che avrei voluto raccontarvi, questa è la vita che avrei desiderato per me e per la mia famiglia, questo è quello per cui ho sempre pregato... Ma purtroppo quella notte sono morto... Ing. Maurizio Natale.

Marilisa abitava a poche centinaia di metri, sulla stessa strada dell'appartamento di Maurizio. Ci racconta: *Ero una studentessa universitaria, alle 3.32 del 6 aprile 2009, quando la terra ha iniziato a tremare, prima ancora che il mio letto smettesse di tremare, ho preso il cellulare ed ho chiamato Maurizio, il suo cellulare era spento. Maurizio era il mio fidanzato, era uno studente di ingegneria civile, iscritto al terzo anno, aveva 22 anni. Abitavamo sulla stessa strada, via Luigi Sturzo, una strada chiusa fatta di sei o sette abitazioni. Mi aveva chiamato al penultimo "urlo della Terra", intorno all'una di notte, dicendomi per tranquillizzarmi: "Amò, non preoccuparti, non è il terremoto. Sono io che questa sera ho mangiato i fagioli". Rideva per telefono poi... "l'affondo" del terremoto definitivo. Il mio era il primo palazzo, il suo l'ultimo. Quando sono riuscita ad uscire di casa, sono corsa verso casa sua, ma ho dovuto ripercorrere la strada almeno un paio di volte, perché non trovavo la casa. Ho visto la sua auto e facendo un paio di passi ho visto il tetto dell'abitazione, un palazzo di tre piani che era ridotto a poco più di un metro e mezzo di altezza. Maurizio fu trovato nel pomeriggio del martedì, era ancora nel suo letto. Dopo anni, io di quella notte ricordo ancora ogni istante, ogni rumore, ogni odore, ogni sensazione. Dopo troppi anni (l'intervista è del 2020) non è stata fatta giustizia e non sarà fatta mai. Dopo anni restano ancora tanti interrogativi, tanti se, tanti ma. Sono ancora convinta che se l'università fosse stata chiusa preventivamente, dato che c'erano scosse da mesi, Maurizio sarebbe ancora qui, perché aveva un'altra casa, aveva un al-*

tro letto nel quale potersi svegliare. Maurizio era un ragazzo solare, lui aveva fame di vivere, aveva avuto un'infanzia difficile e finalmente iniziava a riscattarsi, avrebbe potuto avere tanto dalla vita e avrebbe potuto anche dare tanto.

Quando iniziai a scrivere "Noi non abbiamo colpe", che trovai sulle più importanti piattaforme informatiche, un mio collega aquilano disse "pensi ancora al terremoto, ormai è passato". Mi scattò l'allarme. E già perché catalogata come sciocca (solo sciocca) la frase di De Berardinis "facciamoci un buon bicchiere di Montepulciano di Ofena", punita con due anni senza altra conseguenza, sta passando la teoria che è stata tutta colpa del terremoto. Così non è. Molti degli scienziati presenti alla riunione del 30 marzo 2009 avevano sostenuto nel decennio precedente disastri a L'Aquila.

1995 – Enzo Boschi, geofisico, socio dell'accademia dei Lincei, presidente de INGV fino al 2011 affermava: "La zona dell'Aquilano è considerata tra le venti in Italia con la maggior probabilità di un forte evento sismico nel ventennio 1995-2015."

1997 – In una intervista il ricercatore dell'osservatorio geofisico de L'Aquila Paolo Palangio dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia affermava che secondo le statistiche entro il 2010 c'era il 70% di probabilità di avere un evento catastrofico nell'area compresa tra L'Aquilano la Marsica e l'Alto Sangro.

1999 – Dieci anni prima del sisma viene promosso un progetto per la formazione di tecnici per l'attività di prevenzione sismica per le regioni dell'Italia meridionale e per la rilevazione della vulnerabilità del patrimonio edilizio a rischio sismico.

1999 – Il dottor Gaetano De Luca, responsabile dell'INGV della rete sismica Abruzzese, viene "zittito" dopo aver riportato i dati su un'accelerazione di 10 volte superiore alla normalità nel sottosuolo aquilano a causa della sua composizione detritica, che funziona da amplificatore del terremoto.

2004 – L'INGV classifica il Comune de L'Aquila in zona uno riguardo alla pericolosità sismica, ma la Regione rifiuta questo suggerimento e mantiene la classificazione in zona due.

2004 – Lo studio di Collabora - Abruzzo Engineering, che non si trova più on line, fu commissionato dalla Regione Abruzzo e fu riesumato da un cassetto dopo il sisma 2009. Aveva analizzato 137 edifici pubblici, nel capoluogo regiona-

le, a rischio crollo in caso di sisma. Furono spesi 4 milioni di euro per quello studio che fu inutile visto che non fece scattare la parte operativa della messa in sicurezza antisismica delle strutture. Tra gli edifici dove intervenire, diceva Collabora, la Casa dello studente e il Convitto Nazionale, poi crollati e con diverse persone decedute dentro. Anche la Prefettura, che divenne subito il simbolo della tragedia delle strutture, era stata catalogata pericolosissima (Fig. 4).

2007 – Il CNR realizza una mappa del rischio sismico secondo la quale l'Abruzzo ha il 30% di probabilità di essere colpito da un sisma con magnitudo superiore a 5.3. L'Aquila viene indicata come epicentro statisticamente più probabile.

2007 – Viene pubblicato il volume "Dall'emergenza alla ricostruzione" di Franco Barberi vulcanologo e a capo della Protezione Civile fino al 2001. Il professore scrive nella pubblicazione: "In caso di ripetizione del massimo terremoto storico occorso nell'area a L'Aquila ci sarebbe un numero di vittime che va da quattro a cinquemila persone". Poi aggiunge che per evitare ciò bisognerebbe intervenire sistematicamente sugli edifici.

L'ora del sisma 2009, 3.32, può essere considerata una "fortuna".

17 febbraio 2009 – Il Centro nazionale terremoti degli INGV invia all'ufficio rischio sismico del Dipartimento della Protezione Civile un comunicato sulla sequenza in atto che non può essere certo considerata tranquillizzante. Dall'Ufficio rischio sismico della Protezione Civile nessuna risposta. Tutto questo fu detto in una intervista dal professor Enzo Boschi.

L'allarme esisteva, l'allarme non fu comunicato. Ci sono altri particolari nel libro che vi prego di acquistare. Non è pubblicità, tra l'altro come per il precedente ho rinunciato a tutti i compensi. Il territorio, martoriato nel 1400 e nel 1703 era stato studiato a fondo e questo crea un altro "orribile" quesito. Perché L'Aquila non fu costruita "ad arte" sapendo dei pericoli? Perché lo studio sulla vulnerabilità dei palazzi pubblici fu messo in un cassetto senza nessuna analisi ed oggi quel documento, costato 4 milioni di euro, non si ritrova negli uffici della Regione Abruzzo? I palazzi privati non furono studiati forse per mancanza di budget ma alle 3.32, con 309 morti, crollarono anche quelli. Nessuna prevenzione e nessuna comunicazione. Scosse dal dicembre 2008 ma la Protezione Civile non aveva allertato, anzi. Non aveva, insieme al Comune, previsto eventuali vie di fuga e negli ultimi giorni, quando l'intensità di "tremore" della terra non c'erano tende nelle piazze dove chi aveva paura poteva passare la notte. La temperatura in città ad aprile può scendere anche sotto lo zero. Vietato pensare, abbiamo tanto valium a disposizione.

La onlus A.V.U.S 2009, che è destinataria dei proventi, ha pensato dal 2014 di organizzare un premio di laurea per la migliore tesi sulla prevenzione sismica. È rivolto ai giovani, ovviamente. Noi diversamente giovani abbiamo combinato tanti casini. Pensate all'Hotel Rigopiano che ha un capitolo tutto suo sul libro. Quest'anno "la medaglia della più brava" è stata conquistata da Giorgia Ferri, ingegnere edile laureatasi all'Università Politecnica delle Marche che ha sede ad Ancona. Ha parlato di Senigallia, fra alluvioni e terremoti ed ha avuto come compenso la somma di tremila euro che fa sicuramente piacere a chi esce dall'università e,



FIGURA 4. Il palazzo del Governo dell'Aquila, fino al 2009 sede di Prefettura e Archivio di Stato, è stato completamente distrutto dal terremoto del 6 aprile, diventando uno dei simboli di quell'evento.

troppo spesso sfruttata, aspetta anni prima di realizzare il progetto di una vita o si trasferisce all'estero. Quei 55 fuorisede de L'Aquila morti sotto le macerie non sono riusciti a programmare il futuro. Gli introiti dal libro serviranno al premio, per continuare a proporlo, insieme all'Università de L'Aquila e al Gssi, visto che quasi tutte le università, convinte, aderiscono con i propri "ragazzi" da dodici anni.

I PROCESSI

L'associazione ha anche bisogno di altri soldi. Quei genitori vorrebbero dedicarsi, costretti dagli eventi, solo alla sofferenza del cuore ma ... ci sono i processi. Sergio Bianchi, presidente AVUS 2009, inizia dal processo per il crollo della casa in via D'Annunzio dove il figlio Nicola abitava. Sul contratto era scritto "condominio completamente ristrutturato dal punto di vista statico".

«Nel corso delle indagini è venuto fuori invece che c'era stata una riunione condominiale a febbraio prima del sisma, molto accesa, nella quale si è discusso della stabilità di quella casa. Noi non siamo mai venuti a conoscenza dell'esistenza di quella riunione condominiale, gli affittuari non partecipano. L'abbiamo saputo solo in sede processuale quando il direttore dei lavori ha ammesso le sue responsabilità comunicando, davanti ai giudici, che non aveva sviluppato e previsto alcuni calcoli sulla struttura per progettare l'intervento. Lo ha ammesso ed è stato condannato a tre anni di reclusione con le pene accessorie, cioè il divieto di svolgere la sua professione in attesa della sentenza definitiva. In appello la pena è stata ridotta a un anno e sei mesi. Poi la Cassazione annulla l'appello e rimanda le carte al tribunale di Perugia per competenza. I giudici chiedono un'analisi di previsione: verificare virtualmente i danni alle strutture in mancanza di un terremoto. Non ho mai capito questo quesito. Questo succede nel 2017. Perugia come corte d'appello ha solo il tempo di convocare la prima udienza per comunicare che il reato è andato in prescrizione. Poi arriva il processo in sede Civile contro la Commissione Grandi Rischi andato avanti fino ad aprile 2022, quando è stata emessa la sentenza dal giudice Monica Croci. In sintesi si sostiene che Nicola, mio figlio e tutti quei ragazzi che facevano parte dell'esposto presentato dall'Associazione AVUS 2009, sono colpevoli al 100% per la propria morte. Semplificando: hanno sbagliato loro nello scegliere di dormire a casa, dovevano uscire all'aperto. Sono stati "incauti".»

La corte d'Appello de L'Aquila ha confermato quella dolorosa e "bizzarra" sentenza di primo grado. Documenti che racconto nel libro, ci sono molte situazioni imbarazzanti che non anticipo, non furono presi in esame anche se facili da trovare sul web. In più bisognava pagare lo Stato per i processi. Ventitremila euro da pagare per i genitori, somma congelata in attesa del pronunciamento da parte della Cassazione. E siccome questa raccontata è "una storia sbagliata" arriva anche la nuova legge Cartabia. Per evitare l'accumulo di ricorsi al terzo grado di giudizio, Marta Cartabia, nel 2021 ministro della Giustizia, ha introdotto un giudice monocratico, tra il ricorso e il pronunciamento della corte di terzo grado. Il ricorrente deve scrivere un sunto di quello che eventualmente presenterà poi ai togati. Se il "giudice tutto solo", leggendo un riassunto per la storia degli "incauti", gli gira in un certo modo, dice no, e il terremoto de L'Aquila

resterà forse in un film, forse in una canzone e passerà ai libri di storia come "quello del buon bicchiere di vino"

Ma non è finita qui, ci dice Sergio Bianchi.

«Il ricorso lo abbiamo presentato il 15 gennaio 2025. Il giudice monocratico non lo leggerà prima di quattro anni ma ne ha sei per farlo. Il 3 marzo, a cinquanta giorni dalla compilazione del mini ricorso dell'avvocato Patrizia Schiarizza, una sentenza di secondo grado di un giudice aquilano ha annullato il responso di primo grado dove la stessa giudice del 100% di colpa, aveva decretato il 30% (come se si discutesse di un tamponamento tra auto) a 24 universitari fuori sede di via Campo di Fossa. I ragazzi "non sono più responsabili di essere volati in cielo". Questa nuova sentenza fa giurisprudenza, può essere richiamata al giudice che deve decidere "sì o no" alla Cassazione. Questa integrazione nel ricorso non è permessa anche se l'addetto leggerà le carte almeno nel 2029. Non sono permesse integrazioni e quindi l'avvocato e le famiglie non possono che pregare Iddio per un miracolo».

A differenza di Sergio Bianchi provo invece ad essere positivo ma vado a sbattere contro una montagna che si chiama "prescrizione". Il sentore è lo stesso che hanno i parenti delle vittime dell'Hotel Rigopiano. La cassazione, in quel caso, ha rimandato al tribunale di Perugia per valutare le troppe assoluzioni tra alcune figure chiave. Da analizzare la posizione di chi non aveva stilato il piano valanghe. Ma la paura, anche in questo caso, di chi chiede giustizia, che partito il processo non ci sia tempo per svilupparlo. Appare il fantasma della prescrizione. Potrebbe succedere anche per il sisma de L'Aquila.

CONCLUSIONI

Chiudo con una frase che mi disse Marinella, una mamma che aveva perso il figlio sotto le macerie:

"Perché il sapere accumulato in anni di studi non fu messo in pratica prima di quella notte? Perché non ci fu comunicazione per allarmare la popolazione? Penso che proprio tutti si sarebbero potuti salvare e ringraziare poi le istituzioni del buon lavoro costruito".

Lo scopo di tutti quelli che piangono ancor oggi è di gridare forte che molto si sbagliò da parte di enti delegati dallo Stato nel periodo precedente al 6 aprile 2009 ma anche anni prima. Più persone prenderanno coscienza di questo racconto più saliranno le probabilità di avere giudici che riapriranno il processo per verificare le teorie fino ad oggi accantonate. Non esitate a scrivermi (umberto.braccili@gmail.com) se volete ospitarci per ascoltare il nostro pensiero.

CURRICULUM

Umberto Braccili, giornalista professionista, ha lavorato per l'Agenzia Ansa, per il quotidiano Il Centro e, nel 1987, è stato assunto dalla sede abruzzese della Rai. Da inviato speciale ha prodotto inchieste e reportage in quasi tutta Europa e in America e Canada. Nel 2022 si è licenziato dall'azienda creando un blog, producendo soggetti per cortometraggi, tra questi "Lettera dal futuro" visibile sul canale Youtube. Ha scritto "Macerie dentro e fuori", "Lo dico al Tg", "I Mille Abruzzi" e "Noi non abbiamo colpe" Hatria Editore, finito di stampare nell'aprile 2025. Devolve i compensi spettanti sempre per progetti sul sociale.

Il territorio abruzzese e le conseguenze dei terremoti: storia di distruzioni, abbandoni e ricostruzioni di centri abitati

The Abruzzo territory and the consequences of earthquakes: history of destruction, abandonment and reconstruction of inhabited centers

SERGIO CASTENETTO

CNR-IGAG, già Dipartimento della Protezione civile

E-mail: s.castenetto@gmail.com

EUGENIO DI LORETO

SIGEA- APS

E-mail: ugeol.dlr@gmail.com

Parole chiave: terremoto dell'Aquila del 2009, vittime della casa dello studente, processi iniqui

Key words: 2009 L'Aquila earthquake, student house's victims, unfair trials

RIASSUNTO

L'Abruzzo è una delle regioni italiane a più elevato rischio sismico, sia per il livello di pericolosità del territorio, sia per la vulnerabilità di numerosi centri abitati caratterizzati da un'edilizia vetusta e poco mantenuta, fragile, soggetta a subire gravi danni in caso di scuotimento sismico. Nel corso dei secoli nel suo territorio sono avvenuti alcuni dei più forti terremoti della storia sismica italiana, che hanno lasciato tracce ancora oggi riconoscibili degli effetti che provocarono. Tra i più evidenti, l'abbandono di tanti piccoli centri abitati e lo spostamento della popolazione verso nuovi insediamenti spesso distanti dai siti originari. Nel contributo vengono descritti alcuni borghi "fantasma", testimonianza dei drammi vissuti in occasione di forti terremoti del passato. La ricerca e la visita di questi luoghi costituisce uno strumento utile alla crescita della consapevolezza delle fragilità del territorio, premessa indispensabile per l'efficacia delle azioni di prevenzione del rischio sismico.

ABSTRACT

Abruzzo is one of the Italian regions with the highest seismic risk, both for the level of hazard of the territory and for the presence of numerous inhabited centers characterized by old and poorly maintained, fragile buildings, subject to suffering serious damage in case of seismic shaking. Over the centuries, some of the strongest earthquakes in Italian seismic history have occurred in its territory, leaving traces of the effects they caused that are still recognizable today. Among the most obvious, the abandonment of many small, inhabited centers and the movement of the population towards new settlements often distant from the original sites. The contribution describes some "ghost" villages, evidence of the tragedies experienced during strong earthquakes in the past. Research and visits to these places constitute a useful tool for increasing awareness of the fragility of the territory, an indispensable premise for the effectiveness of seismic risk prevention actions.

INTRODUZIONE

Il territorio abruzzese è stato frequentemente colpito da forti terremoti, molti dei quali distruttivi. La convivenza con il terremoto rappresenta dunque un aspetto che ha profondamente caratterizzato, nei secoli, la storia di questo territorio. Al di là delle conseguenze materiali, danni e vittime, i terremoti hanno spesso rappresentato, nel lungo termine, occasioni (talvolta mancate) di rinascita e di ripartenza per le città colpite. Ad esempio, città come Amatrice (fino al 1926 facente parte della provincia de L'Aquila), L'Aquila, Avezzano che hanno subito storicamente gravissime conseguenze a causa di eventi sismici, sono state ricostruite sfruttando il patrimonio di esperienze e di saperi che, nel tempo, si erano stratificati e maturati, mantenendo tuttavia gli insediamenti originari e la fisionomia urbana. In altri casi, in particolare per i centri minori, non di rado si è preferito abbandonare i vecchi centri abitati per costruirne di nuovi, anche distanti, trasformando i borghi originari in luoghi "fantasma".

In Italia, non solo in Abruzzo, sono molti gli esempi di città abbandonate a causa di violente scosse di terremoto (Castenetto e Di Loreto, 2022), come Noto, Ragusa, Avola e Occhiola (oggi Grammichele), ricostruiti altrove dopo il terremoto del 1693 della Sicilia orientale (Castenetto, 2016). Oppure come il paese di Bussana, nell'entroterra di Sanremo, abbandonato e ricostruito tre chilometri più a valle dopo il terremoto ligure del 1887. Ma di casi simili se ne osservano numerosi, diffusi lungo tutta la dorsale appenninica, dall'Appennino ligure sino all'Arco Calabro, passando per l'Appennino settentrionale e centro meridionale, un territorio corrispondente alle aree a più elevata pericolosità sismica della Penisola italiana, dove si sono verificati i maggiori terremoti storici.

L'Abruzzo, caratterizzato da una storia sismica che ha profondamente inciso sulle vicende delle comunità locali, presenta ancora oggi le ferite visibili dei terremoti che nel passato ed anche in tempi recenti (terremoto aquilano del 2009 e dell'Italia centrale del 2016-17) hanno colpito il suo

territorio. In questo articolo citeremo solo alcune delle località distrutte e abbandonate, probabilmente le più note, alla scoperta dei segni ancora oggi riconoscibili di ciò che avvenne, contribuendo in tal modo al recupero della memoria storica, premessa indispensabile per la crescita della consapevolezza su rischio sismico e prevenzione.

INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA SISMICO IN ABRUZZO

Le elaborazioni che il CRESA (Centro Studi dell'Agenzia per lo Sviluppo della Camera di Commercio del Gran Sasso d'Italia) ha svolto in un rapporto del 2017, integrando la classificazione sismica del territorio nazionale con i dati forniti dall'Istat, hanno evidenziato che in una ipotetica graduatoria l'Abruzzo è tra le Regioni italiane a più elevata sismicità, la seconda per superficie dopo il Friuli e la terza per popolazione e numero di edifici residenziali dopo la Campania e la Sicilia (CRESA, 2017). Ciò evidenzia l'importanza del problema sismico e il livello di rischio

le regioni confinanti come il Molise e l'Umbria. Ciò risulta evidente in Fig. 1, in cui è riportata la distribuzione degli epicentri dei principali terremoti avvenuti nell'ultimo millennio in territorio abruzzese (Rovida *et al.*, 2022). Più in particolare:

- 1) l'area dell'Aquilano è caratterizzata dal grande terremoto del 2 febbraio 1703 ($I_0=X$ grado MCS e $M_w=6.7$), dai forti terremoti del 1461 e del 1762 (M_w compresa tra 5.5 e 6.5) e da numerosi eventi di magnitudo più modesta; a questi bisogna aggiungere il terremoto del 6 aprile 2009 con dimensioni ed origine simili a quelle degli eventi del 1461 e 1762;
- 2) l'area del Fucino è caratterizzata dal grande terremoto del 13 gennaio 1915 ($I_0=XI$ MCS e $M_w=7.1$) e da pochi altri eventi di magnitudo più modesta, gran parte dei quali repliche del terremoto del 1915;
- 3) l'area della Maiella è caratterizzata dal grande terremoto del 3 novembre 1706 ($I_0=X-XI$ MCS e $M_w=6.8$) e dal forte terremoto del 1933 ($I_0=IX$ MCS e $M_w=5.9$).

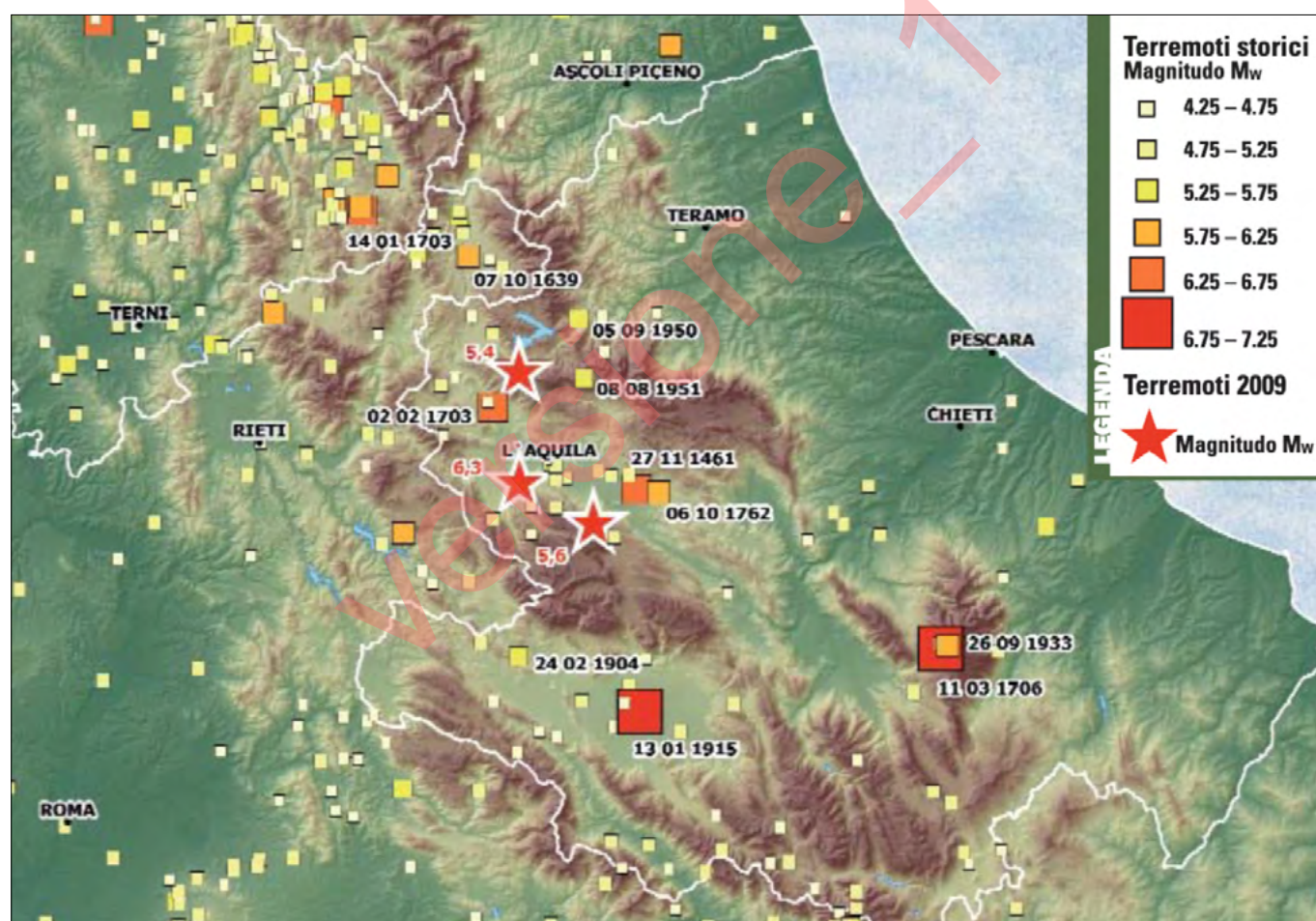


FIGURA 1. Distribuzione degli epicentri dei principali terremoti avvenuti nell'ultimo millennio in territorio abruzzese (Fonte: <https://www.edurisk.it/book/speciale-abruzzo/>)

che caratterizza la Regione, dove la sismicità si concentra soprattutto nell'entroterra, mentre è bassa lungo la costa adriatica. Il settore abruzzese dell'Appennino centrale è caratterizzato dalla presenza di tre importanti aree sismo-genetiche rappresentate dall'Aquilano (media ed alta valle del fiume Aterno) e dalle zone del Fucino e della Maiella, in ognuna delle quali ha avuto origine un terremoto di dimensioni rilevanti, con effetti che hanno coinvolto anche

La sismicità del territorio abruzzese si colloca dunque tra le più elevate a livello nazionale, giustificando l'applicazione di norme tecniche particolarmente severe per le costruzioni, modulate come previsto dalla legislazione vigente sulla base della pericolosità sismica (DM 17 gennaio 2018; NTC18). Ricordiamo che la pericolosità sismica di un'area rappresenta la probabilità di superamento in un dato intervallo di tempo, di una data soglia di intensità (o

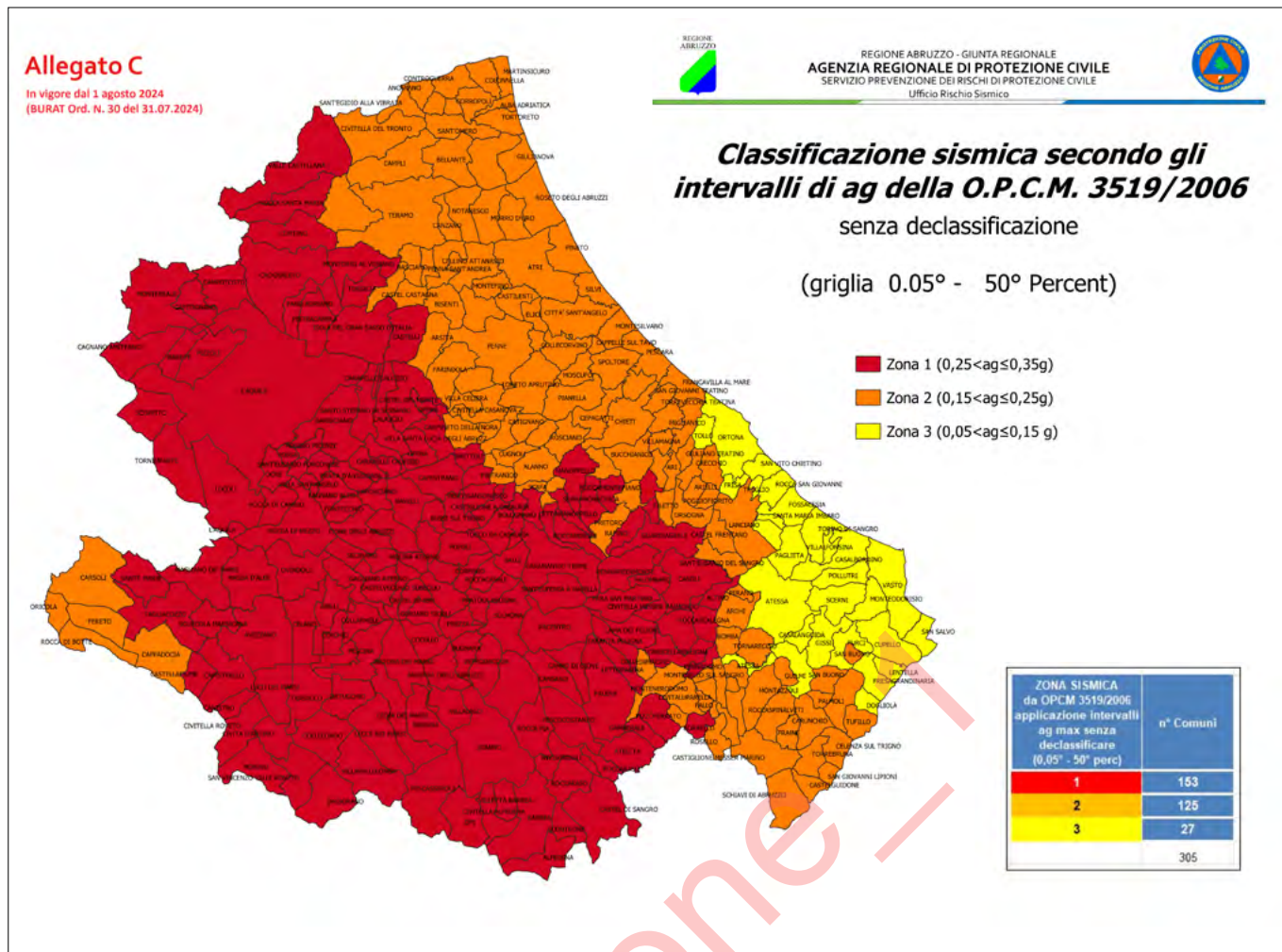


FIGURA 2. Classificazione sismica dell’Abruzzo (Fonte: <https://protezionecivile.regione.abruzzo.it/>).

accelerazione). Un territorio ad alta pericolosità è dunque un territorio nel quale l’evento più probabile presenta una magnitudo più elevata rispetto al territorio circostante (Sabetta, 2021).

Sulla base degli studi più recenti sulla pericolosità sismica regionale, la Giunta della Regione Abruzzo con Delibera n. 425 del 15 luglio 2024 ha preso atto e adottato la nuova classificazione sismica del territorio, elaborata dal Servizio Prevenzione dei rischi di protezione civile dell’Agenzia regionale di PC (Decreto del Presidente della Giunta regionale n. 4 del 5 luglio 2024). La classificazione approvata assegna le nuove “zone sismiche” a ciascuno dei comuni abruzzesi sulla base dei criteri nazionali dettati dalla OPCM 3519/2006 uniformando la classificazione dell’Abruzzo a quella delle altre Regioni. Su tali basi il territorio regionale (Fig. 2) risulta essere così classificato, su un totale di 305 comuni: 153 sono in zona 1; 125 in zona 2; 27 in zona 3; nessuno in zona 4.

A differenza del passato, quando la classificazione sismica assegnava ai comuni una categoria sismica che forniva direttamente il parametro da utilizzare nella progettazione (s, grado di sismicità), oggi la classificazione sismica rappresenta uno strumento utile ai fini amministrativi e programmatori per ottimizzare le scelte politiche sul territorio regionale e per indirizzare efficacemente l’assegnazione delle risorse destinate alla mitigazione del rischio sismico. Per la definizione dell’azione sismica di cui tenere conto

nei calcoli di progetto, ci si deve riferire invece ad una accelerazione di “sito” individuata sulla base delle coordinate geografiche dell’area dove si deve realizzare l’opera e in funzione della “vita nominale” dell’opera, cioè del numero di anni durante i quali una struttura deve poter essere usata per lo scopo per cui è stata progettata, generalmente pari o superiore a 50 anni.

Questo valore di pericolosità di base è stato definito e reso disponibile dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

I PRINCIPALI TERREMOTI STORICI, BREVE DESCRIZIONE

Nella Tabella 1 vengono elencati gli eventi sismici più significativi che hanno interessato il territorio abruzzese con effetti pari o superiori al VII grado della scala MCS (Mercalli Cancani Sieberg, MCS, 1930), estratti dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15, Rovida *et al.*, 2022), con una breve descrizione degli effetti. Alcuni di questi terremoti, in particolare, hanno avuto un maggiore impatto sulle vicende delle comunità colpite, determinando in alcuni casi l’esodo della popolazione, l’abbandono e lo spostamento di centri abitati.

Di seguito vengono meglio descritte le caratteristiche e le conseguenze di tali maggiori eventi, a partire dalle in-

Tabella 1. Principali terremoti del territorio abruzzese, con indicazione della data, dell'area epicentrale dell'evento simico, dell'intensità macrosismica (I-MCS) e Magnitudo (Mw), e una sintetica descrizione degli effetti.

DATA	AREA EPICENTRALE	I - MCS MAGNITUDO (Mw)	DESCRIZIONE
9 settembre 1349	Appennino laziale-abruzzese	IX 6.3	Uno dei più importanti eventi sismici verificatisi nell'Appennino centro-meridionale. A L'Aquila fece crollare moltissime case e chiese. Le vittime furono ottocento
26 novembre 1461	Aquilano	X 6.5	Effetti distruttivi nella città de L'Aquila. Danni importanti si ebbero in tutto il territorio circostante. 100 le vittime
8 ottobre 1639	Monti della Laga	IX-X 6.2	Amatrice e molte delle località vicine risultarono distrutte dal sisma, con il crollo di gran parte delle abitazioni e degli edifici pubblici. Circa 500 le vittime.
Gennaio- febbraio 1703	Valnerina – Appennino laziale-abruzzese	XI 6.9 (14 gennaio) X 6.7 (2 febbraio)	Uno dei più gravi periodi sismico che interessò l'Italia centrale. Una prima scossa, il 14 gennaio, colpì l'Umbria meridionale, le provincie di Rieti e l'Aquila. La scossa del 2 febbraio provocò i danni maggiori a L'Aquila e dintorni.
3 novembre 1706	Maiella	X-XI 6.8	La scossa colpì la zona della Maiella, tra l'Abruzzo meridionale e il Molise. Danneggiata Sulmona e altri centri posti lungo i versanti della Maiella.
6 ottobre 1762	Aquilano	VIII 5.5	Furono colpiti violentemente Castelnuovo e Poggio Picenze nei pressi de L'Aquila.
12 luglio 1873	Val Comino	VII-VIII 5.4	Danni nelle località di Villetta Barrea, Pescasseroli, Castel di Sangro, Civitella, Alfedena, (in Abruzzo); Alatri, Veroli, San Biagio, Ceprano, Frosinone, Anagni, Cassino (nel Lazio)
6 dicembre 1874	Val Comino	VII-VIII 5.5	Interessato il circondario di Sora, Isola Liri, Alvito, Posta, Acquafondata, Villa S. Lucia, Gallinaro, (nel Lazio); Pescocostanzo, Scapoli (in Abruzzo)
10 settembre 1881	Chietino	VII-VIII 5.4	Una forte scossa colpì Orsogna e Lanciano (CH).
24 febbraio 1904	Marsica	VIII-IX 5.7	I centri più danneggiati furono: Rosciolo dei Marsi, Magliano de' Marsi, Scurcola Marsicana, Cappelle, Sorbo, Poggio Filippo, San Donato, Gallo e Scanzano.
13 gennaio 1915	Marsica	XI 7.1	La scossa interessò gran parte dell'Italia centrale, distruggendo la città di Avezzano, provocando danni gravissimi in tutti i paesi dell'area fucense e circa 30.000 vittime.
26 settembre 1933	Maiella	IX 5.9	Danni gravi agli abitati di Lama dei Peligni, Taranta Peligna, Fara San Martino e Civitella Messer Raimondo, nel versante sud della Maiella, in provincia di Chieti. Danni anche nel versante nord del massiccio montuoso, a Salle e in alcune frazioni di Caramanico Terme, in provincia di Pescara.
5 settembre 1950	Gran Sasso	VIII 5.7	Epicentro nella valle del Vomano, tra Campotosto e Nerito, ma gli effetti si propagarono soprattutto sul versante nord-orientale del Gran Sasso. Due vittime a Farindola, nel pescarese, e un centinaio di feriti, con una estesa area di danneggiamento, a coprire quasi tutta la provincia di Teramo e parte delle province di Pescara, L'Aquila, Rieti e Ascoli Piceno.
7 maggio 1984	Monti della Meta	VIII 5.9	Interessata la zona dell'Alto Sangro fra cui Palena. Tutta la regione montuosa della Maiella risentì del sisma, in particolare le zone da Alfedena fino alla costa adriatica.
6 aprile 2009	Aquilano	IX-X 6.3	La città dell'Aquila, posta nell'area epicentrale, subisce danni gravissimi: circa un quarto del patrimonio abitativo risulta inagibile. Si contano circa 1500 feriti e 300 vittime, concentrate soprattutto nel capoluogo e nella frazione di Onna, 8 km a Sud Est della città.

formazioni contenute nel Database Macrosismico Italiano (DBMI15, Locati *et al.*, 2022).

Terremoto del 9 settembre 1349

Uno dei più importanti eventi sismici con origine nell'Appennino centro-meridionale i cui effetti furono probabilmente dovuti a scosse pressoché contemporanee ma provenienti da aree epicentrali distinte (Guidoboni *et al.*, 2018). Rappresenta il terremoto più fortemente risentito in Roma di cui si ha notizia. Il terremoto mostra infatti un campo macrosismico (distribuzione geografica degli effetti) eccezionalmente esteso, tanto che l'area con effetti distruttivi (maggiori o uguali al IX grado MCS) interessa il tratto dell'Appennino centrale che va dall'Aquilano alla zona di Isernia. Gli effetti osservati a L'Aquila (IX grado MCS) sono da attribuirsi al cumulo degli effetti prodotti da più scosse. Raccontano le *Cronache aquilane* di Buccio di Ranallo che le scosse distrussero ampi tratti delle mura cittadine, facendo crollare moltissime case e chiese. Le vittime furono ottocento: un numero elevatissimo, soprattutto in considerazione del fatto che all'epoca gli abitanti dell'Aquila non arrivavano neppure a diecimila. A causa del sisma crollò la chiesa di Santa Maria a Paganica e venne completamente distrutta anche la chiesa di San Francesco, che già aveva subito gravi danni in un precedente terremoto (1315). La ricostruzione fu così lunga e complessa che in molti furono scoraggiati e decisero di tornare ai villaggi e ai castelli d'origine. L'esodo fu tale che, temendo che la città venisse cancellata dal Regno di Napoli, il signore dell'Aquila, Pietro Camponeschi fece chiudere con tavoloni di legno le brecce delle mura cittadine, facendole presidiare.

Terremoto del 26 novembre 1461

L'evento è collegato ad una sequenza sismica iniziata nei mesi precedenti e i danni furono in massima parte dovuti a due scosse più forti e di intensità paragonabile avvenute nella notte tra il 26 e il 27 novembre, a due ore di distanza una dall'altra. Si registrarono effetti distruttivi nella città de L'Aquila (IX grado MCS) e nei piccoli centri abitati a Est-Sud-Est della città (Sant'Eusanio, Onna, Poggio Picenze). A L'Aquila, in particolare, furono gravemente danneggiati i quartieri storici di San Giovanni e di San Pietro: un quarto degli edifici crollò e la stragrande maggioranza dei rimanenti furono lesionati in maniera grave. Danni importanti si ebbero in tutto il territorio circostante, con circa 100 vittime. Come nel 1349, gli effetti a L'Aquila furono il risultato cumulato delle due scosse.

Dalle testimonianze raccolte da Anton Ludovico Antinori si evince che due ore dopo la scossa principale si verificò una replica, anch'essa molto forte che fece crollare gli edifici già pesantemente lesionati dalla scossa precedente. I sopravvissuti, in fuga dalle proprie abitazioni, si accamparono per giorni negli spazi aperti della piazza del Mercato o del Campo di Fossa (Guidoboni *et al.*, 2018).

Terremoto di Amatrice del 8 ottobre 1639

Nella notte tra il 7 e l'8 ottobre 1639, lungo il confine settentrionale del Regno di Napoli, si verificò un terremoto

di considerevoli proporzioni, che «diroccò palazzi, chiese e case» nei centri di Amatrice e Accumoli (Boero, 2021).

Amatrice rappresentava agli inizi del Seicento una delle principali realtà della provincia di Abruzzo Ultra: la sua popolazione era inferiore solamente a quella dell'Aquila, di Leonessa e di Montereale. Nel circondario di Amatrice erano presenti numerose comunità, provenienti anche da territori limitrofi, attratte dalle possibilità lavorative offerte dall'economia locale. Il sisma scompaginò questo assetto e produsse danni in una vasta area: crolli furono attestati nelle frazioni di Cantone, Conche, Filetta, Forcelle, San Martino e Scai. A distanza di una settimana, una nuova scossa provocò ulteriori danni nella stessa Amatrice e la distruzione quasi completa delle frazioni di Casale, Collemoresco, Roccasalli, Rocchetta e Torrita. Per inciso, sono le stesse frazioni gravemente danneggiate nel sisma del 2016.

Gravi conseguenze si verificarono a Campotosto, Poggio Cancelli e Montereale, in particolare nel palazzo dei Ricci. Il bilancio fu di circa cinquecento vittime, relativamente contenuto grazie a due scosse "premonitrici" che il 7 ottobre allertarono la popolazione.

Terremoto del 2 febbraio 1703

Questo periodo sismico, che interessò tutta l'Italia centrale, è uno dei più gravi della storia sismica italiana. Una prima scossa, il 14 gennaio, colpì l'Umbria meridionale (Norcina e Cascia), le provincie di Rieti e l'Aquila (Galadini, 2013). La scossa del 2 febbraio, giorno della Candelora, provocò i danni maggiori nell'aquilano.

L'Aquila venne completamente rasa al suolo, con quasi tutte le chiese e gli edifici pubblici crollati o gravemente danneggiati. Ciò fu certamente l'esito degli effetti cumulati del periodo sismico: sembra che la prima scossa abbia prodotto a L'Aquila effetti riferibili al VII grado MCS, mentre la seconda, del 2 febbraio, interessando un patrimonio edilizio con vulnerabilità accresciuta dal precedente evento nurisino, distrusse quasi completamente la città, raggiungendo il IX grado MCS. Si stima che nelle varie scosse che colpirono la città quell'anno siano morte in tutto oltre 6.000 persone.

Il periodo sismico provocò forti danneggiamenti anche a nord di L'Aquila, e in particolare ad Arischia, Pizzoli e Barete cui è stata attribuita l'intensità del X grado della scala MCS. Anche l'area di risentimento fu molto vasta estesa fino a Roma verso ovest, Chieti verso est e Avezzano verso sud, cioè ambiti geografici limitatamente interessati dagli effetti del terremoto del 2009.

Il terremoto, nel medio termine, determinò anche all'Aquila un declino demografico: ancora nel 1712 la popolazione cittadina era stimata intorno ai 2.684 abitanti; solamente nel 1719 il numero degli abitanti, raggiungendo le 4.201 unità, tornava ad avvicinarsi ai livelli dell'epoca pre-sisma (Galadini, 2013).

Terremoto della Maiella del 1706

Il terremoto della Maiella del 3 novembre 1706 è uno dei maggiori terremoti che hanno interessato la Valle Peligna, avvenuto a soli 3 anni di distanza dalla crisi sismica del

1703 che aveva colpito L'Aquila. L'epicentro è stato localizzato sul versante aquilano della Maiella, e precisamente a Campo di Giove, a circa 15 km a est di Sulmona.

Le vittime, nella sola Sulmona, ammontarono a 1150 circa su un totale di 2400, un numero comunque "piccolo" se paragonato al numero degli abitanti, 9000-10000 (Guidoboni *et al.*, 2018).

Questo evento sismico colpì una città che doveva presentare edifici cronologicamente riferibili ad un intervallo plurisecolare, dai secoli XIII-XIV in poi. Per quanto riguarda la distribuzione del danno all'interno del centro storico, vari indizi suggeriscono che l'intero abitato all'interno delle mura, senza distinzioni di zone più o meno colpite, ebbe a soffrire ingenti danni. Ciò è testimoniato, a esempio, dalla ricostruzione post-sisma, da cui emerge che gran parte del centro storico attuale è costituito da edifici dei secoli XVIII e, soprattutto, XIX.

Terremoto del 13 gennaio 1915

Il terremoto del 13 gennaio 1915, noto anche come terremoto di Avezzano, fu un drammatico evento sismico che devastò la zona della Marsica e le aree limitrofe del Lazio causando più di 30.000 vittime (Castenetto e Galadini, 1999).

La scossa principale non fu preceduta da alcun evento premonitore che potesse creare un particolare allarme. La sua intensità fu pari all'XI grado della scala Mercalli e la sua magnitudo è stata stimata pari a 7.1 (Mw). È considerato l'evento più catastrofico dell'Abruzzo e uno dei più catastrofici della storia sismica italiana.

L'evento mise in evidenza l'impreparazione e, in parte, l'impotenza dello Stato italiano, tutto concentrato sull'imminente guerra. Ciò produsse notevoli ritardi nei soccorsi e una gestione disastrosa dell'emergenza, con problemi sanitari e un processo di ricostruzioni che tardò ad avviarsi. Il terremoto interruppe bruscamente il processo di trasformazione urbana che dalla metà dell'Ottocento stava trasformando Avezzano da piccolo borgo murato a centro territorialmente strategico per l'economia della regione, in particolare dell'area marsicana, grazie anche al prosciugamento del Lago Fucino (Fig. 3).

Il terremoto del 1915 è forse l'evento che più fortemente ha inciso sulle comunità locali e conseguentemente

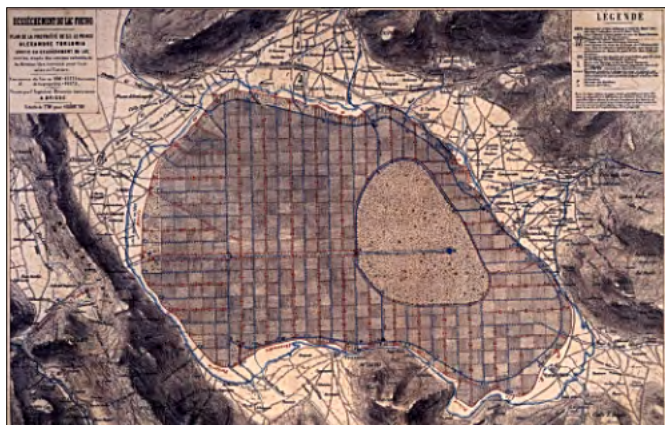


FIGURA 3. Carta relativa al prosciugamento del Lago Fucino (in Castenetto e Galadini, 1999).

condizionato le scelte ricostruttive o gli abbandoni degli insediamenti. Per avere un'idea della portata della tragedia, basti pensare che nella sola Avezzano, che contava allora 11208 abitanti, le vittime furono 10719. Ignazio Silone così descrisse l'evento: *"I soffitti s'aprivano. In mezzo alla nebbia si vedevano ragazzi che, senza dire una parola, si dirigevano verso le finestre. Tutto è durato venti secondi, al massimo trenta. Quando la nebbia di gesso si è dissipata, c'era davanti a noi un mondo nuovo..."* (Silone, 1965).

Trattandosi di un terremoto relativamente "recente", di elevata magnitudo, rappresenta anche il terremoto al quale si devono riferire la maggior parte dei piccoli centri abitati abbandonati che si possono osservare sul territorio e che descriveremo nel prossimo paragrafo.

Terremoto del 6 aprile 2009

La sequenza sismica culminata con la scossa del 6 aprile 2009, ebbe inizio nel dicembre 2008 e terminò nel 2012, con epicentri nell'intera conca aquilana e in parte della provincia dell'Aquila. La scossa principale, del 6 aprile, alle ore 3:32, ha avuto una magnitudo pari a 6.3. Le vittime sono state 309, circa 1600 feriti e circa 65.000 sfollati, alloggiati in una prima fase in tendopoli, auto, alberghi lungo la costa adriatica (Castenetto, 2012).



FIGURA 4. Un esempio dei complessi edilizi sismicamente isolati realizzati nell'ambito del Progetto CASE (Complessi Antisismici Sostenibili Ecocompatibili) (Fonte: <https://impresapellegrini.it/>).

Per il ricovero dei senza tetto venne poi avviato il Progetto CASE (Complessi Antisismici Sostenibili Ecocompatibili), completato in 9 mesi, attraverso il quale sono state realizzati 185 edifici sismicamente isolati, con ricettività complessiva di 15.000 persone in 19 quartieri. L'intervento è stato innovativo sotto il profilo organizzativo, progettuale, tecnico e cantieristico, caratterizzato dalla messa in opera di oltre 7.000 isolatori sismici, per la prima volta utilizzati su larga scala nel settore abitativo (Fig. 4).

La ricostruzione vera e propria ha preso avvio nel 2012. Molti monumenti sono stati restaurati come pure gran parte dell'edilizia pubblica. Ma il lavoro di ricostruzione nel centro storico sarà ancora lungo; più spediti sono i lavori nei piccoli centri del cratere. I vari governi hanno cercato di velocizzare le procedure con strutture amministrative ad hoc e la nomina di un commissario.

I CENTRI ABITATI “FANTASMA”

Il territorio abruzzese è costellato da tanti piccoli e medi insediamenti in stato di abbandono. Non sempre a causa di eventi sismici, ma quasi sempre, comunque, a causa di problematiche connesse con la fragilità del territorio. Un territorio aspro, complesso sia da un punto di vista fisico che sociale, nel corso dei secoli soggetto a diverse dominazioni e trasformazioni. Tra tutte ricordiamo il prosciugamento del lago Fucino, alla fine del XIX secolo, ad opera della famiglia Torlonia; un'opera che ha modificato non solo il paesaggio ma che ha anche inciso profondamente sulla società ed economia locali. In anni recenti, gli eventi

dagli anni Sessanta nel nuovo Borgo Sperone a Gioia dei Marsi. A Ortona dei Marsi si trova la borgata disabitata di Fonte Giusta. Morino Vecchio, nel comune di Morino, Meta Vecchio di Meta e Lecce Vecchio, Frattura Vecchia, nel comune di Scanno, sono stati abbandonati dai pochi superstiti del terremoto del 1915. Anche il borgo medievale di Albe Vecchia, sovrastante il sito archeologico di Alba Fucens, nel comune di Massa d'Albe, venne distrutto e abbandonato in seguito al terremoto della Marsica.

Non sempre alle distruzioni sono seguiti abbandoni completi, alcuni esempi virtuosi vanno citati. Come il recupero e la valorizzazione del borgo di Calascio Vecchio,



FIGURA 5. Rocca di Calascio (Fonte: <https://www.flickr.com/photos/abulafiafoto/>).

sismici del 2009 hanno prodotto sia nuovi abbandoni, sia ricostruzioni che hanno talvolta alterato in modo significativo l'architettura e il paesaggio. Basti pensare alle aree residenziali costruite per dare alloggio temporaneo ai senza tetto dell'Aquila (Progetto CASE) e divenute ormai parte integrante del paesaggio (Fig. 4).

Sarebbero molti gli esempi di centri abitati abbandonati e divenuti “città fantasma” che potremmo citare, come alcune frazioni montane, in provincia di Teramo, dei comuni di Rocca Santa Maria, Torricella Sicura, Cortino e Valle Castellana o il borgo medievale di Sant'Egidio alla Vibrata, il borgo medievale di Faraone Antico, la frazione Case Cascignoli del comune di Bisenti, Vezzano di Mosciano Sant'Angelo e Frunti nel comune di Teramo.

In provincia dell'Aquila troviamo poi Sperone, abbandonato dai suoi abitanti che si sono trasferiti a cominciare

distrutto dal terremoto della Maiella del 1706, su cui poggia la suggestiva Rocca di Calascio, set delle vicende di alcuni famosi film, tra i quali *Il nome della rosa* e *Ladyhawke* (Fig. 5).

Molti dei centri abitati che abbiamo citato sono ben conosciuti e meta di esplorazioni e visite culturali per le suggestioni che ancora oggi suscitano nel ricordo di quanto avvenne in un passato neanche troppo lontano. A seguire descriviamo brevemente alcune di queste città “fantasma” che rappresentano un monito per i contemporanei a sviluppare efficaci politiche di prevenzione del rischio sismico.

Faraone Antico

Nel cuore della Val Vibrata, in provincia di Teramo, ormai disabitata da molti anni è Faraone Antico, nel comune di Sant'Egidio (Fig. 6).



FIGURA 6. Faraone Antico (Fonte: <https://it.wikipedia.org/>).

Il paese, composto complessivamente da una ventina di edifici, era stato danneggiato dal terremoto del Gran Sasso del 5 settembre 1950 di magnitudo 5.7 Richter (VIII MCS) e poi abbandonato nel corso degli anni '60. Il suo nome affonda le radici nel medioevo, infatti pare derivi dalla paro-

la longobarda “fara” che significa accampamento. Faraone è suddivisa in due parti distinte e separate, una, più antica, rappresentata da un vero e proprio borgo fortificato di chiara impronta medioevale, al quale si accede attraversando un profondo fossato con un ponticello, passando sotto un gran-



FIGURA 7. Frattura Vecchia (Fonte: <https://www.michiamolena.it/frattura-vecchia/>).

de portale ad arco, sovrastato da una torre merlata. L'altra, costruita negli anni '60 del Novecento grazie a contributi pubblici che hanno consentito gradatamente a molti dei suoi abitanti di dar vita ad un nuovo centro a poca distanza.

Frattura Vecchia

Frattura Vecchia, in provincia de L'Aquila è un altro dei paesi fantasma abruzzesi che affascina per la sua storia e per il suo aspetto attuale. Il borgo si trova presso Scanno, vicino alle Gole del Sagittario, ad un'altitudine di 1300 metri (Fig. 7).

Deriva il suo nome da una spaccatura che si generò nel Monte Genzana a causa di un terremoto in epoca preisto-

rica che, tra l'altro, sbarrò il fiume Sagittario dando vita all'attuale lago di Scanno. Il centro abitato venne poi costruito proprio dove si trova questa antica fenditura nella roccia. Il borgo fu abbandonato nel 1915 in seguito al forte terremoto del 13 gennaio che colpì la zona dell'Appennino centrale. Il sisma rase al suolo gran parte di Frattura Vecchia, causando la morte di 120 persone, perlopiù donne e bambini.

Lecce Vecchia

Il borgo di Lecce Vecchia è un altro esempio emblematico di paese fantasma. Proprio come Frattura, fu distrutto dal terremoto del 1915 (Fig. 8).



FIGURA 8. Il borgo di Lecce Vecchia (Fonte: <https://blogcamminarenellastoria.wordpress.com/>).



FIGURA 9. Morino Vecchio (Fonte: <https://www.flickr.com/photos/abulafiafoto/>).

Questo luogo si trova a 1270 metri d'altitudine, molto più in alto del nuovo centro abitato di Lecce nei Marsi. Ancora ben conservate le rovine dell'antico castello e poche altre costruzioni che ancora resistono all'abbandono.

Morino

Il terremoto del 1915 è la causa anche della fine di Morino. La distruzione del paese ha fatto indicare Morino Vecchio come la "Pompei della Marsica". Nel borgo abbandonato oggi restano in piedi costruzioni come l'Eremo della Madonna del Caùto o il Campanile della chiesa di Santa Maria Bambina (Fig. 9).

Sono in corso diversi progetti di recupero ad opera dell'amministrazione comunale, di associazioni di volontari e di semplici cittadini che si impegnano a preservare questo gioiello della Marsica.

Sperone

Un altro paese fantasma che si affaccia sulla piana dell'ex lago Fucino è il borgo vecchio di Sperone (L'Aquila). Il paese disabitato, detto anche Sperone Vecchio o Torre Spe-



FIGURA 10. Borgo vecchio di Sperone (Fonte: <https://www.virtu-quotidiane.it/>).

rone, sorge in una posizione panoramica in località valico della Forchetta, sul monte Serrone, a quota 1224 m s.l.m. (Fig. 10).

Questa montagna, inclusa nell'area del parco nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise, separa la valle del Giovenco dalla piana del Fucino. Il suo territorio è attraversato dalla terminazione meridionale della faglia che generò il terremoto catastrofico del 13 gennaio 1915. Il centro situato sotto la torre medievale fu quasi completamente distrutto dal sisma ed è stato ricostruito delocalizzando le abitazioni poco più a valle.

Le mutate condizioni socioeconomiche del XX secolo hanno spinto gli abitanti ad accettare un secondo trasferimento a Borgo Sperone, località contigua al paese fucense di Gioia dei Marsi, sede dell'omonimo comune.

Per completare questa sintetica carrellata su alcuni dei più suggestivi borghi abbandonati è necessario spendere alcune parole sulle conseguenze del terremoto del 6 aprile 2009, che ha lasciato ferite profonde non solo sul territorio ma anche nella popolazione, costretta spesso per i ritardi della ricostruzione o le mutate condizioni socioeconomiche ad abbandonare i luoghi nei quali erano vissute e avevano costruito piccole comunità.

In molti dei luoghi colpiti dal terremoto del 2009 le lancette si sono fermate alle 3:32 di quel 6 aprile. In alcuni dei 56 Comuni del cosiddetto "cratere sismico" la ricostruzione è stata avviata, ma in alcune frazioni dell'Aquila come Onna, Paganica e Tempera, i vecchi centri storici sono ormai spariti. Ci sono case, nel comune di Fossa, lasciate con arredi e suppellettili dal giorno del terremoto. In altri borghi come Castelnuovo, la parte vecchia è rasa al suolo (Fig. 11).

Un altro dei centri abbandonati è San Benedetto in Perillis, nascosto tra le valli della piana di Navelli, da dove passava una delle arterie più importanti d'Italia: il tratturo L'Aquila-Foggia. Paganica, frazione dell'Aquila, è oggi è un paese abbandonato. I vicoli sono deserti, l'erbaccia s'è impadronita delle macerie, molte case sono rimaste così com'erano quella notte: abbandonate in fretta, con le porte spalancate. La stessa situazione la troviamo ad Onna, borgo simbolo di quel sisma. I pochi abitanti rimasti sono stati spostati pochi metri più in là, in un villaggio di legno prefabbricato, donato all'epoca dal governo tedesco.

RIFLESSIONI CONCLUSIVE

I terremoti e in particolare le vicende che seguono le distruzioni provocate dallo scuotimento sismico, forniscono



FIGURA 11. Castelnuovo, S. Pio delle Camere (Fonte: <https://it.wikipedia.org/>).

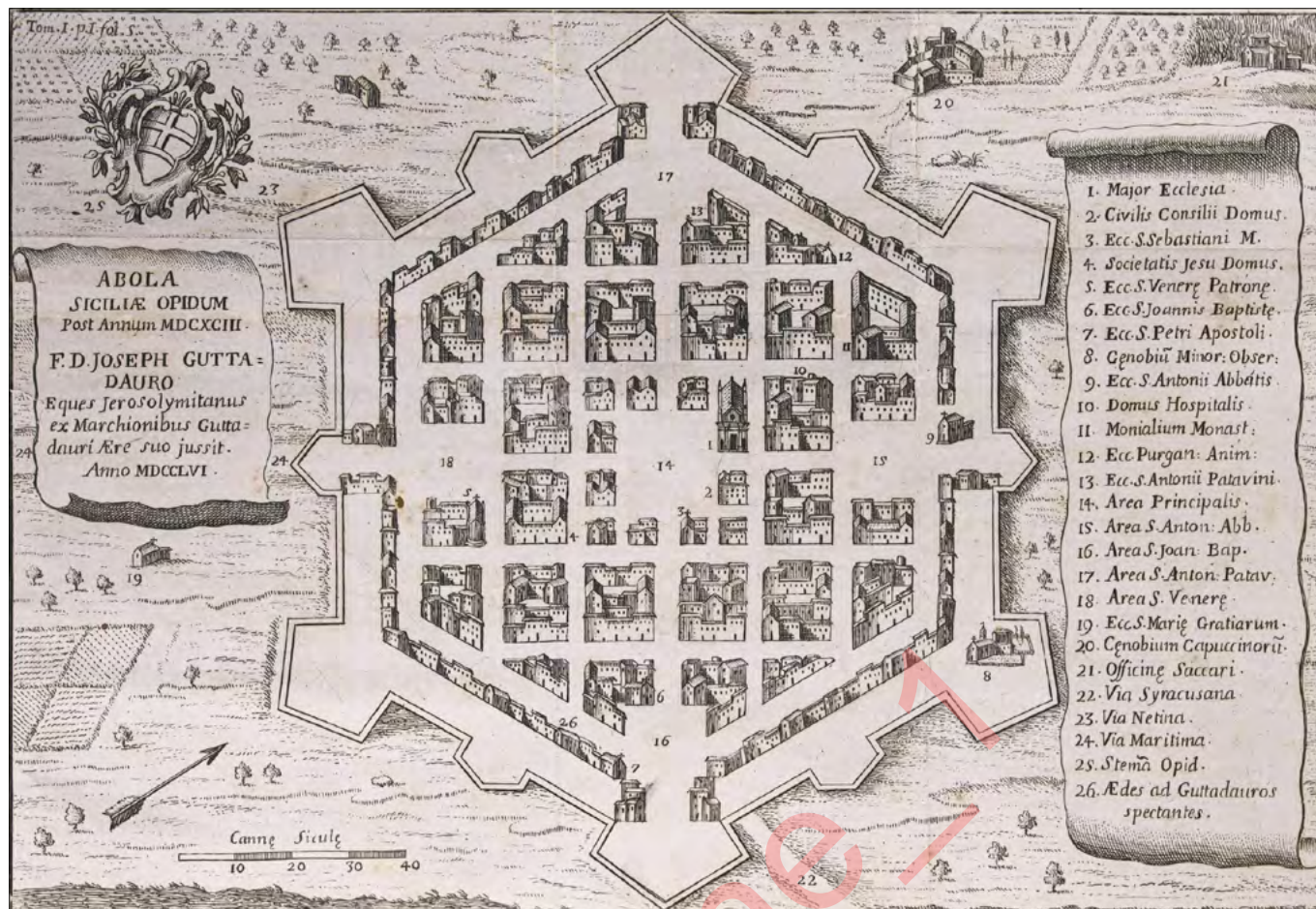


FIGURA 12. Planimetria della nuova città di Avola (Fonte: <https://it.m.wikipedia.org/>).

spunti di riflessione sulle modalità con le quali, nei diversi periodi storici e diverse forme di governo del territorio, si è affrontato il superamento dell'emergenza e il ritorno delle comunità nei luoghi colpiti. Nelle aree oggetto di questo contributo, nei terremoti passati, non furono sperimentate soluzioni radicalmente innovative, come avvenne ad esempio in occasione della catastrofe del 1693 in Sicilia (Dufour, Raymond, 2009), che indusse a costruire nuovi abitati in altri siti (come nei casi emblematici di Noto e Avola), con differenti planimetrie, introducendo scelte costruttive e urbanistiche che riducessero le possibili conseguenze dei futuri terremoti (Fig. 12).

Nell'area appenninica si privilegiò la tendenza al recupero e alla riqualificazione dei siti danneggiati e distrutti, mantenendo sostanzialmente la configurazione originaria. Ad esempio, le ricostruzioni messe in atto ad Amatrice, Norcia, L'Aquila e nelle aree limitrofe, hanno comportato un rifacimento dei rispettivi centri storici che, al di là dei danni provocati da successivi sismi e dei mutamenti avvenuti nei secoli XIX e XX, hanno a lungo ampiamente preservato la propria fisionomia fino ai più recenti terremoti del 2009 e del 2016-2018. Questa tendenza ha certamente caratterizzato la storia delle "città", diverso ciò che è avvenuto nel corso dei secoli per tanti piccoli centri, frazioni, villaggi, dove le popolazioni sono state spesso costrette ad abbandonare per le difficili condizioni ambientali, per l'indisponibilità delle risorse necessarie per ricostruire le abitazioni o per cercare altrove nuove opportunità. È così che percorrendo il territorio, lasciate le principali arte-

rie stradali, si scoprono le tracce di un passato anche non troppo lontano: ruderi abbandonati ormai integrati nella natura, simboli di vicende che hanno modificato la storia locale, quella storia che non troviamo sui libri di testo ma che ha profondamente caratterizzato tante piccole comunità del nostro Paese e del territorio abruzzese, oggetto del nostro contributo. Il terremoto del 6 aprile 2009 è l'evento che tragicamente ha riportato alla memoria quanto già avvenuto in passato e ha riproposto con assoluta urgenza il tema delle scelte ricostruttive e della ripresa economica e sociale dei territori colpiti. Volendo porre a confronto il quadro di quanto avvenuto nel passato con quanto osservato nel 2009, è Interessante osservare, ad esempio, le scelte adottate sull'utilizzo degli spazi pubblici. A L'Aquila, nel 1703, i cittadini si adoperarono per mantenere nella piazza il mercato del sabato, nel contesto di un rapporto con il centro storico avvertito come irrinunciabile per il riassetto delle comunità terremotate. Analogamente, dopo il 1639, ad Amatrice fu privilegiata una strategia di ripopolamento del centro storico nell'ottica di un riavvio delle principali attività manifatturiere e commerciali. Dopo il terremoto del 2009, il centro della città de L'Aquila ha avuto una difficile fase di recupero, che solo di recente ha evidenziato i primi segnali di ripresa delle attività che tradizionalmente lo caratterizzavano e un desiderio da parte della popolazione di riappropriarsi degli spazi pubblici. Nelle fasi immediatamente successive all'evento, invece, il centro cittadino si presentava come un cantiere militarizzato, a fronte della nascita di nuovi spazi pubblici nelle periferie, non perce-

pite dagli abitanti come centri di socialità aggregativa. Per concludere, nella prospettiva di favorire la crescita della consapevolezza sui rischi del territorio, si ritiene che il recupero e la valorizzazione dei centri abbandonati potrebbe rappresentare un utile supporto alle politiche di prevenzione. Di recente il Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia di ISPRA ha ideato il Progetto Ghost Cities con lo scopo di eseguire un censimento a livello nazionale dei borghi d'Italia abbandonati, e creare una banca dati su di un GIS. Ciascun sito è corredato di una scheda descrittiva con brevi informazioni di tipo geografico, geologico e storico, oltre alla descrizione delle cause che hanno determinato il loro abbandono. Le cause geologiche risultano essere preponderanti: i terremoti, le frane, le inondazioni ma anche la mancanza di acqua a causa dell'estinzione di sorgenti e l'esaurimento delle coltivazioni minerarie hanno spinto nel corso della storia migliaia di persone a trovare un'altra abitazione altrove (Del Monaco *et al.*, 2023). L'obiettivo finale del Progetto Ghost Cities è di valutare la responsabilità della componente territoriale e dei rischi geologici in questo processo di abbandono, rispondere all'esigenza di migliorare la conoscenza del processo di abbandono dei borghi in Italia, nonché la valorizzazione di questi bellissimi luoghi dal punto di vista storico e culturale. La crescita della consapevolezza non può prescindere dalla conoscenza di quanto avvenuto nel passato e il contatto diretto, diremmo "fisico" con i ruderi, le macerie degli edifici che un tempo costituivano degli insediamenti, caratterizzati da vita sociale, da attività produttive, da vicende umane personali e collettive, sono un potentissimo mezzo per la comprensione delle conseguenze di un terremoto e il riconoscimento di quali siano gli elementi che determinano la gravità del danno: dove e come si costruisce, la qualità dei materiali, dei leganti, la tipologia degli elementi strutturali e la valutazione della loro capacità di resistere alle sollecitazioni sismiche. La scelta dei luoghi è poi fondamentale: vanno evitati i luoghi non idonei per evidenti fragilità del territorio: terreni franosi o terreni che possono amplificare lo scuotimento sismico, la vicinanza a pendii scoscesi. Le suggestioni che restano dopo una visita ai borghi che abbiamo ricordato in questo contributo possono, più dei libri di testo e dei decreti, favorire la comprensione dell'importanza delle azioni che possono essere messe in atto per la prevenzione del rischio sismico, responsabilizzando ciascuno di noi sul ruolo che possiamo e dobbiamo svolgere per l'efficacia di tali azioni.

BIBLIOGRAFIA

- BOERO S. (2021). *Distruzioni e rinascite nella storia dei terremoti dell'Italia centro-appenninica (secc. XVII e XVIII)*. "Storicamente", 17 (2021), no. 34. DOI:10.52056/9788833138732/34.
- CASTENETTO S., GALADINI F. (EDS) (1999). *13 gennaio 1915. Il terremoto nella Marsica*. Ist. Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- CASTENETTO S. (2012). *Il terremoto del 6 aprile 2009 e gli studi di Microzonazione Sismica per la ricostruzione dell'area aquilana*. In "L'Aquila e il cratere sismico. Le cause e le conseguenze del terremoto (6 aprile 2009) in chiave applicativa e interdisciplinare", a cura di Cristiano Pesaresi, Semestrale di Studi e Ricerche di Geografia (totale 222 pagine), XXIV, Fascicolo 1, gennaio-giugno 2012.
- CASTENETTO S. (2016). *Terremoto e percorso normativo per le ricostruzioni: due storie parallele*. In «Marsica 1915 - L'Aquila 2009: un secolo di ricostruzioni», a cura di F. Galadini e C. Varagnoli. Gangemi, Roma.
- CASTENETTO S., DI LORETO E. (2022). *Città fantasma e fantasmi in città: storia di distruzioni, abbandoni e ricostruzioni*. In Mem. Descr. Carta Geol. d'It., Vol. 109, pp. 287-300, figg. 31, Roma.
- GUIDOBONI E., FERRARI G., MARIOTTI D., COMASTRI A., TARABUSI G., SGATTONI G., VALENSISE G. (2018). *CFTISMed, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi: <https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5>.
- CRESA (2017). *Pericolosità sismica: L'Abruzzo seconda regione italiana per superficie e terza per popolazione ed edifici residenziali in zona sismica 1*. <https://www.academia.edu/37194587/>.
- DELMONACO G., GUARNERI E.M., MORETTI P., NISIO S., POMPILI R., PISTOCCHI L., PUZZILLI L.M., TRAVERSA F. (2023). *Le Ghost Cities d'Italia, l'inventario ISPRA*. In Mem. Descr. Carta Geol. d'It., Vol. 110 (2023), pp. 179-198; figg. 32. Roma.
- DUFOUR L., RAYMOND H (1992) - *1693 Val di Noto. La rinascita dopo il disastro*. Sanfilippo Editore.
- GALADINI F. (2013). *I terremoti in Abruzzo e la cultura sismologica tra la fine dell'Ottocento e i primi del Novecento*. In "... Pareva quel giorno dell'universal Giudizio". *Il terremoto aquilano del 1703 tra indagine storica e sviluppo della sismologia moderna*. Edizioni Kirke.
- LOCATI M., CAMASSI R., ROVIDA A., ERCOLANI E., BERNARDINI F., CASTELLI V., CARACCIOLO C.H., TERTULLIANI A., ROSSI A., AZZARO R., D'AMICO S., ANTONUCCI A. (2022). *Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.4>
- MCS (1930). *Scala macrosismica Mercalli-Cancani-Sieberg*. In Sieberg A.: *Geologie der Erdbeben*, tab. 102, Handbuch der Geophysic. Berlin.
- NTC18 (2018). *Norme tecniche per le costruzioni*. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018, Supplemento ordinario alla G.U. n. 42 del 20 febbraio 2018.
- ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLI B., GASPERINI P., ANTONUCCI A. (2022). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>.
- SABETTA F. (2021). *La pericolosità sismica in Italia: stato dell'arte*. Geologia dell'Ambiente, suppl. al n. 3/2021
- SILONE I. (1965). *Uscita di sicurezza*. Oscar Mondadori, ristampa 2018, Milano.

Caratterizzazione mineralogica preliminare di selci e carbonati ritrovati nel massiccio del gran sasso: un caso studio

Preliminary mineralogical characterization of flints and carbonates found in the gran sasso massif: a case study

SARA DI FELICE^{1*}, ALESSANDRA PASSARELLA¹, GIULIA PIA SERVETTO¹, ERICA BITTARELLO³, LICIA SANTORO¹, RUGGERO VIGLIATURO^{1,2}

¹ Department of Earth Sciences, University of Turin, Torino

² Interdepartmental Centre for Studies on Asbestos and Other Toxic Particulates "G. Scansetti", University of Turin, Torino

³ Regional Museum of Natural Science of Turin, Torino

*Corresponding to: Sara Di Felice

E-mail: sara.difelice@edu.unito.it

Parole chiave: mineralogia, selci, carbonati, massiccio del Gran Sasso d'Italia

Key words: mineralogy, flints, carbonates, Gran Sasso d'Italia massif

ABSTRACT

L'Abruzzo, nel cuore dell'Italia centrale, è una regione che si distingue per il suo ricco patrimonio culturale, ambientale, geologico e mineralogico, e che ospita alcune tra le più alte vette della catena montuosa dell'Appennino. L'Abruzzo è una regione caratterizzata da una complessa storia tettonica e da una varietà di litologie carbonatiche, in particolare i calcari e le dolomie del massiccio del Gran Sasso d'Italia, che si inserisce nell'Unità tettonico-stratigrafica della Piattaforma Carbonatica Laziale-Abruzzese. Questo contesto geologico offre un ambiente ideale per lo studio dei micro-minerali. In questo studio, vengono analizzati due campioni litologici provenienti rispettivamente dal settore che parte da Fonte Vetica e arriva fino alla vetta del Monte Camicia, e dal settore di Castel del Monte sul sentiero di salita verso il Monte Bolza, vette importanti del massiccio del Gran Sasso d'Italia. I campioni prelevati rispettivamente presso il Monte Camicia e il Monte Bolza sono stati caratterizzati mediante diffrazione a raggi X su polveri, microscopia ottica in fluorescenza, e microscopia elettronica a scansione. I risultati mostrano che il campione proveniente dal Monte Camicia è costituito principalmente da calcare e quarzo (selce), mentre il campione del Monte Bolza è costituito prevalentemente da calcare, confermando la natura carbonatica della litologia dell'area analizzata.

1. INTRODUZIONE

L'Abruzzo è caratterizzato da una straordinaria diversità paesaggistica, ed una ricca biodiversità che ne ha decretato il titolo di "*Regione Verde d'Europa*" (ESA, 2010). Con oltre trenta riserve naturali e ben tre Parchi Nazionali (Maiella; Gran Sasso e Monti della Laga; e Abruzzo, Lazio e Molise), l'Abruzzo si colloca al primo posto in Italia per percentuale di superficie protetta, pari a circa il 35% del territorio regionale (Openpolis, 2022). Incastonata nel cuore degli Appennini Centrali, la Regione vanta inoltre un

patrimonio geologico complesso ed eterogeneo, frutto di molteplici processi genetici che, nel corso del tempo, hanno modellato l'assetto strutturale e la morfologia del territorio, sino a definirne l'aspetto attuale, le cui forme e ambienti ne raccontano l'evoluzione nel tempo. Tale complessità geologica che si riscontra nella diversità litologica, mineralogica e geochemica, oltre che nell'assetto strutturale e morfologico, stimola un crescente interesse scientifico orientato ad una maggiore comprensione delle dinamiche che hanno contribuito alla formazione del territorio attuale.

In particolar modo, la mineralogia rappresenta un importante strumento di ricerca scientifica che può fornire un contributo significativo allo studio delle dinamiche terrestri. La "micro-mineralogia", cioè lo studio dei minerali a scala microscopica e delle loro proprietà strutturali e chimiche a livello atomico con l'utilizzo di tecniche ad alta risoluzione, rappresenta un campo di studio ad alta potenzialità e ancora parzialmente inesplorato negli studi geologici.

In questo studio ci concentreremo sull'analisi di due campioni litologici provenienti dal Massiccio del Gran Sasso, nel Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti Laga, nell'Appennino abruzzese, attraverso l'impiego di diverse tecniche analitiche. In dettaglio, i campioni sono stati prelevati dal settore che parte da Fonte Vetica e arriva fino alla vetta del Monte Camicia e dal settore di Castel del Monte sul sentiero di salita verso il Monte Bolza. L'obiettivo del presente lavoro è di caratterizzare dal punto di vista mineralogico, morfologico e geochemico i campioni provenienti dalle aree di studio. I dati ottenuti saranno successivamente discussi in relazione al contesto geologico regionale, in modo tale da poter contribuire alle conoscenze mineralogiche locali. I microminerali, spesso presenti in quantità esigue, costituiscono una componente significativa per la caratterizzazione mineralogica e chimica delle rocce, arricchendo la comprensione di quest'ultime. Verranno impiegate diverse tecniche analitiche, tra cui la diffrattometria a raggi

X su polveri (PXR) e tecniche analitiche di microscopia, tra cui la microscopia ottica a fluorescenza (MOF) e la microscopia elettronica a scansione (SEM) in elettroni secondari (SE) ed elettroni retrodiffusi (BSE) combinata a spettroscopia a raggi X a dispersione di energia (EDXS).

2. BREVI NOTE SUL CONTESTO GEOLOGICO DELLE AREE IN CUI SONO STATI RECUPERATI I CAMPIONI

2.1. Gli Appennini e il Massiccio del Gran Sasso

La catena montuosa degli Appennini è il risultato della collisione continentale a seguito dalla convergenza tra la placca Africana (microplacca Adriatica-Apula) e quella Europea (blocco sardo-corso) a partire dal Neogene (circa 20 Milioni di anni fa) e tutt'ora in corso (VEZZANI *et al.*, 2010).

L'orogene Appenninico è suddiviso in tre segmenti principali: i) gli Appennini Settentrionali, con vergenza N-NE; ii) gli Appennini Meridionali con Vergenza ENE-E; iii) e gli Appennini Centrali, con vergenza che varia da N (es. Gran Sasso, Meta, Matese) a NE-ENE (es. Maiella, Monte Sirente, Monte Morone, Monte Genzana) (GHISSETTI & VEZZANI, 1997). Gli Appennini Centrali abruzzesi, sono costituiti prevalentemente da successioni carbonatiche Meso-Cenozoiche da prossimali di mare basso a distali di mare più profondo, affioranti in diversi settori del Gran Sasso e dei Monti della Laga (CARDELLO & DOGLIONI, 2015). Il Monte Camicia (2564 m) e il Monte Bolza (1904 m), oggetto di studio del presente lavoro, fanno parte del Massiccio del Gran Sasso.

Le sequenze stratigrafiche affioranti registrano un'evoluzione complessa che riflette quella paleogeografica e strutturale a partire dal Triassico Superiore sino Miocene Superiore-Quaternario. Nel dettaglio, la successione stratigrafica del Gran Sasso registra depositi dolomitici di ambiente tidale (Dolomia principale, Triassico Superiore) seguiti da successioni carbonatiche di piattaforma (Calcare Massiccio, Giurassico Inferiore), a cui fanno seguito sequenze sedimentarie complesse costituite da torbiditi calcaree, selci, marne e calcari marnosi, calcareniti bioclastiche e argille (es. Corniola, Verde Ammonitico, Calcari a Posidonia, Calcari Diasprigni, etc.), spesso intercalate ed interstratificate, con spessori variabili e marcate variazioni laterali di *facies* in prossimità di faglie normali.

Il Massiccio del Gran Sasso è costituito da substrati prevalentemente calcarei/dolomitici alternati a banconi arenacei. Le forme del rilievo sono fortemente dipendenti dalle litologie affioranti, con versanti a gradoni alternati a scarpate derivate da erosione selettiva. La natura calcarea delle rocce favorisce la presenza di importanti fenomeni carsici: si riconoscono numerose morfologie carsiche superficiali (doline, inghiottitoi, conche, grotte e gole scavate dall'acqua) in particolare sul versante meridionale (ORTOLANI & MORETTI, 1950).

2.2. Monte Camicia e Monte Bolza

Il Monte Camicia fa parte del Massiccio del Gran Sasso d'Italia e si colloca nell'Unità tettonico-stratigrafica della

Piattaforma Carbonatica Laziale-Abruzzese (ADAMOLI *et al.*, 2012). Sono tre le formazioni geologiche principali che affiorano in questa area: i) la formazione del Calcare Massiccio (MAS), composta da calcari bianchi, compatti e stratificati (5-50 cm) in banchi spessi (1-5 m) tipici di ambienti di piattaforma carbonatica interna; ii) la formazione della Maiolica (MAD), composta da calcari bianchi e sottilmente stratificati e spesso con noduli silicei, indicativi di ambienti pelagici; iii) la formazione di Scaglia Rossa (SAA) composta da calcari marnosi rossi rappresentativi di depositi marini profondi (Adamoli *et al.*, 2012). Per quanto riguarda le fasi mineralogiche principali: i) nella formazione del MAS troviamo carbonati, nella fattispecie calcite; ii) nella formazione del MAD troviamo carbonati (nello specifico calcite) e silicati (quarzo, nei noduli silicei precedentemente citati) e iii) nella formazione di SAA troviamo carbonati (calcite), con presenza anche di minerali argillosi (ADAMOLI *et al.*, 2012).

La località indicata come Monte Camicia in realtà è un settore che parte da Fonte Vetica (1604 m), all'estremità orientale di Campo Imperatore, e arriva fino alla vetta del Monte Camicia. Quest'ultimo ubicato nel settore sud-orientale del Gran Sasso, con i suoi 2564 metri, rappresenta la quinta cima del massiccio. Da qui parte un sentiero che entrando nel vallone di Vradde, sale a mezza costa fino a una larga sella detritica per poi arrivare in vetta.

Dalla cima del Monte Camicia guardando verso ovest è possibile osservare Campo Imperatore, mentre a nord la parete, sopraccitata, precipita per oltre 1200 m sulle colline del teramano.

In prossimità del Monte Camicia, una faglia a basso angolo pone a contatto normale la successione giurassico-cretacica con le dolomie triassiche, determinando la sovrapposizione di rocce più giovani su rocce più vecchie (GHISSETTI & VEZZANI, 1990; ADAMOLI *et al.*, 2012).

In questo settore si trovano calcari marnosi mesozoici con una variabilità cromatica che va da grigi-verde a bianco grigi, ben stratificati con selce (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1963).

Il Monte Bolza appartiene alla formazione geologica del MAS, associato dunque a rocce carbonatiche Meso-Cenozoiche, quali calcari compatti e chiari (CENTAMORE *et al.*, 2006).

L'area di raccolta del campione del Monte Bolza (1904 m) non è ben circoscritta, ci si ritrova nel settore di Castel del Monte sul sentiero di salita verso il Monte Bolza. Le due località unite da una lunga cresta percorribile a piedi, costituiscono un complesso che delimita a SE l'altopiano di Campo Imperatore, dalla Sella di San Cristoforo e il Guado della Montagna. La vetta si trova all'interno dell'unità strutturale M. Cappucciata- M. Offermo, costituita da successioni carbonatiche che riflettono gli effetti della tettonica sinsedimentaria e dell'evoluzione paleogeografica avvenuta tra il Trias e il Neogene. In quest'area predominano depositi meso-cenozoici, costituiti prevalentemente da calcareniti - calciruditi bioclastiche massive in genere di colore bianco avorio, talvolta rosate, con rare intercalazioni micritiche (CENTAMORE *et al.*, 2006).

3. MATERIALI E METODI

Questo studio è stato condotto su due campioni prelevati presso il Monte Camicia (campione MC_1) e il Monte Bolza (campione MB_1) (Fig. 1; Fig. 2). La caratterizzazione di entrambi i campioni è stata condotta mediante diffrazione a raggi X su polveri (PXRD), microscopia ottica a fluorescenza (MOF) e microscopia elettronica a scansione (SEM) combinata a spettroscopia a raggi X a dispersione di energia (EDXS).



FIGURA 1. campione di selce proveniente dal Monte Camicia (MC_1).



FIGURA 2. campione di roccia carbonatica proveniente dal Monte Bolza (MB_1).

3.1 PXRD

L'analisi qualitativa PXRD è stata effettuata mediante diffrattometro Miniflex 600 (Rigaku, Tokyo, Giappone) dotato di una sorgente di radiazione Cu-K α 1 ($\lambda=1,54055$ Å, 15 mA, 40 kV), fenditure di divergenza fisse e un rivelatore multistrip D/TEX Ultra con una risoluzione inferiore

a 200 eV. I campioni sono stati macinati manualmente per mezzo di un mortaio e pestello in agata al fine di ottenere una polvere di granulometria opportuna e successivamente quartati per una maggiore omogeneizzazione del campione. Le polveri di entrambi i campioni (MC_1 e MB_1) sono state trasferite in porta campioni di alluminio utilizzando la tecnica del "side loading". Le misurazioni sono state raccolte nell'intervallo 2θ di 3-80° con un passo di 0,02° e un tempo di conteggio di 0,7 s per passo. Gli spettri acquisiti sono stati successivamente elaborati utilizzando il software PDXL (Rigaku).

3.2 MOF

L'analisi al microscopio a fluorescenza è stata effettuata mediante un microscopio Motic AE31E (Motic, Xiamen, Cina), equipaggiato con una lampada alogena al quarzo Köhler 6V/30W, una sorgente luminosa LUMOS FL LED High Powered e una videocamera Moticam Pro S5 Lite. Sono stati impiegati filtri EGFP/FITC/Cy2/Alexa Fluor 488, TRITC/Cy3/TagRFP/Alexa Fluor 546 e per l'acquisizione delle immagini sono stati utilizzati i software Motic Image Plus 3.1 e Motic Image Devices. I frammenti analizzati in MOF sono stati prelevati dalla prima macinazione grossolana dei due campioni di roccia (MC_1 e MB_1), con l'obiettivo di ottenere frammenti di pochi cm.

Questi frammenti sono stati selezionati con cura, tenendo conto delle differenze cromatiche e tessiture.

L'analisi è stata condotta inizialmente in luce trasmessa, per identificare le aree di interesse, e successivamente in fluorescenza, allo scopo di evidenziare le differenze tra le diverse porzioni dei campioni. Le variazioni cromatiche, sia tra i diversi campioni che all'interno dello stesso campione, sono state fondamentali per assicurarsi di osservare tutte le caratteristiche distintive del materiale.

3.3 SEM-EDXS

L'analisi morfologica e chimica di entrambi i campioni (MC_1 e MB_1) è stata effettuata mediante SEM Tescan Vega 3. Il SEM-EDXS è stato impostato in modalità alto vuoto ($\approx 8 \times 10^{-2}$ Pa), con tensione del fascio e corrente del fascio (BC) variabili, regolate per ottimizzare le analisi morfologiche o chimiche. Il microscopio è equipaggiato con un rivelatore a dispersione di energia Xplore 15 (EDXS) (Oxford Instruments, Abingdon, Regno Unito) gestito dal software AztecONE, versione 6.0 SP1. Le immagini in elettroni secondari (SE), retrodiffusi (BSE) e in catodoluminescenza (SEM-CL) (Retractable Panchromatic) sono state acquisite per ciascun campione come riferimento sia per le analisi morfologiche, che per le analisi chimiche.

Inizialmente i campioni sono stati macinati con l'aiuto di un mortaio e pestello in agata fino al raggiungimento di una granulometria millimetrica. Per evitare l'uso di solventi il materiale macinato è stato trasferito su uno stub in alluminio (Media System Technologies, Macherio (MB), Italia) utilizzando il metodo descritto da VIGLIATURO *et al.* (2019).

Infine, sono stati analizzati i frammenti più grossolani di granulometria centimetrica, già osservati in MOF.

L'osservazione della frazione millimetrica ha permesso di ottenere informazioni microstrutturali e chimiche su singole particelle, mentre la frazione centimetrica ha permesso di indagare le variazioni morfologiche e chimiche legate alle aree che apparivano diverse anche all'osservazione ad occhio nudo e in MOF.

Per assicurare robustezza e validità all'analisi effettuata sono state effettuate mappe e analisi chimiche a spot al fine di andare a confermare le specie evidenziate dall'analisi PXRD.

L'ultima analisi effettuata al SEM è stata la catodoluminescenza (SEM-CL). Questo tipo di analisi restituisce un'immagine bidimensionale su scala di grigi che evidenzia l'intensità della luminescenza su diverse aree del campione. L'immagine CL è generalmente composta da una banda di dati, corrispondente all'intensità della luce emessa per ciascun pixel, e raccolta dal rilevatore (horiba, n.d.).

L'obiettivo di questa analisi è stato quello di confrontare le immagini CL ottenute, con i risultati della chimica ottenuti tramite EDXS, al fine di acquisire ulteriori informazioni relativamente ai campioni studiati.

4. RISULTATI

4.1 PXRD

L'analisi qualitativa eseguita con tecnica PXRD mostra che entrambi i diffrattogrammi presentano diverse fasi minerali cristalline (Fig. 3 e Fig. 4). Tutti i picchi rilevati dal detector sono ben definiti e la completa assenza di gobbe in entrambi gli spettri suggerisce la bassa percentuale in peso di componente amorfa. Entrambi gli spettri PXRD mostrano un background leggermente rialzato a bassi angoli 2θ .

Le principali fasi mineralogiche identificate nel campione MC_1 sono quarzo (SiO_2 , db card number 00-070-3755) e calcite (CaCO_3 , db card number 00-001-0837). Il diffrattogramma acquisito sul campione prelevato nel Monte Bolza (MB_1) conferma la presenza di quarzo (db card number 00-005-0490) e calcite (db card number 00-002-0629) e, possibilmente, di manganocalcite (una varietà di calcite ricca di Mn, db card number 00-002-0630).

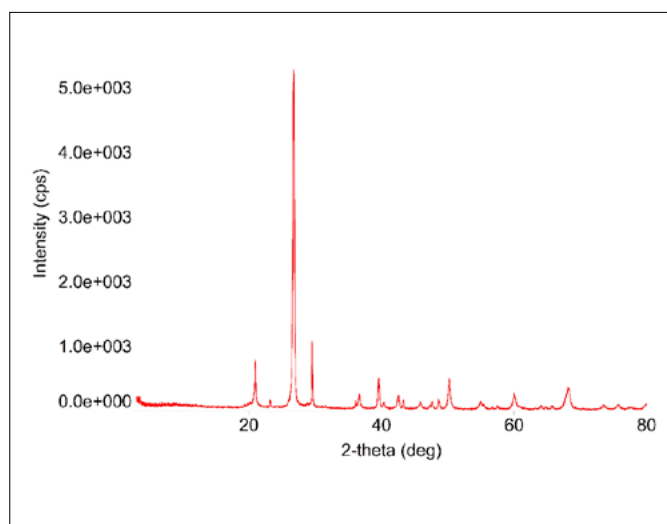


FIGURA 3. Diffrattogramma del campione MC_1.

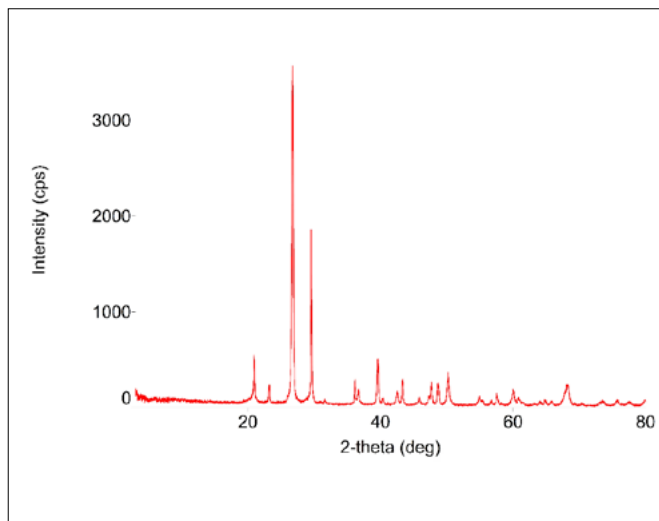


FIGURA 4. Diffrattogramma del campione MB_1.

4.2 MOF

Le immagini ottenute tramite microscopia a fluorescenza hanno permesso di identificare diverse aree dei campioni, caratterizzate da intensità di fluorescenza visibilmente differenti.

In particolare, il campione MC_1 ha mostrato fluorescenza solo nella porzione cromatica più chiara, mentre le aree cromatiche di colore rosso e quelle scure risultano prive di fluorescenza (Fig. 5).

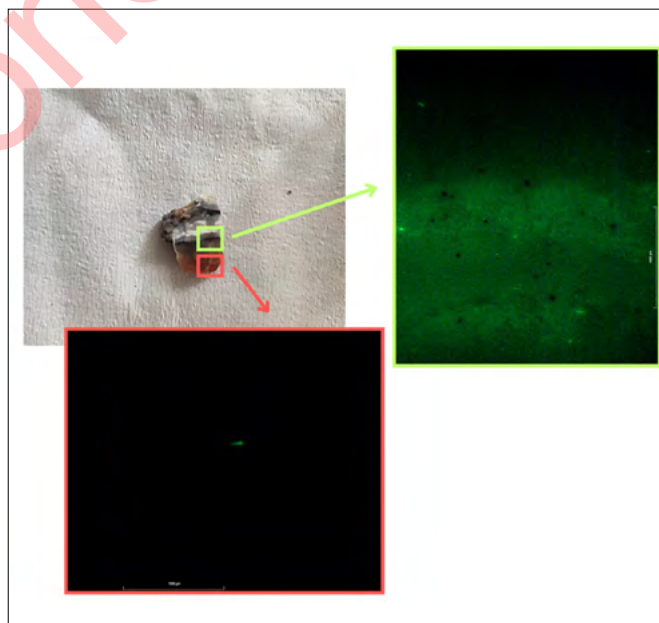


FIGURA 5. Immagini in fluorescenza di un frammento della frazione centimetrica del campione MC_1. L'immagine nel riquadro rosso mostra il risultato della fluorescenza della porzione cromatica ramata, mentre l'immagine nel riquadro verde mostra la fluorescenza della porzione cromatica ramata (quella in nero) e delle altre porzioni cromatiche. Le immagini in fluorescenza sono ruotate di 90° rispetto all'immagine originale.

Il campione MB_1 ha mostrato variazioni di intensità di fluorescenza in ciascuno degli strati osservati. La porzione cromatica più chiara ha evidenziato una fluorescenza più intensa, che andava progressivamente diminuendo verso le aree cromatiche più scure, rendendo ben distinguibili i diversi strati del campione (Fig. 6).

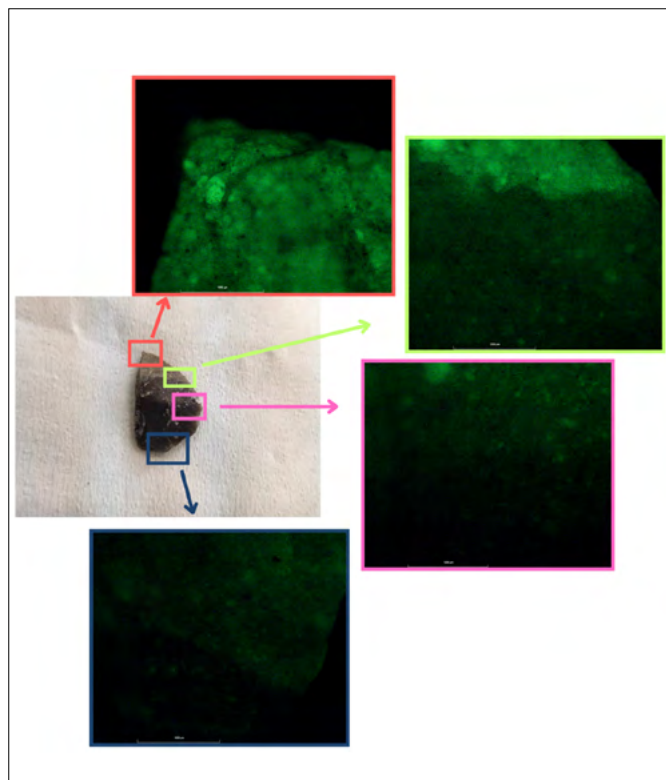


FIGURA 6. Immagini in fluorescenza di un frammento della frazione centimetrica del campione MB_1. L'immagine nel riquadro rosso mostra la fluorescenza della porzione cromatica più chiara visibile nella foto macro; l'immagine nel riquadro verde mostra la differenza di fluorescenza tra la porzione cromatica chiara e quella più scura visibili nella foto macro; l'immagine del riquadro rosa mostra la differenza di fluorescenza tra la porzione cromatica grigia "sopra" e quella nera "sotto" visibili nella foto macro; infine, l'immagine nel riquadro blu mostra la fluorescenza della porzione nera visibile nella foto macro.

4.3 SEM-EDXS

Dall'analisi morfologica della frazione millimetrica del campione MC_1 è stata identificata una predominanza di frammento di forma allungata a spigoli vivi e massivi equidimensionali a spigoli vivi e sub-arrotondati (Fig. 7a; Fig. 7b).

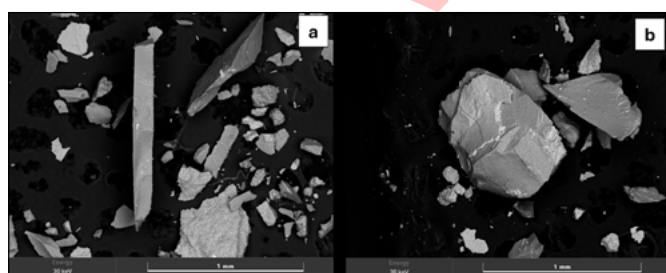


FIGURA 7. Immagini BSE della frazione millimetrica del campione MC_1. L'immagine di sinistra (a) mostra una particella di abito colonnare a spigoli vivi, mentre l'immagine di destra (b) mostra un frammento massivo a spigoli vivi e sub-arrotondati.

Nella frazione millimetrica sono presenti poche particelle con evidenti segni di corrosione superficiale, riscontrabili invece nel campione con granulometria centimetrica, dove è stato possibile osservare segni di alterazione, quali l'incremento della rugosità e di materiale dall'abito non ben definito aggregato sulla superficie, con spigoli vivi e frastagliati.

Queste probabili evidenze di corrosione superficiale sono osservate più di frequente nell'area cromatica ramata (Fig. 8).

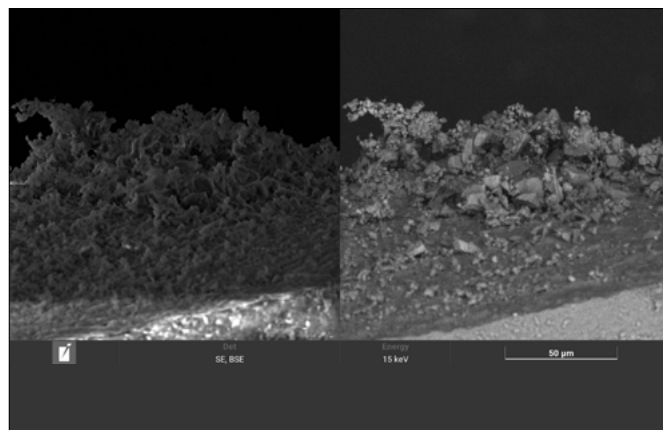


FIGURA 8. Immagini con evidenti segni di corrosione superficiale registrate in SE (sinistra) e BSE (destra) della porzione cromatica ramata di un frammento della frazione centimetrica del campione MC_1.

Le analisi chimiche effettuate tramite EDXS sull'area cromatica ramata hanno evidenziato la presenza di Si e Ca, oltre a concentrazioni minori di Fe (Fig. 9).

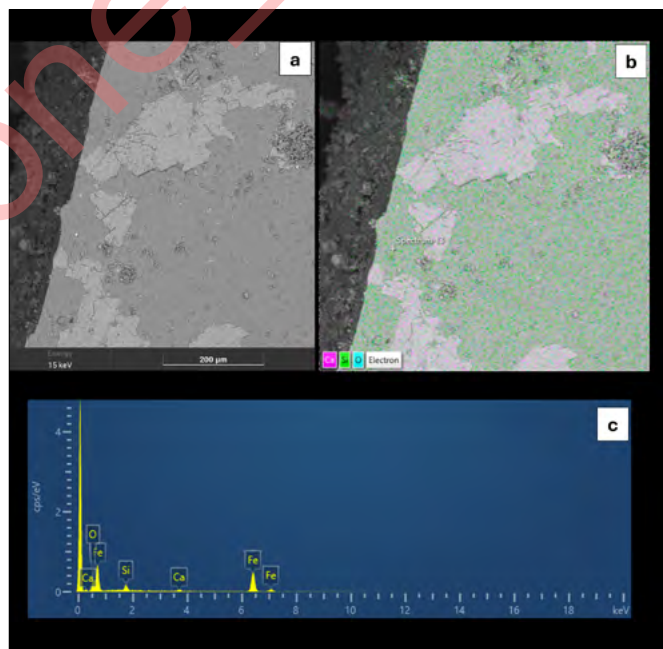


FIGURA 9. Nella figura sono riportati: a) immagine in BSE della porzione cromatica ramata di un frammento della frazione centimetrica del campione MC_1; b) la mappa chimica eseguita nell'area analizzata (in verde è evidenziato il Si, in rosa il Ca); c) lo spettro chimico della porzione del campione evidenziata di rosso.

Nel campione MB_1, invece, si ritrovano frammenti prismatici a spigoli vivi e massivi (Fig. 10b; Fig. 10d), con evidenti segni di corrosione (Fig. 10c) e presenza di aggregati (Fig. 10a).

Nella Fig. 11 è possibile osservare le immagini in SE e BSE della frazione centimetrica del campione MB_1 dove sono evidenti le discontinuità tra i diversi strati. In corrispondenza a quelle che sono le aree cromatiche più chiare del campione si osservano segni di alterazione.

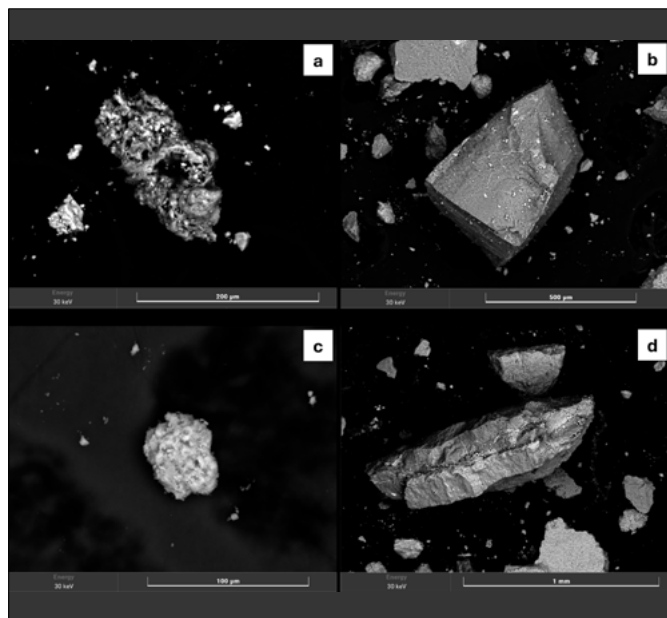


FIGURA 10. Immagini BSE della frazione millimetrica del campione MB_1: a) aggregato della frazione di granulometria millimetrica; b) frammento con granulometria millimetrica a spigoli vivi; c) frammento massivo con granulometria millimetrica con tracce di corrosione d); frammento con granulometria millimetrica di abito prismatico.

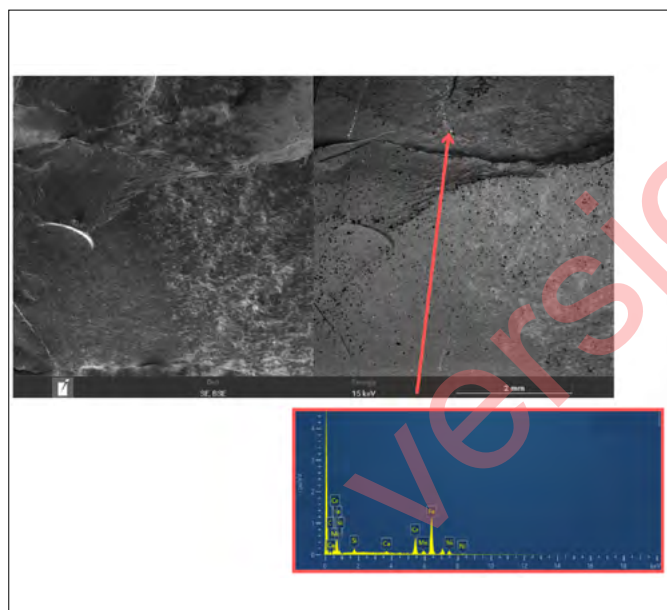


FIGURA 11. Immagini in SE (sinistra) e BSE (destra) di una porzione di un frammento della frazione centimetrica del campione MB_1. È riportato lo spettro chimico dello spot identificato dalla freccia rossa.

Le analisi chimiche effettuate su entrambi le frazioni granulometriche del campione MB_1 tramite EDXS hanno evidenziato la presenza di alte concentrazioni di Si e Ca. In concentrazione minore è stata rilevata anche la presenza di Fe, Mn, Cr e Ni (Fig. 11).

La catodoluminescenza effettuata sul campione MB_1 di frazione centimetrica ha evidenziato la presenza di particelle sub-micrometriche contenenti metalli pesanti, depositate sulla superficie delle particelle (Fig. 12).

La presenza di particelle sub-micrometriche contenenti metalli, in particolare Fe, è stata anche confermata dall'analisi EDXS.



FIGURA 12. Immagine CL di una porzione di un frammento della frazione centimetrica del campione MB_1. Le frecce evidenziano gli spot che danno catodoluminescenza.

5. DISCUSSIONE

Per questo studio sono stati prelevati due campioni di roccia (MC_1 e MB_1) appartenenti rispettivamente al Monte Camicia e il Monte Bolza, entrambi cime del Massiccio del Gran Sasso, con lo scopo di caratterizzarli alla microscala e confrontare i loro risultati con la natura litologica delle aree di raccolta.

Nonostante si tratti di campioni appartenenti allo stesso massiccio, mostrano evidenti differenze sia per caratteristiche cromatiche che per tessitura e resistenza alla frammentazione. Come osservabile in Fig. 2, il campione MC_1 presenta una evidente stratificazione ed è caratterizzato, nello strato inferiore, da una colorazione ramata che potrebbe essere ricondotta alla presenza di tracce di Fe. Sugli strati superiori, ove il campione è stato esposto maggiormente agli agenti esterni, abbiamo l'alternanza di strati di colore bianco e nero. Durante il processo di frammentazione, al quale sono stati sottoposti entrambi i campioni di roccia, il campione MC_1 ha presentato una maggiore resistenza, soprattutto nello strato ramato.

Il campione MB_1, oltre a mostrare una minore resistenza alla frammentazione, presenta una colorazione prevalentemente sui toni del grigio (Fig. 1), distribuita in modo uniforme, sebbene, anche in questo caso, sia riconoscibile una certa stratificazione.

Gli spettri PXRD mostrano che entrambi i campioni sono composti principalmente da quarzo e calcite, risultato coerente con la natura calcarea dell'area del Massiccio del Gran Sasso D'Italia (ADAMOLI *et al.*, 2012). Inoltre, i risultati suggeriscono un elevato grado di cristallinità

della matrice analizzata. Tuttavia, presentano entrambi un background leggermente più alto ad angoli bassi θ - 2θ che può essere legato alla presenza di minerali contenenti Fe o Mn, oppure alla presenza di fasi amorfe o minori. L'analisi chimica effettuata tramite EDXS sul campione del MC_1, sia sulla frazione millimetrica, che centimetrica, ha evidenziato la presenza di tracce di Fe (Fig. 9) e Zn (Fig. 13) che potrebbero giustificare sia la colorazione ramata del campione, sia il rumore nel background di fondo dello spettro PXRD.

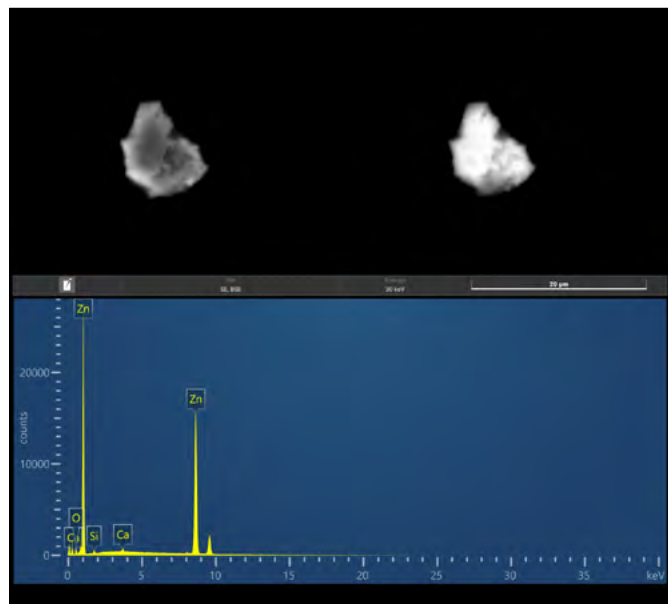


FIGURA 13. Immagini in SE (sinistra) e BSE (destra) di un frammento della frazione millimetrica del campione MC_1, in basso è riportato il relativo spettro chimico.

Dalla mappa chimica eseguita inoltre, sulla porzione cromatica ramata della frazione centimetrica del campione MC_1, è emersa una presenza significativa di Si (Fig. 9). La presenza di Si nel campione MC_1, assieme alla resistenza alla frammentazione e il grado di cristallinità, supportano l'ipotesi che si tratti di un nodulo di selce, generalmente formato a partire da organismi a guscio siliceo, come le diatomee, in ambienti sedimentari pelagici. Questa ipotesi è coerente con il contesto geologico del Monte Camicia, che appartiene a un massiccio caratterizzato dalla presenza della formazione MAD, tipica di ambienti pelagici e caratterizzata da calcari bianchi e sottilmente stratificati e spesso con noduli silicei (Capitolo 2.2). L'analisi chimica effettuata su entrambi le frazioni granulometriche del campione MC_1 tramite EDXS ha rilevato inoltre un'alta percentuale di calcio (Fig.14) riconducibile alla presenza di calcite, in linea con i risultati delle analisi PXRD e MOF.

Infatti, le aree del campione più esterne del campione MC_1, caratterizzate da una colorazione bianca e le quali possono essere identificate come presunte calciti, mostrano una maggiore intensità di fluorescenza rispetto alle altre porzioni della roccia (Fig.5). L'osservazione delle immagini morfologiche, ottenute al SEM, della frazione millimetrica del campione MC_1, ha evidenziato la presenza di superfici lisce e regolari con piani di frattura netti e regolari (Fig.7). Queste morfologie potrebbero essere correlate al-

la storia tettonica dell'area, segnata da sovrascorrimenti e movimenti associati all'attività delle faglie appenniniche e alla sua orogenesi (Capitolo 2.1).

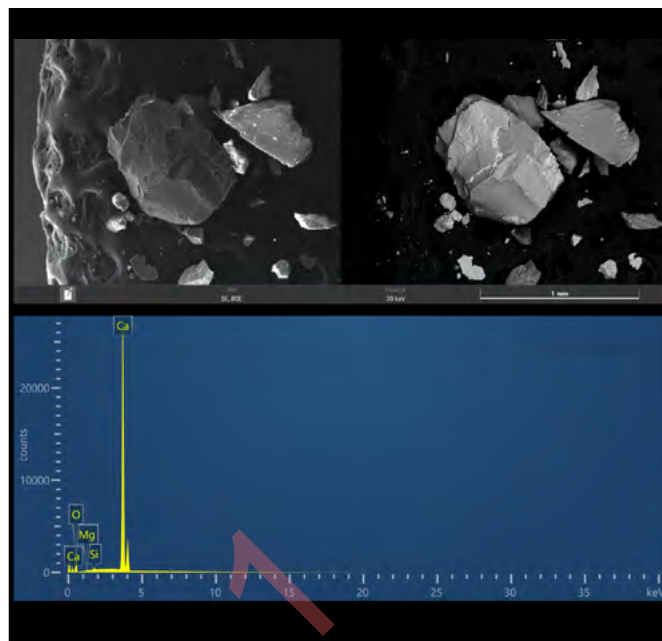


FIGURA 14. Immagini in SE (sinistra) e BSE (destra) di un frammento della frazione millimetrica del campione MC_1, in basso è riportato il relativo spettro chimico.

Le analisi EDXS effettuate sul frammento di campione MB_1 hanno mostrato risultati leggermente differenti. Nel campione MB_1 sono state rilevate tracce di Fe, Mn, Cr e Ni (Fig.11), il che potrebbe giustificare il rilevamento di un'ulteriore fase mineralogica al PXRD rispetto alle fasi evidenziate nel campione MC_1, ovvero la manganocalcite, che andrebbe confermata in futuro (Fig.4). La presenza di metalli è stata confermata anche tramite le immagini della CL (Fig.12), che hanno evidenziato la presenza di particelle sub-micrometriche, depositate sulla superficie di particelle della frazione centimetrica del campione MB_1, e successivamente confermate particelle di metalli tramite l'analisi EDXS. La porzione di campione MB_1 riconducibile invece alla calcite ha mostrato una maggiore sensibilità al fascio elettronico durante l'osservazione al SEM rispetto al campione MC_1, con una più facile tendenza ad alterarsi una volta esposta ad esso. Dalla Fig. 11, nell'immagine SE, si può osservare il risultato di questo processo di alterazione superficiale. La differente sensibilità dei due campioni all'esposizione al fascio elettronico potrebbe essere spiegata da un diverso grado di cristallinità delle fasi mineralogiche o dal grado di purezza. Dal confronto dei diffrattogrammi PXRD, infatti, emerge una diversa intensità del segnale tra i due campioni, con il diffrattogramma del campione MC_1 avente un'intensità maggiore del segnale che può essere attribuita proprio ad un maggiore grado di cristallinità del campione stesso (CULLITY & STOCK, 2013), considerando che MC_1 potrebbe essere un campione di selce, quindi costituito principalmente da quarzo microcristallino.

Per quanto riguarda l'analisi al SEM della frazione millimetrica del campione MB_1, le particelle osservate

mostrano maggiori segni di alterazione, avendo superfici con una rugosità maggiore, bordi frastagliati, (Fig. 10a; Fig. 10b; Fig. 15) la ricca presenza di particelle adese alle superfici, e alcune evidenze di cavità dovute probabilmente a dissoluzione (Fig. 15).

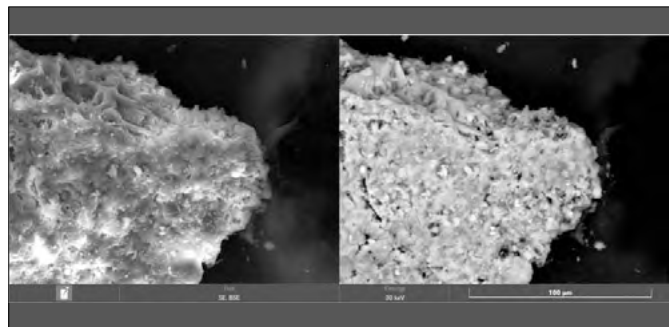


FIGURA 15. Immagini in SE (sinistra) e BSE (destra) di una porzione di un frammento della frazione millimetrica del campione MB_1.

Questo aspetto può essere ricondotto al minor grado di cristallinità del campione, oltre che alla maggiore presenza di tracce di altri metalli che lo renderebbero meno stabile e maggiormente esposto ai fenomeni di alterazione. Anche in questo caso il confronto tra le analisi chimiche e le osservazioni al microscopio a fluorescenza del campione MB_1 ha evidenziato delle peculiarità. In particolare, le porzioni bianche, presunte calciti, mostravano una maggiore intensità di fluorescenza, che diminuisce verso le porzioni più scure (Fig. 6).

I risultati ottenuti con le diverse tecniche analitiche sul campione MB_1, e confrontati tra di loro, supportano l'ipotesi che si tratti di un calcare bianco, compatto e stratificato tipico della formazione MAS (Capitolo 2.2).

Dalle analisi condotte sui campioni MC_1 e MB_1 emerge come diversi processi di sedimentazione, all'interno di uno stesso massiccio, possano influire sulla litologia e sulla mineralogia delle aree interessate. Sebbene infatti, entrambi i campioni provengano dal massiccio del Gran Sasso d'Italia, essi sono stati prelevati da aree differenti che, durante il rifting Meso-Cenozoico, potrebbero aver subito condizioni di sedimentazione parzialmente diverse, legate alla presenza di aree più elevate e aree più depresse durante la sedimentazione sinrift (CARDELLO & DOGLIONI, 2015). Questo giustifica le variazioni mineralogiche osservate tra i due campioni. Pertanto, le tecniche analitiche ad alta risoluzione, a sostegno di studi macroscopici, possono essere un ottimo strumento per definire o confermare l'evoluzione geologica di un'area esaminata.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMOLI L., CALAMITA F., PIZZI A. (2012). *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 349 Gran Sasso d'Italia*. pp. 1-255.
- CARDELLO G.L. & DOGLIONI C. (2015). *From Mesozoic rifting to Apennine orogeny: The Gran Sasso range (Italy)*. Gondwana Research, 27(4), pp.1307-1334. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.09.009>.
- CENTAMORE E., CRESCENTI, U., DRAMIS F. (2006).

Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 360 Torre de' Passeri. pp. 1-159.

CULLITY, B.D. & STOCK S.R. (2013) - *Elements of X-Ray Diffraction*. Harlow: Pearson Education UK.

ESA (2010). *L'Abruzzo: regione verde d'Europa*. [online] Available at: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Italy/L_Abruzzo_regione_verde_d_Europa [Accessed 28 Apr. 2025].

GHISSETTI F. & VEZZANI L. (1990). *Stili strutturali nei sistemi di sovrascorrimento della catena del Gran Sasso (Appennino centrale)*. Studi Geologici Camerti, Volume Speciale 1990, pp. 37-50.

GHISSETTI F. & VEZZANI L. (1997). *Interfering paths of deformation and development of arcs in the fold-and-thrust belt of the central Apennines (Italy)*. Tectonics, 16(3), pp.523-536. doi:<https://doi.org/10.1029/97tc00117>.

OPENPOLIS (2022). *L'Abruzzo è la regione italiana con la superficie maggiore di aree protette terrestri*. [online] Available at: <https://www.openpolis.it/rassegnastampa/gli-interventi-per-le-ferrovie-in-abruzzo/> [Accessed 28 Apr. 2025].

ORTOLANI M. & MORETTI A. (1950). *Ricerche sulla morfologia e l'idrogeologia carsica. Il Gran Sasso d'Italia (versante meridionale)*. C.N.R. Roma, 2:119

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1963). *Foglio 140 Tera-mo della Carta Geologica d'Italia al 1:100.000*, rilevato da Scarsella, F., Manfredini, M., Motta, S. & Alberti, A.

VEZZANI L., FESTA A. & GHISSETTI F. (2010). *Geology and tectonic evolution of the Central-Southern Apennines, Italy*. Geological Society of America Special Paper, 469, pp. 1-58.

VIGLIATURO R., KEHRLI D., GARRA P., DIETERLEN A., TROUVÉ G., DIETZE V., WILSON J.P., GIERÉ, R. (2019). *Opaline phytoliths in Miscanthus sinensis and its cyclone ash from a biomass-combustion facility*. Industrial Crops and Products, 139, p.111539. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111539>.

WWW.HORIBA.COM (n.d.). *What is SEM-Cathodoluminescence (SEM-CL)?* [online] Available at: <https://www.horiba.com/int/molecular-spectroscopysem-cathodoluminescence-sem-cl/>.

Caratteri climatici del territorio abruzzese

Climatic features of Abruzzi territory

MASSIMILIANO FAZZINI

Università di Camerino – URDIS

E-mail: massimiliano.fazzini@unicam.it

Parole chiave: climi dell'Abruzzo, sistemi morfo-climatici, cambiamento climatico, tendenze

Key words: Abruzzo climates, morphi-climatic systems, climate change, trend

INTRODUZIONE

Per definire in maniera scientificamente corretta le caratteristiche climatiche di un'area più o meno estesa occorrono serie temporali climatiche affidabili – ovverossia omogenee e continue – che rispettino la normativa WMO del 2016. In particolare i dati utilizzati nel presente lavoro provengono dai dati meteoroclimatici ricavati dalle reti osservative presenti “al suolo” e gestite da organi istituzionali – quali L'Ufficio Idrografico della Regione Abruzzo (UIA) e l'ARSSA - Agenzia Regionale per i Servizi di Sviluppo Agricolo. Qualunque dato derivante da elaborazioni di scenari da *re analisi* o da modellistica complessa non è stato considerato in quanto attualmente non ancora rispondente alle appena citate normative WMO. Tutto ciò assume ancor maggiore importanza nell'ultimo mezzo secolo - caratterizzato da un segnale statisticamente atipico se paragonato a quello del secolo precedente e caratterizzato da una marcata estremizzazione climatica, con ovvie ripercussioni sull'ambiente fisico e più in particolare sui sistemi morfo climatici e morfo dinamici che caratterizzano il già complesso territorio abruzzese. A maggior ragione, il dato derivante dal monitoraggio “a terra” è necessario al fine di supportare la risposta della società ai cambiamenti climatici e ai rischi legati al clima (CURCI *et al.*, 2021). Laddove le serie storiche presentassero eventuali disomogeneità - dovute alla sostituzione della sensoristica di monitoraggio da manuale ad automatica, alla ricollocazione delle stazioni o a lacune più o meno estese di dati - sono stati utilizzati adeguati trattamenti di tipo statistico per renderle nuovamente omogenee e dunque fruibili per la definizione di un'analisi climatica più corretta possibile (RIBEIRO *et al.* 2016). Eventuali cenni a dati estrapolati da serie storiche di breve durata o appartenenti a reti di monitoraggio non ufficiali si sono resi necessari in particolari ambienti morfoclimatici, come quelli di alta montagna appenninica, visto e considerato che seppur per estensioni estremamente limitate, nel territorio oggetto dello studio sono presenti evidenze climatiche “subglaciali” – tipi climatici Df secondo PEEL (2007). Il *dataset* creato da alcuni autori (es.: SCORZINI *et al.*, 2018, CURCI *et al.*, 2021) è poi divenuto l'input di base per alcuni studi *in fieri* di “*smart climatology*”, per il *downscaling* statistico del clima regionale (e il necessario riferimento di validazione per quello dinamico (GIORGI, 2019). Un apporto decisivo nella conoscenza della clima-

tologia statistica recente della regione è finalmente fornito dal Piano regionale di Adattamento ai cambiamenti climatici (2022). In esso vengono analizzati i dati termo – meteorici e le serie storiche omogenee o rese tali per il periodo 1961-2015.

CLIMATOLOGIA RECENTE

Nonostante che il territorio abruzzese sia estremamente complesso e molto rappresentativo delle varieghe condizioni climatiche medie ed estreme dell'intera penisola italiana, pochi e non del tutto esaustivi risultano essere gli studi climatologici recenti. Essi riguardano per lo più i trend recenti osservati, la vulnerabilità dell'ambiente fisico rispetto al rischio climatico s.l. e le politiche di adattamento. Essi sono stati evidentemente sviluppati sia relativamente al quadro termo-pluviometrico (PAGLIA *et al.*, 2020, CURCI *et al.*, 2021), sia, relativamente alle problematiche geo-idrologiche ed agronomiche. (FAZZINI & ROMEO, 2012; BISCI *et al.*, 2012, FAZZINI *et al.*, 2021, DI LENA *et al.*, 2022). Tali studi sono basati sui dati afferenti alla prima citate istituzioni tecnico – scientifiche ed operative dell'Ufficio Idrografico e Mareografico della Regione Abruzzo (UIA) e ARSSA che gestiscono le reti di monitoraggio dedicate e fiduciarie. Le serie climatiche omogenee e continue ed estese temporalmente per almeno trenta anni attualmente attive assommano a circa 200 unità relativamente all'UIA (<https://www.regione.abruzzo.it/content/idrografico-mareografico>) e per circa 40 unità relativamente all'ARSSA (<https://www.regione.abruzzo.it/content/agrometeorologia-agroambiente-0>). Relativamente all'ultimo secolo – periodo raccomandabile per definire esattamente le caratteristiche climatiche medie dell'area e per meglio comprendere i trend climatici – si dispone di circa 45 stazioni di rilevamento, piuttosto uniformemente distribuite dal punto di vista spazio-altitudinale. (CURCI *et al.*, 2021). Infine, dallo scrivente, sono state prese in considerazione le stazioni di monitoraggio meteoroclimatico di Pescara Aeroporto e L'Aquila Preturo appartenenti alla rete delle stazioni meteorologiche gestite attualmente da ENAV ma installate dal Servizio Meteorologico dell'aeronautica Militare. Le stazioni di misura sono distribuite a quote variabili tra il livello medio mare e i 2125 m. di Campo Imperatore. Relativamente al quadro nivometrico, la regione è molto ben monitorata dal Servi-

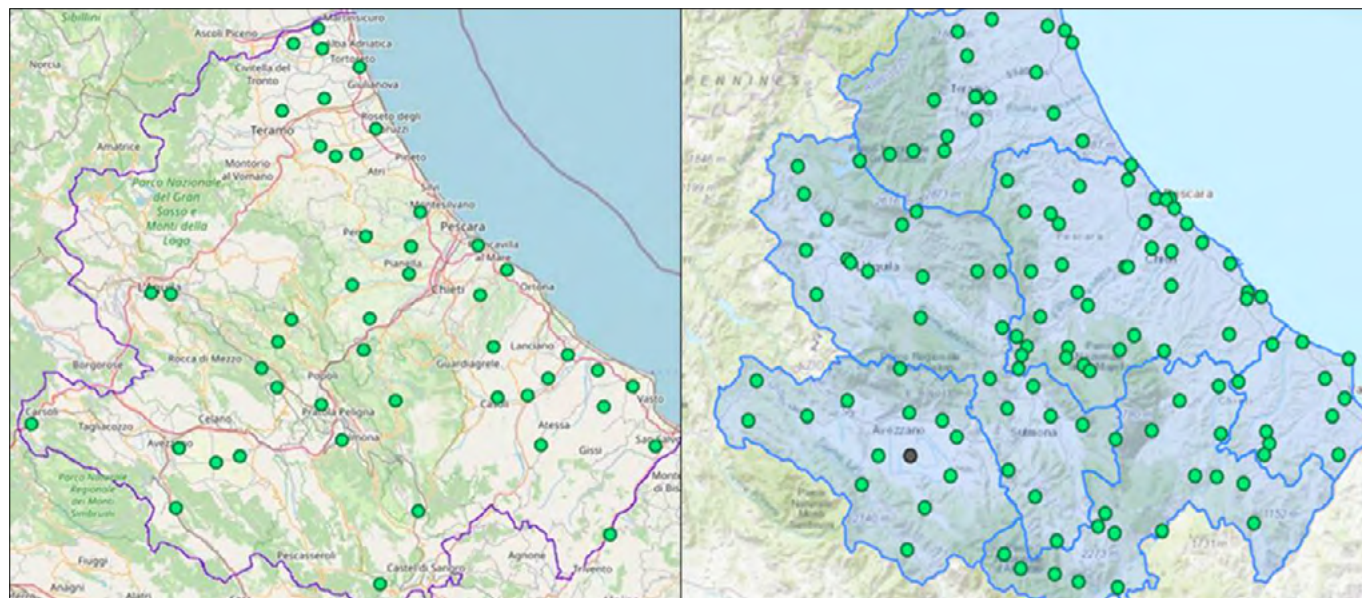


FIGURA 1. Attuale distribuzione delle reti di monitoraggio meteoclimatico: a sinistra la rete dell'ARSSA Abruzzo a destra quella dell'Uficio Idrografico e Mareografico (UIM).

zio Meteo Mont dei Carabinieri forestali e del Comando Truppe Alpine, per lo meno negli ultimi 40 anni, con “campi neve” a rilevamento manuale ubicati a quote comprese tra 1105 m e 2037 m (Fig. 1).

LINEAMENTI DI CLIMATOLOGIA DINAMICA

Da un punto di vista climatologico, il territorio abruzzese è quanto di più variegato possa esistere nel territorio italiano intero; tale peculiarità è evidentemente dipendente da due principali fattori geografici: - la complessità orografica, con alternanza dei più elevati complessi montuosi della penisola ubicati a differenti distanze dai due mari che bordano la penisola, da un lungo litorale piuttosto omogeneo e da una serie infinita di valli interne e altipiani tettonico - carsici che rappresentano di fatto i più importanti “poli del freddo” invernale dell'intera penisola. - La posizione geografica di media latitudine, con il territorio più orientale che si affaccia sul Mare Adriatico e con la sua porzione centro - occidentale che appartiene al versante tirrenico. Ne conseguono un regime meteorologico estremamente dinamico e soprattutto un clima estremamente complesso. Il territorio regionale si estende da ovest verso est, dai settori centrali dei grandi massicci appenninici alle coste del medio adriatico, risentendo per buona parte dell'anno ed in particolare durante il semestre invernale del costante e spesso notevole contrasto tra le masse d'aria di tipo subtropicale umide o secche (atlantico - mediterranee e nord africane) e quelle di origine polare, nelle sue tipologie marittima, intermedia e continentale. Tale contrasto favorisce l'approfondimento di sistemi ciclonici ed il conseguente transito di fronti associati che sul territorio abruzzese sono fortemente influenzate dalla distribuzione della prima citata impronta orografica, disposta principalmente con andamento medio NW-SE o W-E nel caso del massiccio del Gran Sasso d'Italia. La presenza di tali gruppi montuosi che includono le più alte vette dell'intera catena (Monti della Laga, Gran Sasso d'Italia, Velino - Sirente,

Maiella), induce a rapidi cambiamenti di temperatura e umidità sui differenti settori prima citati, anche a causa dei processi di *stau* e *föhn* sugli opposti versanti sopravvento e sottovento rispetto alle masse d'aria advettive. Ne consegue un quadro termico - meteorico estremamente diversificato e dominato da condizioni meso- o micro climatologiche difficilmente riscontrabili all'interno dell'intero bacino del *Mare Nostrum*. In generale, però, tale differenziazione causa precipitazioni totali abbondanti o molto abbondanti sui maggiori rilievi e aree a modesta cumulata meteorica annuale sul litorale adriatico e nelle valli interne poste in ombra pluviometrica rispetto alle più umide correnti mediterranee s.l. Viceversa, nei periodi di maggiore stabilità atmosferica del semestre “freddo”, la presenza di altipiani sommitali o comunque ubicati a quote di media e alta montagna (Campo Imperatore, Piano delle Cinque Miglia, Altopiano delle Rocche), le numerose e prima citate conche interne (Valle dell'Aterno, Piana del Fucino, Valle Peligna, Valle del Salto) e le aree vallive fluviali adriatiche, sono interessate frequentemente dal fenomeno dell'inversione termica nelle ore notturne, con notevoli escursioni termiche diurne. Infine, nel periodo compreso tra maggio e ottobre, le alte pressioni dinamiche semipermanenti di origine subtropicale nelle varianti afro-mediterranea ed azzorriana, determinano persistenti condizioni meteorologiche soleggiate, con notevole stabilità atmosferica solo a tratti interrotta da fasi di instabilità convettiva o advettiva, in particolare sui maggiori rilievi e nelle conche interne.

QUADRO TERMICO

La temperatura media annuale è stimata come semi somma delle temperature massime e minime diurne e mensili. La parte orientale della regione - delimitata ad est dal Mare Adriatico e ad ovest dai grandi massicci montuosi del Gran Sasso e della Maiella (che di fatto non rappresentano la linea di spartiacque principale) - risulta essere relativamente omogenea, con un leggero gradiente termico medio positivo ovest - est e secondariamente nord - sud,

dipendente rispettivamente dalla quota e dalla crescente continentalità. La temperatura media annua (Fig. 2 e Tab. 1) diminuisce dai 16,5°C circa della costa teatina ai 13-14°C dell'alta collina e della pedemontana appenninica. La parte montuosa *s.s.*, comprendente *in primis* i massicci della Laga, del Velino Sirente e dei monti Marsicani, oltre che sui due massicci del Gran Sasso e della Maiella, nonché l'entroterra di bassa montagna ubicato nella porzione centro - occidentale della regione presenta temperature medie generalmente più basse - intorno ai 10°C a 1000 m. di quota e ai 7°C a 1500 m, sino ai 3,5°C del Rifugio Franchetti posto a 2433 m. sul Gran Sasso d'Italia (FAZZINI *et al.*, 2020).

Solamente nell'allungamento intramontano L'Aquila - Popoli - Sulmona, i valori medi tornano ad essere compresi tra i 13 ed i 15°C, soprattutto in virtù del surriscaldamento estivo. Nel mese di gennaio - mediamente il più freddo - i valori sono compresi rispettivamente tra i 5 ed i 7°C nella porzione adriatica; intorno a 1-3°C a 1000 m. e -1°C a 1500 m. circa. Tra luglio ed agosto, mesi equamente più caldi, tali medie raggiungono rispettivamente i 24-26°C;

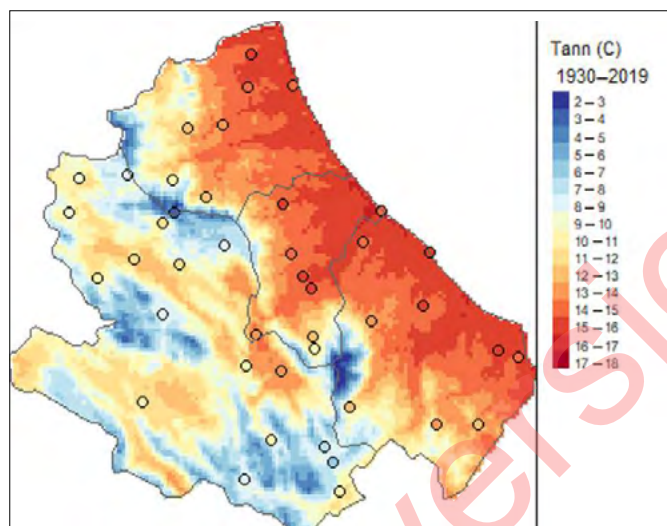


FIGURA 2. Temperatura media annuale (fonte: Curci *et al.*, 2021).

17-19°C e 15-17°C. Di conseguenza, l'escursione termica annuale, si attesta tra 16 ed i 18°C nella porzione adriatica, 16-18°C sui principali massicci montuosi e sino a 20-21°C nelle valli interne e nelle conche intramontane dove maggiore è la continentalità termica. Per far comprendere quanto sia intensa la differenza termica tra le caldissime estati ed i freddi inverni abruzzesi, vale la pena evidenziare gli estremi termometrici recentemente rilevati nel territorio regionale - che peraltro non rappresentano *outlayers* assoluti ma vengono spesso avvicinati nelle rispettive aree di raggiungimento. La tempertuara minima assoluta - la più bassa ufficialmente rilevata nella porzione peninsulare del territorio italiano - di -37.4°C è stata rilevata ai 1450 m. del Piano di Pezza - *polje* tettonico carsico ubicato nei pressi di Ovindoli - il giorno 15 febbraio 2012, in occasione di condizioni anticicloniche di tipo continentale apportate dall'espansione dell'anticiclone russo. Tuttavia, su tutti gli altipiani interni abruzzesi - Piana di Campo Felice, Piano delle Cinque Miglia, Piano Aremogna) non è infrequente toccare valori prossimi o inferiori ai -25°C (FAZZINI *et al.* 2022). In queste medesime aree nelle giornate estive più calde si possono raggiungere i 30°C, a conferma dell'estrema continentalità di tali aree. Il valore massimo assoluto attualmente certificato è invece di 45°C il 30 agosto 2017 rilevato all'aeroporto di Pescara. Tale estremo valore è stato raggiunto in occasione di un'intensa avvezione di aria mediterranea che fohnizzandosi nella sua discesa dal massiccio della Maiella, ha determinato tale *outlayer*. Anche in questo caso, però, numerosi sono i valori superiori ai 40°C rilevati ogni estate nelle basse porzioni delle maggiori valli che scendono dall'appennino, soprattutto laddove i processi di compressione adiabatica delle masse d'aria sono più intensi (Val Pescara, Val di Sangro). Occorre parimenti ricordare che all'aeroporto di Pescara, nel gennaio 1979, furono raggiunti i -13.2°C e non infrequentemente i valori minimi sfiorano i -10°C, ancora una volta a conferma della notevole continentalità termica presente anche lungo la costa adriatica. Cercando di quantificare la relazione esistente

Tabella 1. Valori termometrici medi mensili ed annuali per il periodo 1981-2020.

STAZIONE	QUOTA	VERSANTE	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	ANNO
GIULIANOVA	64	A	7,2	7,3	10	13,5	17,8	22	25	25	20,9	17,1	12,2	8,5	15,5
TERAMO	218	A	6,7	6,9	9,5	12,9	17,4	21,5	24,3	24,1	20,5	15,7	11	7,4	14,8
CAMPOTOSTO	1414	A	-0,2	0,3	2,9	6,2	10,5	14,4	17,2	17,2	13,8	9,7	5,2	1,6	8,2
L'AQUILA	595	A	2,7	3,9	7,5	11,1	15,3	19,2	22,1	22,2	18,2	13,3	8,1	3,9	12,3
SULMONA	397	A	4,8	6,4	9,7	13,3	17,4	21,5	24,2	24,2	20	14,9	10,1	6	14,4
CHIETI	278	A	6,8	7,4	10,1	13,7	18	22,1	25	24,8	21,1	16,4	11,8	8	15,4
PESCARA	11	A	7	7,7	10,1	13,3	17,5	21,5	24,1	24	20,8	16,6	12,2	8,4	15,3
ROCCARASO	1231	A	-0,4	0,3	3	6,2	10,2	13,7	16,4	16,5	12,8	9	4,8	0,6	7,8
VASTO	196	A	7,3	8	10,5	13,9	18,1	22,2	24,9	24,9	21,4	17	12,6	8,9	15,8
OVINDOLI	1395	T	0,8	0,5	3,5	7,4	10	14,1	17,3	17,3	13,2	10,1	6	2	8,5
INCILE	658	F-T	3,6	5,8	8	12,4	15,1	18,4	21,7	21,5	18	14	8,7	3,6	12,6
CARSOLI	818	T	3,5	3,7	6,8	10,2	12,8	16,8	20	20,1	16,4	12,9	8,9	4,4	11,4
CAMPO IMPERATORE	2134	A	-3,2	-3,4	-1,6	0,7	5,3	8,9	11,6	11,8	8,6	4,8	0,7	-2	3,5

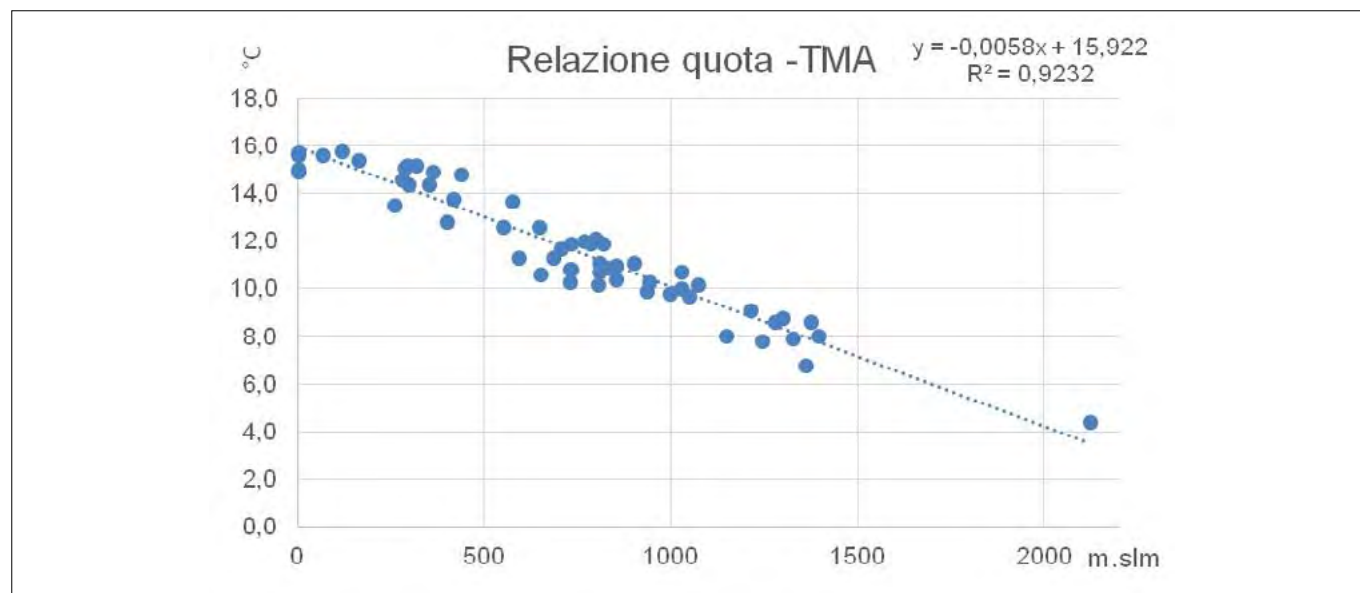


FIGURA 3. Relazione quota - temperatura media annuale (TMA).

tra temperature medie annuali e quota (Fig. 3), si osserva un gradiente verticale di $0,58^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m.}$, perfettamente in linea con i valori osservati nel settore centrale della penisola; il coefficiente di correlazione si attesta intorno al valore 0.92 garantendo un'ottima definizione statistica di tale rapporto.

Evidentemente, nei mesi centrali dell'inverno, tale gradiente diminuisce anche notevolmente – $0,39^{\circ}\text{C}$ con un R^2 pari a 0,79 – a causa della complessità orografica e delle conseguenti, frequenti situazioni di inversione termica che caratterizzano i fondivalle e i prima citati *polje*, specialmente in caso di persistenti condizioni anticicloniche ed eventuale presenza di neve al suolo.

QUADRO METEORICO

Sotto il profilo delle precipitazioni, la distribuzione media delle cumulate medie annuali ricalca notevolmente l'aspetto orografico, con valori modesti – tra 600-800 mm annui – lungo la fascia costiera e nelle prima citate conche interne; 800-1200 mm sulle zone a ridosso dei principali

massicci montuosi e *outlayers* fino a 1500-1800 mm sui confini laziali e sulle vette dei massicci più elevati, dove l'effetto delle perturbazioni atlantiche o mediterranee è più diretto ed incisivo (Fig. 4 e Tab. 2).

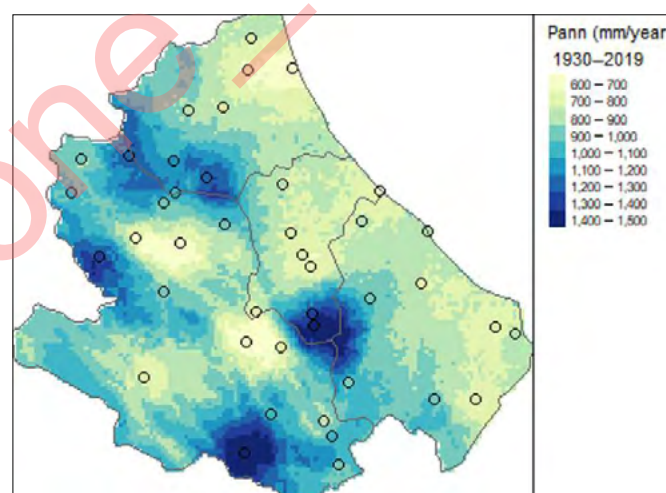
FIGURA 4. Precipitazioni medie annuali (fonte: Curci *et al.*, 2021).

Tabella 2. Valori meteorici medi mensili ed annuali per il periodo 1981-2020.

STAZIONE	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	ANNO
GIULIANOVA	53,8	45	54,7	53,3	38,8	43,8	35,2	43,4	59,4	74,1	68,6	69,4	639,5
TERAMO	52,4	44,8	56,5	56,8	48,5	52,8	43,7	52,6	59,1	78,3	75,3	80	700,8
PIETRACAMELA	85,4	74,8	95,7	110,4	82,5	68,1	44,9	51,8	78,3	117,1	136,3	120	1065,3
L'AQUILA	64,1	65	54,7	60,6	47,6	46,3	36,1	39,4	55,8	65,9	92,2	85,8	713,5
SULMONA	58	53	52,2	59	42	39,5	32	33,2	48,9	63	74,8	75,2	630,8
PESCARA	60,8	51,4	59	53,8	37,5	42,5	35	43,5	62,6	76,8	78,4	83,5	684,8
PASSOLANCIANO	142,6	112,4	118,5	129,7	90,5	81,3	74,3	81,5	124,6	138,4	145,1	170,8	1409,7
PESCASSEROLI	141,3	141,8	123,2	116,6	95,3	68,4	46	58	115,1	175,7	241	234,6	1557
ROCCARASO	106,1	91	81,1	84	68,7	51	46,4	42,8	71,3	95	139,4	133,4	1010,2
VASTO	63,3	53	59,7	51,2	36,8	33	35,2	42,2	63	75	81,4	87,1	680,9
AVEZZANO	66,3	71,4	61,1	60	51	44	29,8	37,5	57,2	77,6	110,2	99,3	765,4
BALSORANO	115,5	119,1	93,4	107,4	71,8	51,8	34,3	37,4	79,7	110,2	185	166,5	1172,1
CARSOLI	88,4	103,1	85,4	99	76,8	68,7	48,8	60,4	83,4	117,2	158,8	141,3	1131,3

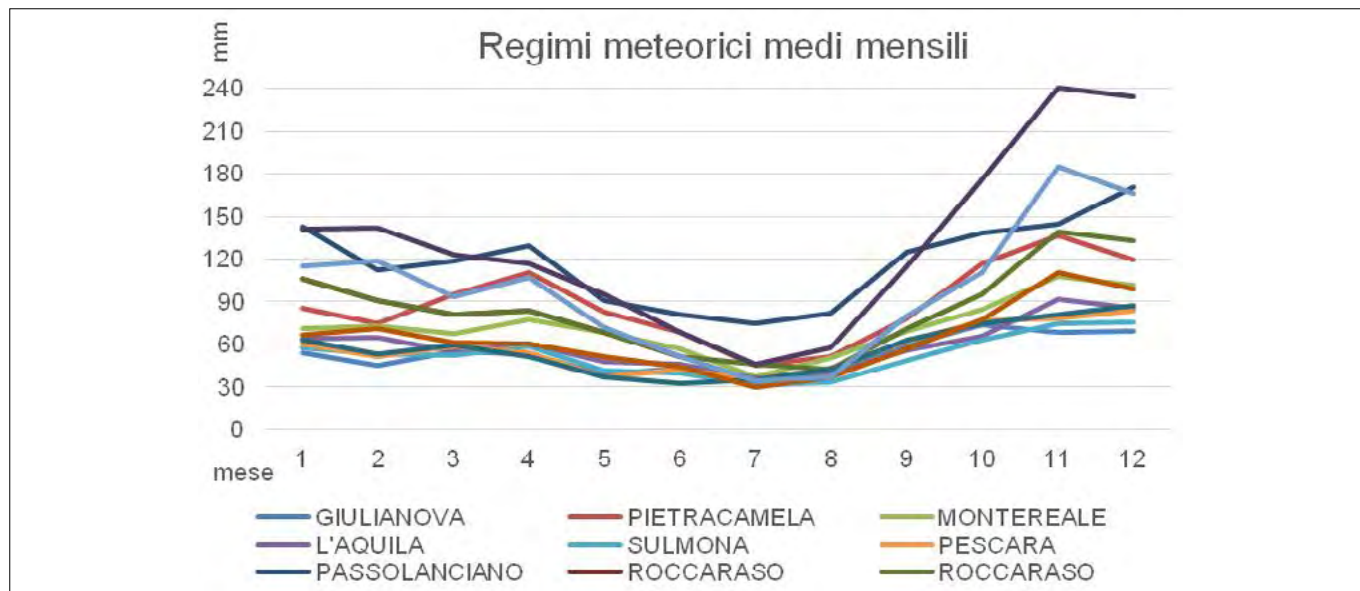


FIGURA 5. Regimi meteorici medi mensili.

Il regime meteorico è piuttosto diversificato nei vari comparti climatici esistenti; tuttavia si riconosce un evidente univocità nel segnale medio complessivo, caratterizzato da un evidente e spesso profondo minimo mensile e stagionale nel bimestre luglio - agosto, tipico delle aree a clima meteorico mediterraneo. (FAZZINI & GIUFFRIDA, 2005). Anche i massimi assoluti stagionali e mensili si concentrano in autunno ma procedendo lungo la costa e verso ovest, le cumulate invernali tendono a raggiungere quelle autunnali. Il secondo massimo si attesta tra febbraio e aprile nella restante porzione del territorio. Di conseguenza, i tipi meteorici (Fig. 5) variano dal sublitoraneo adriatico lungo la costa e nell'entroterra collinare, al subappennino adriatico nelle aree montane di Laga e Gran Sasso e Maiella, all'appenninico nelle aree dei massicci montani di Maiella, Sirente-Velino, Marsica e Simbruini sino al sublitoraneo tirrenico nella piana del Fucino, uni-

ca area estesa dove si osservano minimi pluviometri estivi realmente mediterranei (con P. Mese più secco < 30 mm).

Il numero di giorni con precipitazione > 1 mm varia notevolmente, risentendo anche in questo caso della complessità orografica e morfologica; si passa dal 75 del litorale più meridionale ai 140 giorni della valle del Liri e dei maggiori rilievi appenninici. Al contrario di quanto avviene per le temperature, non si osserva una relazione statisticamente soddisfacente tra quota e precipitazioni medie annuali (Fig. 6); il coefficiente di correlazione R^2 è estremamente basso (inferiore a 0.3) e dimostra quanto prevalgano, in un territorio estremamente complesso, le condizioni microclimatiche, dipendenti evidentemente da numerose variabili morfologiche alla scala locale, *in primis* l'esposizione e l'azimut della valle come evidente nei territori a vergenza adriatica compresi tra le regioni Marche e Molise (BUCCOLINI *et al.* 2004, CARDILLO *et al.*, 2008).

Le fasi caratterizzate da assenza prolungata delle precipitazioni sono relativamente rare, sia in frequenza, sia in

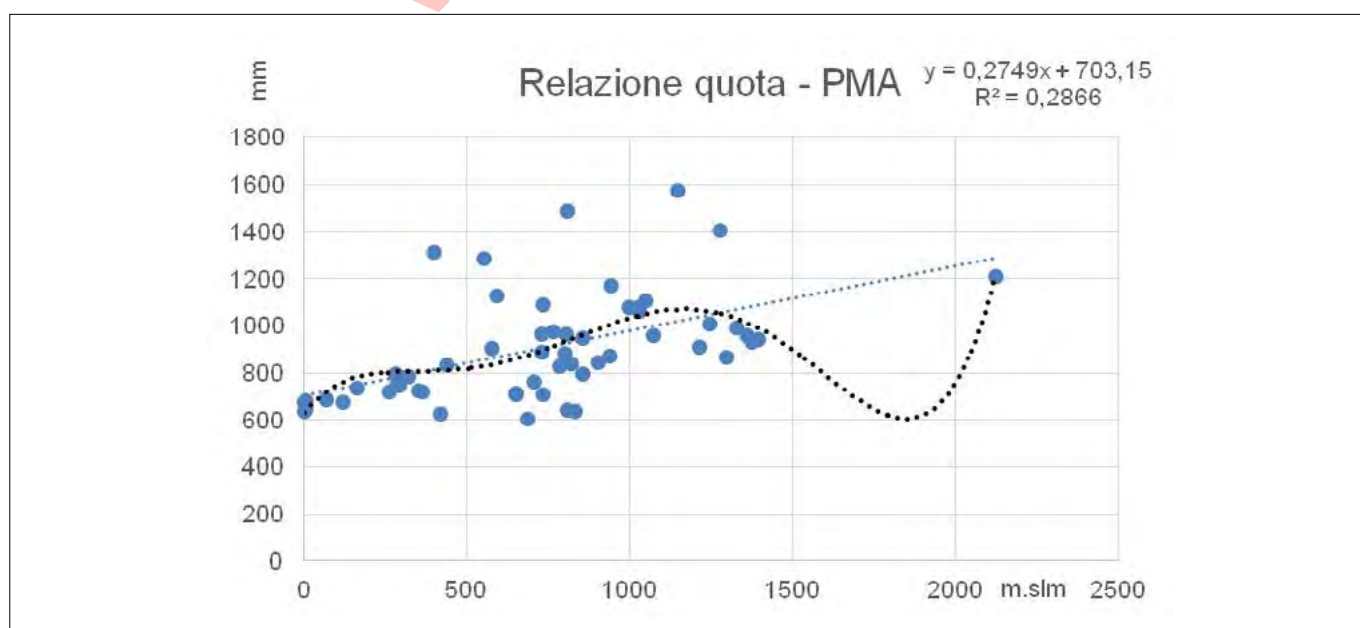


FIGURA 6. Relazione quota - precipitazioni medie annuali (PMA).

estensione temporale; ciò in relazione alla più volte citata complessa orografia e alla ridotta distanza media del territorio studiato dai due mari, aventi differenti caratteristiche termodinamiche, che bordano la penisola. Le nevicate, che da autunno inoltrato alla prima metà della primavera interessano la porzione montana s.s. del territorio abruzzese - peraltro con sempre maggiore irregolarità stagionale - sono decisamente abbondanti oltre i 1200 metri, tanto da essere paragonabili a quelle di nevosi siti alpini ubicati alle stesse quote. Ciò accade in quanto il regime meteorico a componente mediterranea garantisce nevicate abbondanti in particolare nel trimestre invernale. Il regime nivometrico risulta essere bimodale, a massimo assoluto primaverile al di sopra dei 1800 metri (FAZZINI & ROMEO, 2011). I fenomeni nevosi non di rado possono raggiungere le zone pianeggianti e costiere del versante adriatico, in concomitanza con irruzioni di aria artico-continentale proveniente dal primo quadrante, talvolta dando luogo a fenomeni anche di un certo rilievo in termini di estensione, intensità

'60, mentre nel trentennio precedente risulta evidente alcuna tendenza statisticamente significativa. Più in particolare, poi, negli ultimi quattro decenni, valore medio inerente l'incremento delle temperature è eccezionalmente elevato se si considera il segnale riferito all'intero continente europeo a partire dal 1760. L'incremento termico è pari a circa 1°C circa ogni 20 anni per le temperature massime (TX) e 0,8°C per le minime (TN), (CURCI *et al.* 2021). Le precipitazioni totali (RR) mostrano un marcato trend negativo durante gli anni '60, con decremento di circa 60 mm/anno tra i periodi 1955-1984 e 1965-1994, e una moderata controtendenza all'incremento delle cumulate dopo gli anni '80 (SCORZINI *et al.* 2018). Sembrerebbe poi evidente, almeno nell'ultimo trentennio, un segnale improntato a maggiori cumulate nelle stagioni intermedie e all'inizio dell'estate a cui si contrappone un calo delle cumulate totali nei mesi più freddi. Pertanto, se si va a confrontare il segnale climatico più recente con quello quasi secolare si notano tendenze significativamente diverse (Fig. 7).

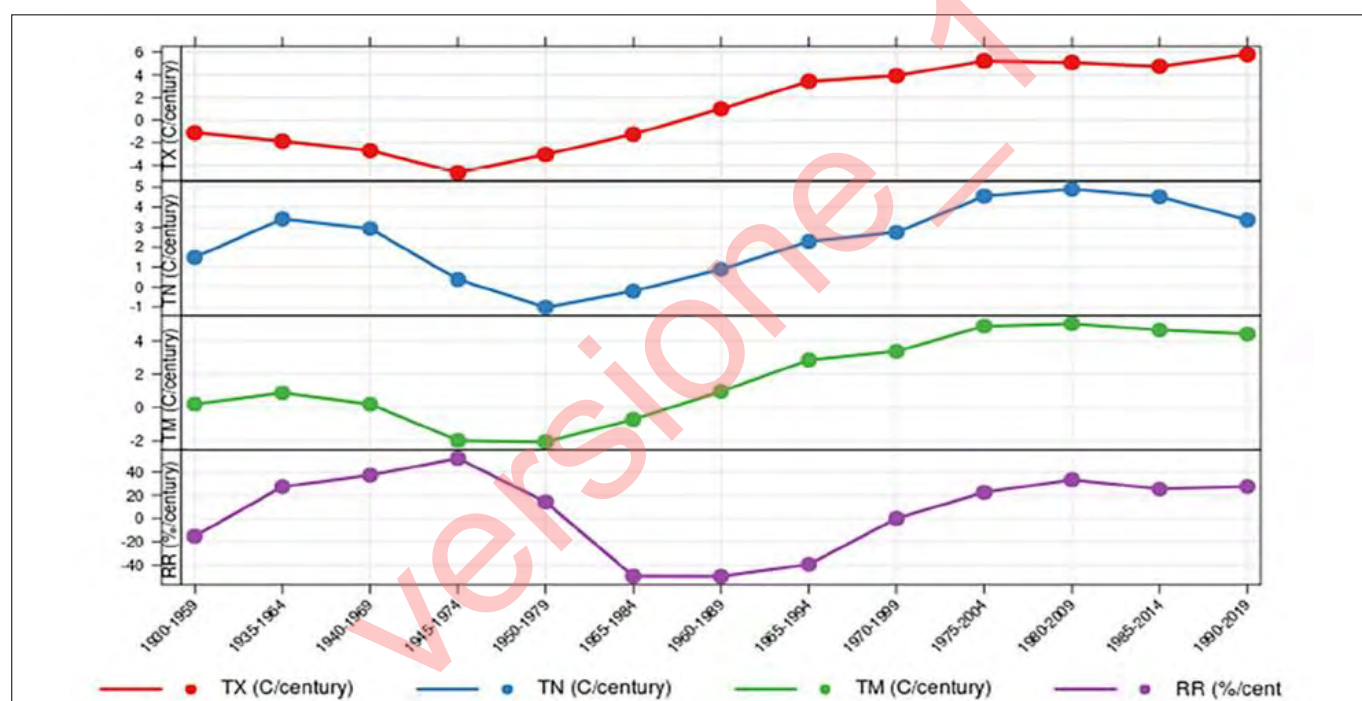


FIGURA 7. Trend regionali quasi secondari relativi alle temperature massime (TX), minime (TN), medie (TM) e precipitazioni totali (RR).

e accumulo della coltre nevosa. Le cumulate medie stagionali oscillano tra i 190 ed i 335 cm a seconda della quota e dell'esposizione e la permanenza della neve al suolo varia mediamente tra i 60 giorni a 1000 metri ed i 150 giorni a 2000 metri. Risulta infine evidente che non vi sia alcuna relazione statisticamente comprovata tra aumento di quota e innevamento medio o estremo, come avvenuto ad esempio durante le nevicate eccezionali del febbraio 2012 (BISCI *et al.*, 2012) e del gennaio 2017 (FAZZINI *et al.*, 2021).

TREND CLIMATICI RECENTI

Dalle analisi statistiche complesse effettuate sul lungo periodo 1931-2020, sia a fini di mera ricerca applicativa, sia per caratterizzare il clima regionale per la redazione del PRACC, appare evidente un generale ed intenso aumento delle temperature a partire dalla seconda metà degli anni

Per quanto riguarda le temperature, i valori minimi sono aumentati (~2,2C/ secolo) più di quelli massimi (1,6°C/ 100 anni). L'analisi delle serie temporali giornaliere consente di esaminare in modo più preciso le tendenze climatiche in termini di variabilità attorno ai valori medi e ai valori estremi. Facendo riferimento alle serie di dati omogenei o omogeneizzati e continui relativi al quarantennio 1981-2020 ed elaborando alcuni degli indici climatici creati e suggeriti da ETCCDI e riportati in ISPRA (2014) per la stesura dei piani di adattamento climatico, emerge che: - Per quanto riguarda i percentili delle temperature massime e minime TX e TN, l'andamento è simile in tutta la regione e tra i più significativi si nota che: il numero di giorni eccezionalmente caldi (TX90P) sta aumentando a un tasso di circa 0,25-0,28 all'anno mentre quello delle notti realmente fredde (TN10P) sta diminuendo di circa 0,27-

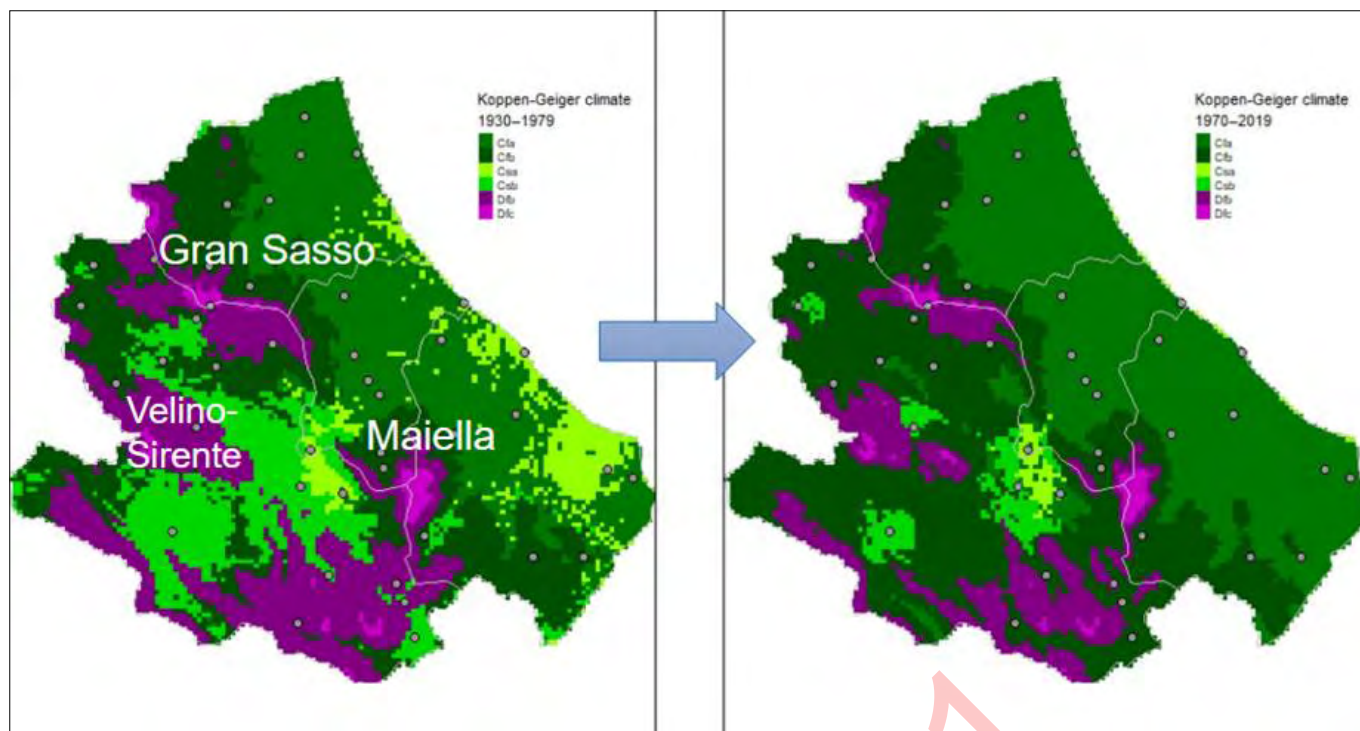


FIGURA 8. Classificazione di Koppen - Geiger (fonte: Curci *et al.*, 2021).

0.3 giorni all'anno - Nell'area montana - interna, il numero di giorni di gelo, con temperature minime $< 0^{\circ}\text{C}$ (FD) sta diminuendo di circa un giorno ogni due anni mentre non si osserva alcuna variazione significativa nell'area collinare e litoranea, dove peraltro i fenomeni sono più effimeri. - Il numero di giorni "caldi" (SD), in cui $T_{\text{max}} > 25^{\circ}\text{C}$ stanno aumentando a un tasso di 0.35-0.6 giorni /anno. Il numero di notti tropicali (TR), in cui $T_{\text{min}} > 20^{\circ}\text{C}$ sta aumentando di circa 0,7 giorni/anno, almeno nell'area costiero collinare. Per ciò che concerne le precipitazioni, la recente tendenza all'aumento delle cumulate annuali si ritrova anche in alcuni significativi indicatori degli estremi meteorici: - le cumulate meteoriche per periodi compresi tra uno e cinque giorni (RX1 e 5D) mostrano, nell'area adriatica costiero - collinare un incremento variabile tra 0,6 e 0,9 mm/anno. - La cumulata meteorica relativa ai giorni eccezionalmente ed estremamente piovosi (R95PTOT e R99PTOT) sta aumentando in modo notevole nell'area adriatica, persino preoccupante per gli effetti al suolo - rispettivamente di circa 3,1 - 2,1 mm/anno.

CLASSIFICAZIONI CLIMATICHE

In linea generale, per un inquadramento climatico dell'Abruzzo, può essere presa a riferimento la classificazione di base del Köppen del 1884, di tipo gerarchico e basata su discriminanti termo-meteoriche (Fig. 8).

Esso ha recentemente subito lievi ma importanti aggiornamenti (PEEL *et al.* 2007). Relativamente al periodo 1961 - 2019; la quasi totalità del territorio regionale rientra nei Climi Mesotermi di tipo C - temperati delle medie latitudini; caratterizzati dalla tempertura media del mese più freddo compresa tra 10°C e -3°C e da almeno un mese con temperatura media superiore a 10°C . tali aree climaticamente omogenee, occupano le porzioni più occidentali dei continenti ubicati alla latitudini intermedie, laddove le

correnti occidentali - *westerly* - sono predominanti tutto l'anno, ma con evidenti differenze d'intensità secondo la stagione, in funzione dell'ondulazione più o meno marcata del fronte polare e della relativa corrente a getto. Il sotto clima di riferimento è quello *Cf*, caratterizzato da precipitazioni significative in tutti i mesi dell'anno e comunque superiori ai 30 mm anche nel mese più secco. I massimi stagionali e mensili non risultano essere particolarmente abbondanti. Tale sottotipo secondario caratterizza oltre l'ottanta per cento del territorio, e solamente in particolari aree microclimatiche, si osserva la tendenza a condizioni semiaride durante il bimestre estivo - tali da far prevalere il sottotipo *Cs* o mediterraneo, caratterizzato da una stagione estiva secca. Tra i sottotipi climatici di terzo livello, si possono annoverare quelli ad estate molto calda - con tempertura media del mese più caldo $> 22^{\circ}\text{C}$ - quelli ad estate calda - con tempertura del mese più caldo compresa tra 18 e 22°C , - quelli ad estate breve e mite, - con meno di 4 mesi con tempertura medie mensili $> 10^{\circ}\text{C}$. Di conseguenza, si rinvencono i seguenti tipi climatici: *Csa*: clima temperato subtropicale, con estate secca e molto calda (Mediterraneo con estate molto calda) - aree della piana del Fucino e della Valle Peligna. *Csb*: clima temperato con estate secca e calda (Mediterraneo con estate calda) - aree della Piana di Carsoli e della alta e media valle Roveto, almeno oltre i 600 metri di quota, entrambe ubicate nella porzione a vergenza tirrenica del territorio regionale. *Cfa*: clima temperato sublitoraneo senza stagione secca ad estate molto calda (Umido sub-tropicale) - aree collinari e litoranee del versante adriatico sino ai 700-800 metri di quota. *Cfb*: clima temperato suboceanico senza stagione secca, ad estate calda - aree interne della montagna appenninica, comprese tra i 700-800 ed i 1200 m; *Cfc*: clima temperato appenninico senza stagione secca con estate fresca e breve - aree appenniniche di medio-alta montagna, tra i

1200 ed i 2000 m. Sui settori più elevati della regione, in particolare sulle aree sommitali dei massicci montuosi del Gran Sasso d'Italia e della Maiella, si hanno limitate aree influenzate da climi microtermici delle medie latitudini D, caratterizzati dalla tempertuara media del mese più freddo $< -3^{\circ}\text{C}$. Più in particolare si rinvencono i seguenti sotto climi: *Dfb*: clima boreale fresco senza stagione secca, ad estate mite, tipicamente riconducibile al clima temperato fresco caratterizzante anche la regione prealpina e subalpina a quote comprese tra i 2000 ed i 2500 m. circa, tipici di un ambiente morfo climatico di prateria e tundra alpina. *Dfc*: clima boreale freddo senza stagione secca ad estate breve e molto fresca tipicamente riconducibile alle aree sommitali dei due massicci del Gran Sasso d'Italia e della Maiella, tipici di un ambiente morfo climatico subglaciale e periglaciale relitto. Considerando invece la classificazione climatica di WALTER & LIETH (1967), riferita all'ultimo quarantennio 1981-2020 (fig.9), è possibile evidenziare la variazione stagionale della temperatura media e delle precipitazioni nella regione, visto che i diagrammi climatici evidenziano il ciclo annuale della temperatura e delle precipitazioni mensili sullo stesso grafico, evidenziando i periodi "secchi" e "umidi" durante l'anno.

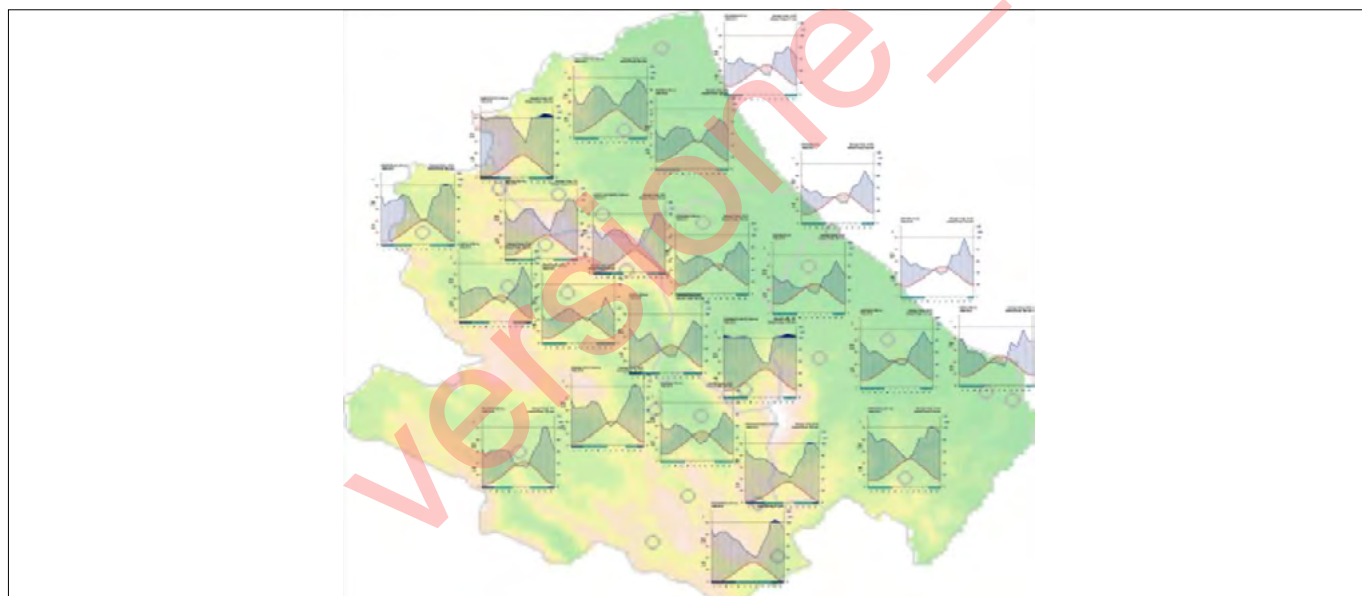


FIGURA 9. Diagrammi di Walter e Lieth per le stazioni meteorologiche oggetto dello studio.

Inoltre, considerando dati giornalieri, è possibile ricavare informazioni anche sui valori estremi di temperatura e sulla probabilità di giorni di gelo (giorni con $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$). Nel territorio regionale, la maggior parte delle località costiere (es Giulianova, Pescara, Vasto, Teramo, Lanciano), di basso e medio fondovalle evidenziano un trimestre giugno – agosto con deficit idrico, mentre le altre stagioni sono più o meno umide, in particolare l'autunno che globalmente essere il trimestre più piovoso. La possibilità di giornate di gelo è sempre presente da novembre ad aprile, e nelle valli montane, soprattutto oltre i 600 metri, vi è certezza assoluta di avere gelate durante il periodo dicembre - aprile. Le aree caratterizzate da un clima più freddo e umido sono quelle ubicate sui pendii aventi esposizione al primo e quarto quadrante dei grandi massicci montani (es Pietracamela, Campotosto,

Pretoro, Valle Castellana), non presentando peraltro alcun deficit meteorico e di umidità durante l'intero anno.

CONCLUSIONI

L'analisi quali quantitativa dei dati climatici principali, omogenei e continui per un lasso di tempo variabile dall'ultimo CliNo 1991-2020 ad uno quasi secolare ha evidentemente permesso di potere tracciare un quadro solido dello stato del clima medio e della sua tendenza nell'area amministrativa della regione Abruzzo. Le evidenze più palesi e soprattutto significative per comprendere l'evoluzione dei differenti ambienti morfoclimatici esistenti riguardano *in primis* un deciso e generale incremento dei valori termici medi ed estremi della temperatura ed una sempre più marcata oscillazione intesa come incremento della variabilità stagionale ed annuale delle precipitazioni totali, con una tendenza ad una "continentalizzazione" del regime meteorico medio, in un quadro di moderato calo dei giorni con precipitazioni annuali. Tali tendenze stanno causando una nuova definizione spazio – altitudinale nell'estensione delle aree a tipo climatico omogeneo. Da un confronto tra i periodi 1930-1979 e 1970-2019 (fig.8), risulta evidente che i climi estivi asciutti o mediterranei s.s. (*Csa/Csb*) sono mutati in climi temperati

più umidi (*Cfa/Cfb*) in ampie aree dell'Appennino interno e meno estesamente lungo la zona costiera adriatica e quella limitrofa di entroterra. Ciò è avvenuto in particolare perché sembrerebbero esser divenuti più frequenti e/o intensi i temporali convettivi sino a qualche decennio fa tipici dei mesi di luglio ed agosto. La stagione calda totale precipitazioni aumentate a causa di pioggia in tarda primavera e inizio autunno, anche se le precipitazioni in estate precipitazioni aumentate a causa di pioggia in tarda primavera e nella prima parte dell'autunno. Inoltre l'incremento più marcato delle temperature nelle aree montane al di sopra dei 1000 metri circa, più intenso nelle stagioni solstiziali, ha determinato un innalzamento delle quote e dunque un decremento delle aree a clima boreale (tipo *Dfb* secondo Koppen) che sono divenute mesotermiche ad inverno freddo ma non rigido

(clima Cfb). Gli effetti più significativi e critici in termini di incremento del rischio climatico s.l. sul paesaggio si rinven- gono soprattutto in un incremento delle fenomenologie di *flash flood* o *alluvioni lampo* che interessano in particolare il reticolo idrografico minore (PAGLIA *et al.*, 2021). Quando tali fenomenologie meteoriche intense e brevi colpiscono aree collinari a litologie prevalentemente argillose, si assiste ad un incremento in termini di frequenza e *magnitudo* delle fenomenologie gravitative, prevalentemente di colamento o scorrimento rotazionale e, a causa del maggiore tasso di erosività, all'approfondimento ed all'estensione delle aree calanchive s.l. Evidenza non ultima, soprattutto dal punto di vista delle georisorse è il declassamento dell'apparato gla- ciale del Calderone da ghiacciaio a *glacionevato* e *glacieret* (SMIRAGLIA & DIOLAIUTI, 2015). Esso rappresentava di fatto il ghiacciaio più meridionale d'Europa relitto dall'ul- tima Piccola Età glaciale.

BIBLIOGRAFIA

- ARUFFO E., DI CARLO P. (2019). *Homogenization of in- strumental time series of air temperature in Central Italy* (1930–2015), *Climate Research* Vol. 77: 193–204, (2019), <https://doi.org/10.3354/cr01552>.
- BISCI C., FAZZINI M., BELTRANDO G., CARDILLO A. AND ROMEO V. (2012). *The exceptional snowfall on February 2012 in the central Adriatic size of Italian-pe- ninsula*. *Meteorologische Zeitschrift*, 21, 5,503-508.
- BUCCOLINI M., D'ALESSANDRO L., FAZZINI M., GEN- TILI B., MATERAZZI M., PIACENTINI T. & SCALEL- LA G. (2004). *The role of fast erosion in the recent and present geomorphological evolution on the periadriatic area of southern Marche and northern Abruzzi*” *actes 32°ICG Florence*, 689.
- CARDILLO A., DIPILLA S., FAZZINI M. (2009). *Analyse statistique des champs de précipitations pendant 30 ans sur le versant adriatique de la Région Molise (Italie cen- trale): premiers résultats* – *Studia Crescent, Geographia tecnica* - Numéro Spécial “Extrêmes climatiques: genèse, modélisation et impacts” - 109-114.
- CURCI G., GUIJARRO JA, DI ANTONIO L, DI BACCO M, DI LENA B, SCORZINI AR. (2021). *Building a local cli- mate reference dataset: Application to the Abruzzo region (Central Italy), 1930–2019*. *Int J. Climatol.* 2021; 41: 4414-4436. <https://doi.org/10.1002/joc.7081>.
- DI LENA B, CURCI G, VERGNI L, FARINELLI D. (2022). *Climatic Suitability of Different Areas in Abruzzo, Central Italy, for the Cultivation of Hazelnut*. *Horticulturae*. 8(7): 580. <https://doi.org/10.3390/horticulturae807058>.
- FAZZINI M. & GIUFFRIDA A. (2005). *Une nouvelle pro- position quantitative des régimes pluviométriques dans le territoire de l' Italie : premiers résultats* in « *Climat Urbain, Ville et Architecture* » *Actes XVIII Colloque Internationale de Climatologie* – Gênes – 362-365.
- FAZZINI M, ROMEO V. (2011). *L'enneigement dans les Apennins durant les derniers 30 ans*. *Actes XXIV Collo- que AIC « Climat montagnard et risques »*; M.Fazzini et G.Beltrando éditeurs scientifiques; Stamperia Ro- mana ed ; 249-254.
- FAZZINI M., CORDESCI M., CARABELLA C., PAGLIA G., ESPOSITO G. MICCADEI E. (2021). *The extremi- sation of climate in relationship with environmental risk reduction in the Prati di Tivo area (Gran Sasso d'I- talia - Central Italy)*, *LAND* – 2021, 10, 1176, DOI [10.3390/LAND10111176](https://doi.org/10.3390/LAND10111176).
- FAZZINI M., PAGLIA G., AND MICCADEI E. (2022). *Morphological characterization of the cold-air pools of Abruzzo Region (Central Italy) and proposal for the creation of morphoclimatic sites*, 10th International Conference on Geomorphology, Coimbra, Portugal, 12–16 Sep 2022, ICG2022-153, <https://doi.org/10.5194/icg2022-153>.
- GIORGI F. (2019). *Thirty years of regional climate mode- ling: where are we and where are we going next?* *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 124, 5696– 5723. <https://doi.org/10.1029/2018JD030094>. <https://www.regione.abruzzo.it/content/piano-di-adat- tamento-ai-cambiamenti-climatici-pacc-abruzzo->.
- ISPRA (2018). *Variazioni e tendenze degli estremi di tem- pertuara e precipitazioni in Italia* - Stato dell'Ambiente 37/2013 ISBN 978-88-448-0599-9.
- KÖPPEN W. (1884). *The thermal zones of the earth accor- ding to the duration of hot, moderate and cold periods and of the impact of heat on the organic world*. *Meteorologi- sche Zeitschrift*, 1, 215–226.
- PAGLIA G., CARABELLA C., EPIFANI C., ESPOSITO G., FAZZINI M., MANCINELLI V., MICCADEI E. (2020). *Landslide hazard in the Abruzzo area (Central Italy) - case studies of different types of landslides in diffe- rent environments and morphostructural domains*. - EGU2020-15993, <https://doi.org/10.5194/egusph- re-egu2020-15993>.
- PEEL M.C., FINLAYSON B.L., MCMAHON T. A. (2007). *Updated world map of the Köppen-Geiger climate clas- sification*, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1633–1644, <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>.
- REGIONE ABRUZZO (2017). *Valori medi Climatici re- gione Abruzzo 1951-2000*, Banca dati meteorologica storica Regione Abruzzo https://www.regione.abruz- zo.it/system/files/agricoltura/agrometeorologia/VA- LORI_MEDI_CLIMATICI_NELLA_REGIONE_ ABRUZZO.
- RIBEIRO S., CAINETA J., COSTA A.C. (2016). *Review and discussion of homogenisation methods for clima- te data*. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 94, 167–179. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.08.007>.
- SCORZINI A.R., DI BACCO M., LEOPARDI M. (2018). *Recent trends in daily temperature extremes over the cen- tral Adriatic region of Italy in a Mediterranean climatic context*, *Int. J. Climatol.* 38 (Suppl.1): e741–e757.
- SMIRAGLIA C. & DIOLAIUTI G. - a cura di (2015). *Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani*, Bergamo, Ev-K2- CNR, 2015.
- WALTER H. & LIETH H.H.F. (1967) - *Klimadiagramm- Weltatlas*. Jena: G. Fischer Verlag.
- WMO, 2016. *Guidelines on best practices for climate data rescue*.

Il Lago del Fucino nell'opera di Muzio Febonio *Historiae Marsorum*

The Lake of Fucino in the work of Muzio Febonio *Historiae Marsorum*

MARIA LUISA FELICI

Geologa - Socia SIGEA

Comitato di Redazione di Geologia dell'Ambiente

E-mail: mluisa@tin.it

Parole chiave: bonifica, Lago del Fucino, Muzio Febonio, Marsica, Abruzzo

Key words: drainage, Fucino Lake, Muzio Febonio, Marsica, Abruzzo

INTRODUZIONE

Il lago del Fucino, chiamato anche lago di Celano, è stato dall'antichità fino al secolo scorso, l'elemento caratterizzante della regione marsicana, una sub-regione abruzzese situata nell'Appennino centrale (Fig. 1).

Fino al suo prosciugamento, il Fucino era senza dubbio uno dei più grandi laghi carsici della penisola italiana. Si stima che la sua superficie raggiungesse i 155 Km², con una lunghezza di circa 17 km e larghezza di quasi 11 km e una profondità massima di 22 metri, era il terzo lago in Italia per estensione, dopo il Lago di Garda e il Lago Maggiore, e il primo dell'Italia peninsulare. Inoltre era il lago a più alta

quota, trovandosi ad oltre 600 metri s.l.m.. In tempi di piena la superficie poteva raggiungere i 170 km², inondando le aree circostanti (Febonio, 2012).

Il lago si trovava incorniciato dai monti del Sirente-Velino a nord-nord-est, del monte Salviano a ovest, della Vallerlonga a sud e della valle del Giovenco a est-sud-est.

L'origine del bacino è connessa con la tettonica estensionale che ha interessato la catena appenninica centro-occidentale durante il tardo Pliocene e che ha coinvolto la piattaforma carbonatica Laziale-Abruzzese e da cui durante il Pliocene superiore-Olocene, si sarebbe formato un ampio lago (Giraudi, 1989).



FIGURA 1. Diocesi d'Abruzzo nella rappresentazione di Diego di Revillas, 1735.

Impaludamenti e frequenti esondazioni furono i motivi principali che spinsero i Romani, fin dal VII secolo a.C., a costruire un emissario sotterraneo artificiale lungo 6.560 metri per migliorare il deflusso delle acque.

Nel I secolo d.C. l'imperatore Claudio, al fine di recuperare i terreni del bacino lacustre all'agricoltura, fece realizzare una galleria per scaricare le acque del lago nel limitrofo bacino del fiume Liri. Dopo alcuni insuccessi, la galleria cominciò a svolgere la sua funzione ma nel tempo, il suo funzionamento, causa anche ad una mancata manutenzione durante il periodo imperiale, non fu più ottimale e la superficie lacustre tornò a riempirsi di acqua. La bonifica integrale della piana del Fucino fu effettuata da Alessandro Torlonia, che nel 1875 riuscì a realizzare un nuovo collettore in grado di smaltire una portata di circa 40 m³/s. Negli anni '40 del XX secolo venne poi realizzato un nuovo emissario con portata di circa 20 m³/s.

Con il prosciugamento del lago, l'area è diventata una piana agricola, che, unitamente alle aree bordiere, si estende per oltre 300 km², con frutta, viti, produzioni orticole di vario tipo, tra cui le carote e le patate del Fucino con riconoscimento Igp, oltre che sede di insediamenti scientifici e tecnologici di alto livello internazionale (https://www.distrettoappenninomeridionale.it/images/_PROGETTI%20SPECIFICI/AQUA/territorio.html).

IL LAGO DEL FUCINO NELL'OPERA DI MUZIO FEBONIO *HISTORIAE MARSORUM*

In antichi testi si parla di questo lago, si raccontano le possibili origini mitiche e naturali e la morfologia. In questo contributo si riportano sinteticamente le informazioni che Muzio Febonio (Fig. 2) descrisse nella sua opera, forse la più rappresentativa, *Historiae Marsorum* (*Storia dei Marsi*), in tre volumi, redatta in latino.

Il primo volume riguarda la storia dei Marsi; il secondo volume è dedicato al lago del Fucino sotto i molteplici aspetti storici, morfologici, la descrizione degli immissari

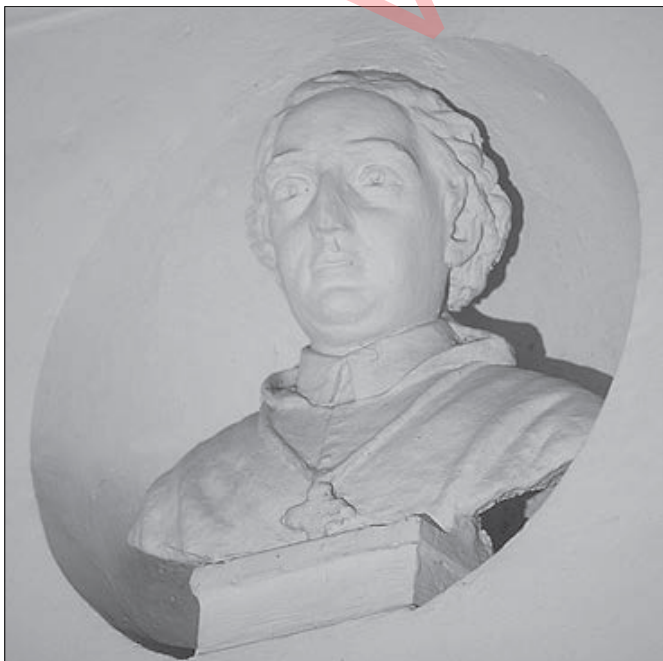


FIGURA 2. Muzio Febonio raffigurato in una scultura.

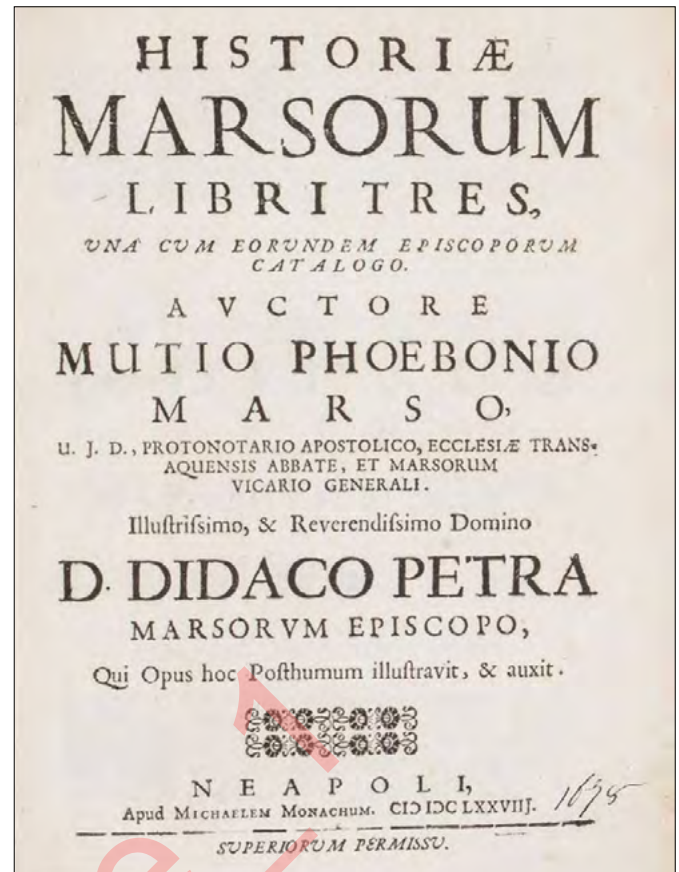


FIGURA 3. Riproduzione della copertina della prima edizione di *Historiae Marsorum* di Muzio Febonio, 1678.

ed emissari, la pesca e molte altre informazioni; il terzo volume concerne i luoghi, le città antiche e i popoli che hanno abitato l'area a ridosso del lago (Fig. 3).

Nato ad Avezzano (AQ) il 13 luglio 1597, Muzio Febonio (con il cognome noto anche come Feboni o Febbonio) proveniva da una delle famiglie più note di Trasacco (AQ), piccolo centro posto su un colle lambito dal lago del Fucino, dominato dalla Torre dei Feboni, una costruzione di epoca romana già dimora di Agrippina, moglie di Claudio Nerone, appartenuta alla famiglia Febonio nei secoli XV e XVI. Muzio Febonio studiò teologia a Roma dove conseguì successivamente una laurea in giurisprudenza. Svolse incarichi in ambito religioso e grazie a Marcantonio Colonna, nel 1631 ottenne il titolo di abate della Chiesa dei Santi Cesidio e Rufino a Trasacco. In questa sede Muzio Febonio poté dedicarsi agli studi storici e archeologici sulla Marsica. Iniziarono in questo periodo gli scambi epistolari con storici abruzzesi, e con Lucas Holste e Ferdinando Ughelli. Muzio Febonio morì a Pescina (AQ) il 3 gennaio 1663).

Autore di opere per lo più a carattere religioso agiografico, Febonio è sicuramente noto per la realizzazione delle *Historiae Marsorum*, in cui confluisce una notevole quantità di materiale derivante dalle ricerche effettuate direttamente dall'autore sebbene alcuni riferimenti a nomi di luoghi e corsi d'acqua non siano sempre facilmente identificabili e riconducibili al territorio marsicano.

UN LAGO SIMILE AL MARE

Le rive del Lago del Fucino risultano abitate fin dal II millennio a.C. ma tra il IX e l'VIII sec. a.C., a causa dell'in-

nalzamento delle acque del lago, gli abitanti si trasferirono in altre zone. Tra il VII e il VI sec. a.C. sulle sponde del lago si stanziarono i Marsi, antica popolazione sabellica, all'inizio alleata di Roma ma che poi si ribellò al predominio e venne sconfitta. I Romani fondarono nel loro territorio diverse città come *Marruvium*, *Antinum*, *Lucus Angitia* i cui resti archeologici sono tuttora presenti, nei territori, rispettivamente, di San Benedetto dei Marsi, Civita d'Antino, Luco dei Marsi. La Marsica è la parte di Abruzzo che ha per centro il Fucino e che prende nome proprio dall'antico popolo dei Marsi.

Per ciò che concerne il nome *Fucino*, non è possibile definire con certezza la sua origine: secondo il poeta Licofrone derivava da "Forco" che significa lucente; secondo altre interpretazioni, Fucino (in latino *Fūcinus*), era derivato da *Fūcentes*, un appellativo dei Marsi che vivevano sulle sponde orientali del lago.

Il lago era noto anche come Lago di Celano, località situata sulle pendici del Monte Tino.

Nella descrizione di Febonio, il bacino era situato vicino ai monti che alimentavano le acque e la cui superficie era ampia, tanto che Strabone nella sua opera *Geografia* afferma che "*Vicino c'è il lago Fucino, simile ad un mare per la sua estensione; esso è di grande utilità per i Marsi e per i loro vicini*" (Fig. 4).

Le acque erano così limpide che nulla era nascosto sul fondo del lago, per cui di giorno alla luce del sole e di notte con la luna piena i pescatori potevano catturare facilmente la fauna ittica che richiamavano battendo i remi o altri oggetti di legno e attirandoli nelle reti gettate in acqua.

La descrizione di Febonio indica che il lago si estendeva da oriente ad occidente, piegando con continuo, lento declivio verso la parte più bassa e depressa, dove si trovavano alcune sorgenti di acqua dolce e gradevole utilizzate dagli abitanti di Trasacco, Luco e Ortucchio. Oltretutto le acque del lago erano ritenute di grande utilità ai fini salutistici per la loro capacità di curare la scabbia ed altre malattie. Come motivazione di tale caratteristica, Febonio riporta che tutto ciò dipendeva dalle salubrità delle acque dei fiumi che vi si immettevano, non contaminate dal fango della terra, né

riparo di animali velenosi. Si esaltava quindi la loro bontà tanto che gli antichi abitanti dei luoghi intorno al lago credevano che vi abitasse una divinità.

Il lago non aveva una forma perfetta, ma variabile a causa della presenza di insenature, inondava i campi che si trovano presso i monti della Marsica, aveva ad oriente la valle di Arciprete, "*nella quale allunga un notevole angolo a forma di gomito, e chiude in mezzo l'isola di Ortucchio che l'Alicarnasso chiama Issa e, Paolo Marso, Ortigia, ove sorge una città del medesimo nome: però non è sempre un'isola, ma soltanto per il tempo in cui le acque straripano; quando poi si ritirano, vi si accede per un sentiero labile e, per gli abitanti, da quella parte rimane solo un breve tratto di pianura*". Così cita Febonio riguardo ad Ortucchio, il piccolo centro marsicano collocato a sud-est del bacino del Fucino, sorto su una piccola isola del lago, da cui deriva la denominazione *ortus aquarum* cioè "origine dalle acque". Dopo l'anno mille, nelle bolle papali il paese è sempre menzionato con il nome Ortigia, forse derivato dalla nota isola del Mar Jonio chiamata anche Delo o Issa.

Un'altra insenatura, non molto ampia, si estendeva verso i campi tra Paterno e Celano e, da quella parte, formava una curva nei pressi delle campagne di Avezzano e poi si dirigeva verso le pendici del monte Penna e monte Carbonaro mentre l'altra sponda era caratterizzata da una pianura ampia e aperta coltivata dagli abitanti di Celano e di Pescara. In questa area si originavano due insenature, separate da un colle intermedio, non lontano da Trasacco, che permetteva l'attracco delle navi dei pescatori.

Nella prima insenatura che si estendeva per duecento passi su un colle totalmente coperto da pietre bianche, si coltivavano vigneti che producevano uva e vini dolci. Nella medesima insenatura era presente una palude il cui suolo, quando rimaneva all'asciutto per il ritiro delle acque, produceva una messe molto abbondante.

L'altra insenatura, più piccola, aveva acque più profonde; e la terra, una volta asciutta, non poteva essere coltivata, né seminata. Altre insenature consentivano l'attracco delle navi dei pescatori, in relazione però all'avanzamento o al deflusso delle acque.



FIGURA 4. Il Lago del Fucino e alcuni paesi della Marsica in una raffigurazione di Raffaele Fabretti, 1683.

Come già riportato a proposito della biografia di Muzio Febonio, a Trasacco era ed è tuttora presente la torre Febonio, che era utilizzata come punto di osservazione sul lago Fucino e come faro di riferimento per i pescatori che navigavano di notte sul lago.

Il lago era ricco di ottimi pesci, di cui si cibavano a Roma, il Lazio e tutta la circostante regione sino ad oltre 60 miglia di distanza. Le acque, benché basse, erano navigabili e non sopportavano il peso di grandi navi; tuttavia le biremi, le quadriremi, le navi a sette ordini di remi, le noviremi potevano navigare sulle acque del lago.

Essendo la profondità e il perimetro del lago irregolari, in molti punti il fondo si sollevava formando alture ricoperte dalle acque. Il clima era mite ed aperto ai venti provenienti da ogni parte, ma quando soffiava il vento che Febonio definisce Aquilone, ovvero un vento di tramontana proveniente da nord-nord est, freddo e gelido, la superficie del lago a volte si trasformava in ghiaccio.

Si raccontava infatti che nell'anno 1167, secondo quanto riferito dalle *Cronache* di Giovanni da Celano, uomini ed animali da soma erano riusciti a passare da una sponda all'altra del lago con tutto il loro carico. Ancora, Giovanni da Celano racconta che piovve quasi ininterrottamente dal 25 luglio al 9 novembre, poi ci fu un periodo di stasi, riprendendo a piovere il 20 gennaio. Col vento Aquilone gli stagni gelarono ed il lago Fucino quasi per intero si coprì talmente di ghiaccio che si poteva attraversare a piedi da una riva all'altra. Questa situazione climatica, sottolinea Febonio, si verificò anche nel 1225, come è riferito nelle *Cronaca degli avvenimenti dal 1189 al 1243* di Riccardo di San Germano.

L'autore riporta inoltre che era possibile, in alcuni casi, passare a piedi asciutti in mezzo al lago fino alle fascine già deposte per la cattura dei pesci, camminando sulla robusta lastra di ghiaccio, in quanto la superficie del lago era solidificata in alcune zone, tanto da diventare anche palestra del gioco del cacio (forme rotonde di formaggio che venivano lanciate come bocce; la vittoria era attribuita alla forma che si posizionava più lontana senza rompersi) e delle bocce.

Per quanto riguarda l'esonazione del lago in alcuni periodi e successivo reflusso, prima ancora dell'arrivo dei Romani, il Fucino poteva estendersi fino ai campi di Alba Fucens "a causa dell'aumento delle acque che si accumulavano ogni sette anni". Tracce residue dimostrano che il lago si estendeva oltre la città di Avezzano fino ad un luogo chiamato Colle di Cesolino. L'aumento del livello del Fucino sarebbe derivato dall'accumulo di materiali impermeabili argilloso e arenaceo trasportati dai torrenti in piena e depositati sul fondo del lago, per cui in 18 secoli si ebbe un innalzamento di più di 6 metri.

Muzio Febonio ricorda di essere stato testimone diretto del terremoto del 1655, quando la terra fu scossa dalle onde sismiche che interessarono l'Abruzzo e regioni limitrofe. Molte città furono sconvolte, le case crollarono, si formarono voragini intorno al lago che inghiottirono grande quantità di acqua. Notevole fu quella che si formò sulla riva del lago in campo di Vico, che distava undicimila passi (un passo romano era uguale a circa 60-70 cm) da Avezzano,

profonda venti palmi (un palmo circa 7,62 cm) e con un volume di acqua valutabile trecento orci (1 orcio uguale a 37,98 litri) che fu inghiottita in poco tempo.

"Oltre le acque dei fiumi che confluiscono in un unico luogo, vi sono sorgenti nascoste provenienti da caverne sotterranee" racconta Muzio Febonio nel paragrafo in cui esamina i diversi immissari ed emissari del lago del Fucino, riferendosi spesso a scrittori del periodo greco e romano e citando nomi di corsi d'acqua non sempre identificabili nelle loro origini e percorsi.

E' indubbio che la zona del Fucino e delle aree circostanti fosse caratterizzata dalla presenza di fenomeni carsici che generavano voragini e corsi d'acqua che scorrevano in superficie per inoltrarsi in profondità e poi scorrere di nuovo all'aperto in altri territori.

Tra i diversi emissari citati da Febonio, il primo nasceva nei pressi di Ortucchio e sboccava ai piedi dell'isola occupando lo spazio che si trovava tra Santa Maria di Capodacqua e il castello della città; quando l'isola rimaneva in secco, era possibile navigare per mezzo di piccole imbarcazioni e si diceva che le sue acque derivassero dal lago di Scanno. Nella zona di Lecce dei Marsi scorreva il Sarcinale, che sgorgava "da una roccia" vicino ai casali del piccolo borgo; era presente anche una piccola sorgente che, d'inverno, si trasformava in torrente, chiamata Tavana, ancora oggi esistente. Il fiume Invetto, denominato anche Pittornio, Pittonio o Iovenco, da cui Giovenco, attraversava Venere e San Benedetto dei Marsi. Il fiume Giovenco è ancora oggi uno dei principali affluenti di un canale artificiale nella piana del Fucino che poi si immette nel collettore principale e nell'Incile del Fucino. Dopo un ulteriore percorso nella zona di Capistrello il Giovenco si riversa nel fiume Liri.

Altre sorgenti e torrenti caratterizzavano la zona di Celano da cui proveniva la sorgente Fonte d'Oro (conosciuta anche come *Fons Aurea* nel medioevo e come *Fonte Grande* in epoca moderna) dal Monte Tino mentre in tutta la pianura di Avezzano, dalla parte più bassa, sgorgavano sorgenti e ruscelli, tra cui il Muscino e il Capodacqua. Febonio cita anche due fiumi che dalla valle di Collelongo bagnavano la pianura tra Luco e Trasacco, e l'altro che attraversa la valle di Arciprete.

Un altro fiume proveniente dal monte Velino scorreva nascosto attraverso vene sotterranee e caverne, per una località detta Valle di Transito, tra Alba e Paterno. Febonio narra che una volta, mentre alcuni contadini stavano arando, si aprì all'improvviso una voragine dove precipitarono i buoi e quando questi vennero estratti, si scoprì al di sotto un fiume, già noto in precedenza.

Nel suo testo, Febonio cita anche la presenza di diverse voragini tra la riva di Paterno e quella di Celano e lungo le rive di Trasacco e Avezzano, con presenza di acqua a volte in movimento, forse per effetto di afflussi e deflussi delle sorgenti, come anche intorno alle pendici del monte Pen-na in cui le voragini assorbivano l'acqua, e talvolta se ne formavano altre. Inoltre intorno al lago si aprivano molti altri inghiottitoi.

Al termine del secondo volume, Muzio Febonio tratteggia l'esperienza di Claudio con la costruzione della galleria



FIGURA 5. Il Lago del Fucino nella raffigurazione di Edward Lear, 1846.

sotterranea che avrebbe dovuto risolvere il problema delle esondazioni, portando le acque del Fucino a confluire nel bacino del Liri.

Come riporta l'autore, che riprende quanto indicato da Tacito nei suoi *Annales*, terminati i lavori dell'emissario, affinché nulla mancasse alla sua magnificenza Claudio desiderò commemorare l'inaugurazione dei lavori e l'avvio del canale artificiale con una solennità tale, che ne superasse ogni altra, sia in grandezza che in splendore con una naumachia. Si organizzarono spettacoli teatrali e furono

costruite circa un centinaio di galere, a tre e a quattro ordini di remi, che vennero organizzate su due flotte, una rappresentava i Rodiesi (Rodiani) e l'altra i Siculi (Siciliani). Tante persone vennero da Roma per assistere al suddetto avvenimento, con annesso spettacolo, sulle rive del Lago Fucino. Ma non andò tutto bene, anzi. Terminato lo spettacolo, il passaggio delle acque fu aperto e si rese subito evidente un difetto della galleria, non sufficientemente abbassata rispetto alle parti più profonde o anche intermedie del lago. La galleria richiese ancora lavori di escavazione per essere messa a punto ma alla fine funzionò adeguatamente ancora per diversi decenni.

Secondo l'autore, l'imperatore Claudio probabilmente non aveva in realtà l'intenzione di prosciugare completamente il lago ma solo parzialmente per ricavare terreni fertili e cercare una soluzione alle frequenti inondazioni e impaludamenti tramite il canale artificiale.

La descrizione del lago del Fucino, contenuta nel secondo volume di *Historiae Marsorum*, termina con il citato resoconto dell'inaugurazione della galleria artificiale.

Nell'insieme *Historiae Marsorum* rappresenta un'opera di importante valore storico, sociale e culturale, oltre che geografico, ricco di informazioni su un ambiente ormai completamente mutato nel tempo (Fig. 5).

Altri studiosi si avvalsero dell'opera di Muzio Febonio, come è il caso di Pietro Antonio Corsignani che redasse *Reggia marsicana ovvero memorie topografico-storiche di varie colonie, e città antiche e moderne della provincia de i Marsi e di Valeria* (1738), in due volumi, che può essere considerata una continuazione delle *Historiae Marsorum* (Fig. 6).

BIBLIOGRAFIA

AUTORITÀ DI BACINO DEI FIUMI LIRI, GARIGLIANO E VOLTURNO (2013). *Piattaforma di partecipazione pubblica dei processi decisionali dell'Autorità di Bacino*.

https://www.distrettoappenninomeridionale.it/images/_PROGETTI%20SPECIFICI/AQUA/territorio.html.

CORSIGNANI P.A. (1738). *Reggia Marsicana ovvero memorie topografico-storiche di varie colonie e città antiche e moderne della provincia de i Marsi e di Valeria: compresa nel vetusto Lazio, e negli Abruzzi, colla descrizione delle loro chiese, e immagini miracolose; e delle vite de' Santi, cogli uomini illustri, e la serie de' vescovi Marsicani*. 2 voll., Il Parrino, Napoli.

FABRETTI R. (1683). *De columna Traiani syntagma: Accesserunt explicatio veteris tabellae anaglyphae Homer Iliadem atque ex Stesichoro, Arctino et Lesche Ilii excidium continentis & emissarii lacus Fucini descriptio*. Nicolò Angelo Tinassi, Roma.

CAPEZZALI W. & SMARRELLI P. (a cura di) (2012). *Historiae Marsorum Libri Tres Auctore Mutio Phoebonio Marso*. Fondazione Cassa di Risparmio della Provincia dell'Aquila. Tesori Tipografici Aquilani, L'Aquila, 141-189.

GIRAUDI C. (1989). *Faglie ad attività olocenica nella piana del Fucino*, Mem. Soc. Geol. Ital., 35, 887-892.

STRABONE (14-23 d.C.). *Geografia*. V, 3,13.

TACITO P. C. (117-120 d.C.). *Annales*, XII, 56-57.



FIGURA 6. Riproduzione della copertina della prima edizione del primo volume di Reggia Marsicana ovvero memorie topografico-storiche di varie colonie e città antiche e moderne della provincia de i Marsi e di Valeria: compresa nel vetusto Lazio, e negli Abruzzi, colla descrizione delle loro chiese, e immagini miracolose; e delle vite de' Santi, cogli uomini illustri, e la serie de' vescovi Marsicani, 1738.

Il Cammino della Linea Gustav: un progetto interdisciplinare di valorizzazione e geoturismo nell'Abruzzo orientale, Italia

The Gustav Line: an interdisciplinary project for enhancement and geotourism of eastern Abruzzo region, Italy

ADELE GARZARELLA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma

E-mail: adel.garzarella@gmail.com

Parole chiave: geoturismo, geologia militare, Maiella, Linea Gustav, Seconda Guerra Mondiale

Key words: geotourism, military geology, Maiella, Gustav Line, Second World War

RIASSUNTO

La Linea Gustav fu una delle principali linee difensive fortificate approntate dalle forze tedesche in Italia per rallentare l'avanzata alleata sulla penisola italiana, dopo gli sbarchi di Taranto e Salerno (settembre 1943). Si trattava di un complesso sistema di fortificazioni, trincee, campi minati e postazioni di artiglieria che si estendeva da Ortona, sull'Adriatico, fino a Minturno, sul Tirreno, incardinato saldamente sull'Appennino centrale. Tutta l'area orientale e meridionale della Maiella, i Monti Pizzi a sud, il Monte Porrara, il Monte Pizzalto e l'Arazzecca più a ovest, risultano tutt'oggi disseminati dai segni del passaggio del fronte durante la Seconda Guerra Mondiale. Il collegamento tra gli esiti delle battaglie e la tipologia di terreno, le condizioni climatiche, la geologia e la geografia, hanno preso sempre più interesse in quanto tale approccio interdisciplinare permette una comprensione più completa degli eventi. La strategia tedesca di scegliere il massiccio carbonatico della Maiella come baluardo difensivo riuscì a rallentare l'avanzata degli alleati, costretti a operare su aree collinari facilmente erodibili e fangose, caratterizzate anche talvolta da forti pendenze che unitamente alle condizioni climatiche resero molto complicati i tentativi di avanzata con i mezzi corazzati soprattutto lungo le aste vallive e nella fascia collinare pedemontana. Negli ultimi anni la messa in essere di progetti di riqualificazione dei luoghi della memoria storia ad opera di ricercatori locali, delle amministrazioni comunali interessate e del Parco Nazionale della Maiella, ha ridestato un vivo interesse al tema della storia contemporanea in chiave interdisciplinare, permettendo il finanziamento del Cammino della Linea Gustav tramite fondi regionali con il Comune di Civitella Messer Raimondo (CH) come capofila. Le peculiarità geologiche dell'area del Parco Nazionale della Maiella in particolare, Geoparco Unesco dal 2021, unitamente alle valenze storiche e naturalistiche, stanno consentendo l'attivazione inoltre di progetti, attività e percorsi geoturistici, in chiave olistica.

ABSTRACT

The Gustav Line was one of the main fortified defensive lines established by German forces in Italy to slow the Allied advance on the Italian peninsula after the landings at

Taranto and Salerno (September 1943). It was a complex system of fortifications, trenches, minefields, and artillery emplacements that extended from Ortona on the Adriatic to Minturno on the Tyrrhenian Sea, firmly anchored in the central Apennines. The entire eastern and southern area of the Maiella, the Pizzi Mountains to the south, Mount Porrara, Mount Pizzalto, and Mount Arazzecca further west, are still littered with the signs of the front during the Second World War. The connection between the outcomes of battles and the type of terrain, climate conditions, geology, and geography has gained increasing interest, as this interdisciplinary approach allows for a more complete understanding of the events. The German strategy of choosing the Maiella carbonate massif as a defensive bulwark succeeded in slowing the Allied advance, forcing them to operate in easily erodible and muddy hilly areas, sometimes characterized by steep slopes. This, combined with the climatic conditions, greatly complicated advance attempts with armored vehicles, especially along the valleys and in the foothills. In recent years, the implementation of projects to redevelop historical sites by local researchers, the relevant municipal administrations, and the Maiella National Park has rekindled a lively interest in the topic of contemporary history from an interdisciplinary perspective, allowing the financing of the Gustav Line Trail through regional funds, led by the Municipality of Civitella Messer Raimondo (CH). The geological peculiarities of the Maiella National Park area in particular, a UNESCO Geopark since 2021, combined with its historical and naturalistic values, are also enabling the activation of holistic geotourism projects, activities, and itineraries.

INTRODUZIONE

Durante la Seconda Guerra Mondiale, l'Italia fu teatro di numerose battaglie decisive tra le forze Alleate e quelle dell'Asse. Una delle più note e strategicamente importanti linee difensive tedesche in Italia fu la Linea Gustav, costruita tra ottobre e novembre del 1943. Questa linea rappresentò un ostacolo cruciale per l'avanzata alleata verso nord, diventando teatro di sanguinosi scontri, tra cui la celebre battaglia di Montecassino (Fig. 1).



FIGURA 1. La posizione della Linea Gustav e la distribuzione delle armate sul terreno alla fine del 1943.

La Linea Gustav fu una delle principali linee difensive fortificate approntate dalle forze tedesche in Italia per rallentare l'avanzata alleata sulla penisola italiana, a seguito degli sbarchi alleati a Taranto e Salerno (settembre 1943). Si trattava di un complesso sistema di fortificazioni, trincee, campi minati e postazioni di artiglieria che si estendeva da Ortona, sull'Adriatico, fino a Minturno, sul Tirreno, attraversando l'Appennino centrale. Il punto più forte e simbolico della Linea Gustav era Montecassino, con la sua abbazia benedettina situata su un'altura strategica che dominava la valle del Liri, principale via di accesso a Roma. Dopo l'armistizio dell'8 settembre 1943, i tedeschi, prevedendo l'avanzata alleata da sud, iniziarono a costruire varie linee difensive lungo la penisola. La Linea Gustav, posta circa 120 km a sud di Roma, divenne il baluardo più difficile da superare fino all'estate del 1944. Il suo scopo era duplice: ritardare l'avanzata alleata per permettere la riorganizzazione dell'esercito tedesco più a nord; tenere Roma e buona parte del territorio italiano il più a lungo possibile, per il suo ruolo strategico nello scacchiere del Mediterraneo, con i suoi porti e aeroporti a fare da ponte dall'Europa meridionale verso i Balcani, l'Africa e il Medio Oriente. Il prezzo pagato per lo sfondamento della Linea Gustav fu altissimo: decine di migliaia di soldati persero la vita da entrambe le parti, e le popolazioni civili subirono bombardamenti, deportazioni e violenze. L'intero territorio a ridosso della Linea Gustav è stato per lungo tempo simbolo della sofferenza bellica, ma anche della resistenza e del sacrificio del popolo italiano.

Oggi, numerosi cimiteri militari, musei e monumenti ricordano quei tragici eventi. L'Abbazia di Montecassino, ad esempio, completamente distrutta durante la guerra, è stata ricostruita fedelmente e rappresenta un luogo di memoria e riconciliazione. Sul versante abruzzese, negli ultimi anni la messa in essere di progetti di riqualificazione dei luoghi della memoria storia ad opera di ricercatori locali, delle amministrazioni comunali interessate e del Parco Nazionale della Maiella, ha ridestato un vivo interesse al tema

della storia contemporanea, permettendo il finanziamento del Cammino della Linea Gustav tramite fondi regionali con il Comune di Civitella Messer Raimondo (CH) come capofila.

IL CONTESTO AMBIENTALE E STORICO

Il contesto ambientale: dal Parco al Geoparco Maiella Unesco

Il 5 giugno 1995 è la data di istituzione dell'Ente Parco Maiella, ente gestore del Parco Nazionale della Maiella riconosciuto area protetta si Legge 6 dicembre 1991, n. 394. Il Parco ha un'estensione di 74.095 ettari, trentanove sono i comuni territorialmente compresi nell'area e ricadenti in tre delle quattro province abruzzesi (L'Aquila, Chieti, Pescara).

Nel 2021, il Parco, dopo un lungo iter burocratico, viene designato Geoparco Unesco nella ricorrenza della Giornata Internazionale della Terra, il 22 aprile, ottenendo l'ambito riconoscimento che sancisce meritorie non solo le politiche di protezione e conservazione della natura ma anche e soprattutto le buone pratiche, previste dalle Linee Guida della Rete Geoparchi Unesco, volte a favorire accrescere e sostenere processi e progetti di interconnessione uomo-natura, sviluppo sostenibile, supporto alle microeconomie locali, geoturismo. È in quest'ottica che si inseriscono tutta una serie di nuove iniziative portate avanti negli ultimi quattro anni dall'Ente Parco, allo scopo di promuovere maggiormente la consapevolezza di essere in presenza di un territorio dove sacro, profano e scienze sono indissolubilmente legati da un ancestrale vincolo che ha permesso agli abitanti della Maiella di esserlo per un milione di anni senza soluzione di continuità. Ai fini della divulgazione è stata redatta una prima mappatura dei geositi classificati in base al valore nazionale o internazionale e alla caratteristica geologica primaria (Fig. 2). Sul portale del Parco è stata creata una sezione dedicata al Geoparco dove è possibile reperire le descrizioni dei principali geositi, soprattutto

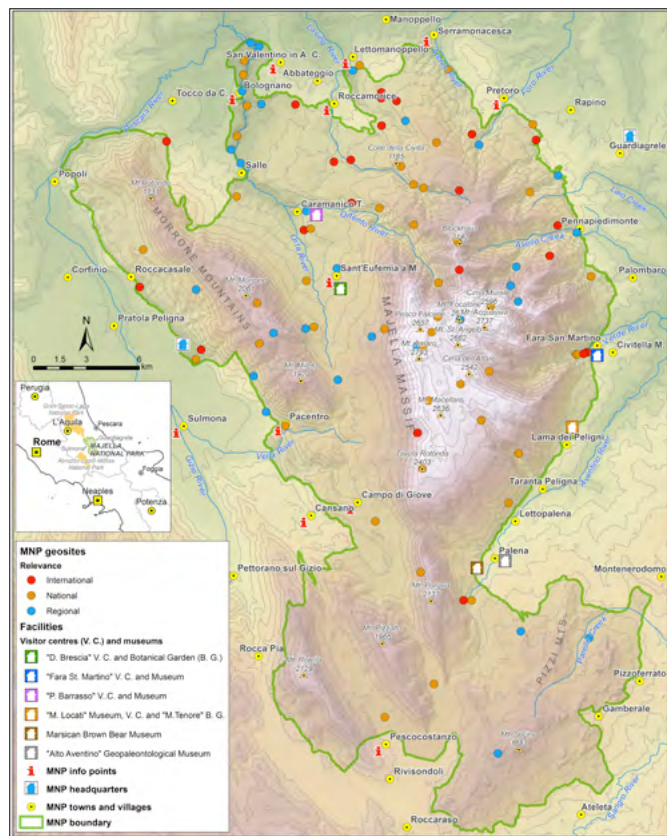


FIGURA 2. Carta dei geositi del Geoparco Maiella Unesco.

quelli di valore internazionale, che sono, cioè, stati oggetto di articoli pubblicati su riviste scientifiche internazionali.

Dall'inventario dei geositi, all'avvio di progetti nazionali e internazionali riguardanti la geologia, la flora e la fauna del Parco, tutto ha concorso e concorre a dispiegare le linee del tempo terrestre e umano incise nella pietra e nei sentieri, nei nidi d'aquila e nelle forre impetuose, nel bitume e nei resti fossili, restituendoci un'enciclopedia di sapere: i progetti Life Wolf e Streams, il progetto Interreg *Adriaticcaves*, il progetto Volavolè in collaborazione Cartina Orsogna (produzione di un vino biologico fermentato con i lieviti ricavati dai pollini raccolti a diverse quote del massiccio carbonatico), per citarne alcuni. Inoltre, è stata avviata una capillare divulgazione della geologia e del patrimonio geologico rivolta in primis alle guide del Parco Maiella di recente istituzione, agli operatori turistici, alle guide ambientali ed escursionistiche, ai gestori dei centri visita del Parco, una peculiare disseminazione volta ad accrescere la preparazione professionale e l'offerta geoturistica. Inoltre, ai centri visita del Parco Maiella che abbiano partecipato ad un apposito workshop formativo sulla geologia del Parco e alle tematiche ad essa collegate è stato dato il riconoscimento di "Geopoint" del Geoparco.

Il contesto storico

La Campagna d'Italia 1943-1945 comprende l'insieme delle operazioni militari messe in essere dalle Forze Alleate (USA, Gran Bretagna, Francia) contro le potenze dell'Asse (Germania, Italia, Giappone) per prendere il controllo dell'Italia, punto strategico nel Mediterraneo centrale, per la disponibilità di porti e piste di atterraggio, e ponte ideale con le risorse energetiche dell'area balcanica. Le azioni

militari iniziarono il 10 luglio 1943 con lo sbarco in Sicilia (*Operazione Husky*). La caduta del regime fascista e la cattura di Mussolini il 25 luglio dello stesso anno, portarono a un cambio nelle alleanze fra le nazioni belligeranti, con la firma della resa incondizionata dell'Italia il 4 settembre a Cassibile, annunciata all'alba dell'8 settembre, ma che portò ad una più intensa occupazione tedesca della penisola italiana. Le truppe alleate per la prima volta dal 1940 affrontarono l'esercito tedesco in una prolungata campagna sul continente europeo (Blumenson, 1969). Gli Alleati, dopo aver preso il controllo della Sicilia, iniziarono la loro avanzata verso nord dell'Italia, con lo sbarco in Calabria e i successivi sbarchi di Salerno (5^a Armata americana) e Taranto (8^a Armata britannica) all'inizio di settembre 1943. A seguito dell'arrivo delle truppe alleate sulla terraferma, Hitler ordinò di stabilire una linea difensiva principale a sud di Roma, al fine di ritardare il nemico (Majdalany, 1957), costruita dall'Organizzazione Todt.

Le forze tedesche istituirono diverse linee difensive attraverso la stretta penisola italiana, per la maggior parte congiungenti la costa tirrenica con quella adriatica (Ronchetti & Ferrara, 2004). Una delle più meridionali di esse era la linea Gustav, da Ortona sul versante adriatico a Minturno sul versante tirrenico, passando per il Massiccio della Maiella, il complesso Monte Meta – Mainarde e la zona di Montecassino. La linea era situata in uno dei punti più stretti (istmo) dell'Appennino Centrale, più facile da controllare, di cui il settore appenninico costituiva baluardo e cardine. La conformazione geografica del territorio e la preparazione difensiva tedesca resero la Campagna particolarmente difficile. Nonostante la superiorità aerea alleata in tutta Italia, i soldati dovettero affrontare estenuanti battaglie per diversi mesi per sfondare la Linea Gustav estremamente fortificata da ovest a est della penisola, dalle cime alle valli fluviali. Le principali battaglie lungo la Gustav furono: la battaglia del fiume Sangro (28-30 novembre 1943); la battaglia di Ortona e del fiume Moro (novembre - dicembre 1943); le Quattro battaglie di Cassino (gennaio - maggio 1944). Il momento decisivo arrivò solo nel maggio del 1944, quando una massiccia offensiva alleata, che coinvolse sia l'8^a Armata britannica sul fronte adriatico sia la 5^a Armata statunitense sul fronte tirrenico, riuscì finalmente a sfondare le difese tedesche. La Campagna d'Italia si rivelò un'impresa lunga e sanguinosa per gli Alleati, caratterizzata da un'avanzata lenta e difficile, che tuttavia contribuì a logorare le forze dell'Asse e a preparare il terreno per la successiva liberazione dell'Europa occidentale con lo sbarco in Normandia del 6 giugno 1944. Roma fu liberata solo il 4 giugno.

GEOLOGIA DELLA LINEA GUSTAV

La geologia della regione Abruzzo è da sempre una delle più complesse per gli studiosi. Dalla prima carta geologica di Sacco (1907) alla nuova cartografia del Progetto CARG del Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia, la geologia abruzzese rappresenta un obiettivo e una sfida continua alla ricerca del modello perfetto che ne spieghi la complessa strutturazione scaturita da una complessa geodi-

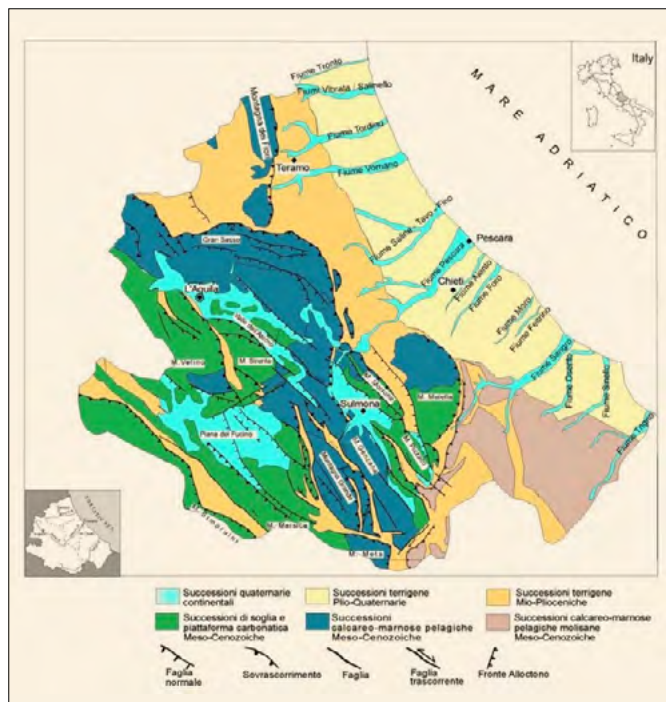


FIGURA 3. Carta geologica schematica della regione Abruzzo, D'Alessandro *et al.*, 2003a.

namica, che ha portato alla concentrazione in un ristretto areale di unità geologiche afferenti a diversi contesti paleo-ambientali (Fig. 3; D'Alessandro *et al.* 2003a).

Entro i confini della regione sono individuabili a grande scala tre settori principali considerando il paleo dominio di formazione e la loro evoluzione tettonica e geomorfologica: - la dorsale appenninica costituita principalmente da sequenze stratigrafiche carbonatiche meso-cenozoiche, originatesi dalla sedimentazione nell'antico Oceano Tetide, tra i 150 e i 6 milioni di anni, e strutturate in una catena a pieghe e sovrascorrimenti a partire dalla fine del Miocene, in un regime di tettonica compressiva frutto della collisione della placca africana con quella euroasiatica; nell'Italia centrale essa detiene le vette più alte di tutta la catena, il Gran Sasso con i suoi 2912 metri s.l.m. e il Monte Amaro a 2793m); all'interno della catena sono presenti numerosi bacini intramontani bordati da faglie dirette, originati da una tettonica distensiva derivante dall'avanzamento del fronte da ovest verso est e il susseguirsi accomodamento dello strain applicato; la fascia pedemontana rappresentata da una morfologia collinare originata dal modellamento delle successioni *flyschoidi* dell'avanfossa abruzzese, costituite da sedimenti argilloso-sabbiosi originati negli ultimi cinque milioni di anni dall'erosione della catena durante il suo sollevamento; la fascia adriatica e le piane alluvionali, caratterizzata da sedimenti principalmente non consolidati soggetti a continui modellamenti.

STORIA E GEOLOGIA: UN CONNUBIO INASPETTATO

Per i fini di questo articolo, l'esposizione sulla relazione tra storia e geologia sarà incentrata in particolare sul versante orientale della Linea Gustav, dal Massiccio della Maiella al mare Adriatico, pur possedendo caratteristiche speculari sull'intero versante occidentale.

Il collegamento tra gli esiti delle battaglie e la tipologia di terreno, le condizioni climatiche, la geologia e la geografia, hanno preso sempre più interesse in quanto tale approccio interdisciplinare permette una comprensione più completa degli eventi. Negli ultimi decenni, lo studio dell'impatto dei terreni di battaglia sulla strategia militare (ovvero, l'impiego pratico di tutto il potere a disposizione di un comandante nel raggiungimento di obiettivi militari o di obiettivi politici con mezzi militari; Peltier e Percy, 1966) e le tattiche (cioè l'impiego di unità in combattimento per raggiungere la massima efficacia e la vittoria militare; idem) si sono notevolmente ampliate (Studies in Military Geography and Geology, GSA Conference, 1994; Ciciarelli, 1994; Underwood e Guth, 1998; Rose e Nathaniel, 2000; Terreno in storia militare, Conferenza Università di Greenwich, 2000; Ehlen e Harmon, 2001; Doyle e Bennett, 2002; Narebski, 2011; Kevin J. 2014; Rose 2020, 2023). La conformazione geologica dell'Italia centrale ha sicuramente svolto un ruolo importante per la strategia militare (Narebski, 2011; Garzarella, 2019a, 2019b).

La linea Gustav, nel settore abruzzese, era stata costruita lungo tutta l'area della Maiella orientale a ridosso di due valli fluviali fortemente incise, la Valle del Fiume Aventino e la Valle del Fiume Sangro. Più che una linea era un'area, un poligono con vertice a ovest su Castel di Sangro che si apriva a ventaglio coinvolgendo tutto il territorio dell'Aventino-Sangro per terminare alla foce del F. Sangro nei

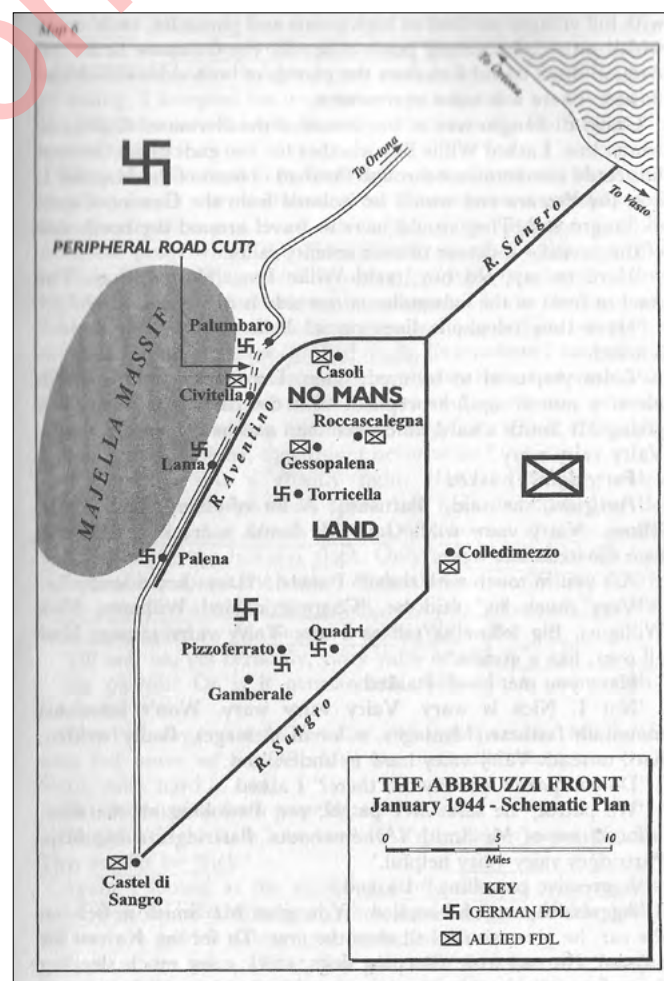


FIGURA 4. Mappa britannica relativa alla No man's land, dal libro "To reason why" del Maggiore Britannico Denis Forman.

pressi di Fossacesia (Fig. 4): tale area fu denominata "No man's land" (la Terra di Nessuno) a indicare come il controllo principale da parte di uno dei due eserciti belligeranti rimase quanto mai incerto per lunghi mesi, complice un terreno di battaglia difficile da interpretare. La Linea Gustav, infatti, sfruttava alcune particolarità geografiche e geologiche dei territori che attraversava e che la resero invalicabile per molto tempo. La strategia tedesca di scegliere il massiccio carbonatico della Maiella come baluardo difensivo riuscì a rallentare l'avanzata degli alleati, costretti a operare sulle aree collinari facilmente erodibili e fangose, caratterizzate anche da forti pendenze come nel caso della battaglia del Moro per la liberazione di Orsogna e Ortona (Malatesta,...), della liberazione degli abitati di Civitella Messer Raimondo e Pennapiedimonte, che unitamente alle condizioni climatiche resero pressoché nulli i tentativi di avanzata con i mezzi corazzati soprattutto lungo le valli e nella fascia pedemontana, dove vi fu ampio l'uso dell'artiglieria pesante e dell'aviazione. Le forze alleate che intrapresero azioni contro i tedeschi, avanzando sul difficoltoso e aspro terreno italiano, dovettero superare le gravi condizioni climatiche dell'inverno 1943-44 caratterizzato da forti piogge e nevicate (Fig. 5) (Cori, 1994; Annali idrologici Regione Abruzzo, 1943-1944).

Le postazioni costruite in quota elevata rispetto al fondovalle e alle aree collinari permisero ai soldati tedeschi di avere il dominio del territorio per lungo tempo, dalla montagna al mare, con postazioni di contraerea sulle cime più alte del Monte Porrara e di Monte Amaro. I soldati dell'Ottava Armata britannica, composta da militari arrivati da pa-

esi lontani come la Nuova Zelanda, l'India e il Nepal, non di certo abituati alle rigide condizioni climatiche dell'inverno abruzzese, ebbero incredibili difficoltà nell'attaccare i soldati della Wehrmacht arroccati con criterio scientifico sulle postazioni di montagna. Inoltre, la litologia prevalentemente carbonatica delle dorsali si prestava alla costruzione di fortificazioni, postazioni di mitragliatrici e posti di ricovero per la notte, in condizioni di terreno drenato e asciutto per i soldati tedeschi, mentre i soldati alleati erano circondati da ciò che Napoleone definì il quinto elemento della natura, il fango, che unitamente a pioggia e neve di quel lungo inverno, resero le strade impraticabili e i movimenti delle truppe a volte impossibili.

Le principali fortificazioni dell'intera linea difensiva erano tutte situate sulle cime più elevate della dorsale appenninica come il versante orientale del Massiccio della Maiella, i Monti Pizi, le Mainarde, il Monte Cifalco, il Monte Cairo e Monte Cassino per un migliore controllo sui campi di battaglia (Fig. 6). La tipologia di assetto bellico lungo la linea Gustav ricorda molto la guerra di trincea stazionaria della Prima Guerra Mondiale. La vittoria in guerra non dipende solo dalla disponibilità di eserciti ben addestrati ed equipaggiati ma anche dalla strategia e dalla tattica che si trovano sul terreno di una determinata battaglia. Comandanti, stati maggiori e subordinati, dai gradi più alti a quelli più bassi di ogni servizio armato, hanno bisogno di sapere come la geologia e i terreni influenzano le operazioni di combattimento e di supporto (Collins, 1998).



FIGURA 5. Copertina de "The Illustrated London News, Jan 29 1944" (Archivio personale Garzarella Adele).

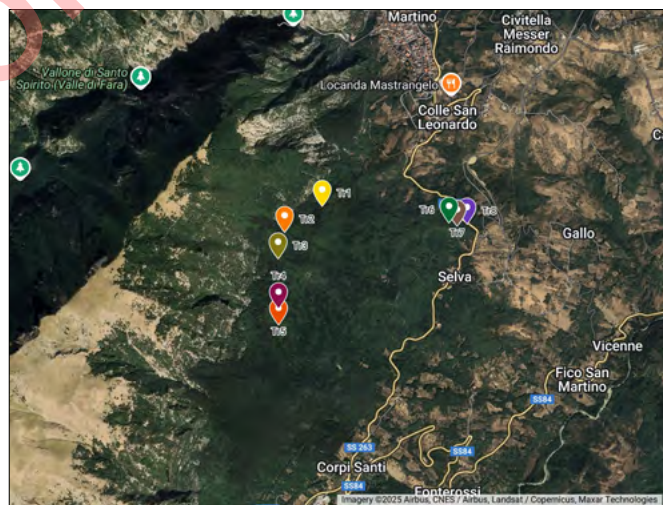


FIGURA 6. Posizionamento di uno dei tanti sistemi di trincee sul versante orientale della Maiella (dati da rilievi personali di Garzarella Adele).

Per quanto questo possa sembrare ovvio, ai giorni nostri, cioè che la pianificazione e lo studio geologico di un territorio siano alla base di ogni qualsivoglia costruzione, edificazione, intervento su un dato territorio, questo non fu argomento di dibattito interno alle forze alleate, mentre lo fu per l'establishment della Wehrmacht, che tra la prima e la seconda guerra mondiale decise di mantenere i reparti specializzati dell'esercito tra cui figuravano i *Wehrgeologenstelle* (= i geologi di Guerra) (Hausler & Willig, 2000). La geologia era una materia oggetto di studio anche in tempo di pace nella Scuola di Guerra tedesca, come ci testimonia

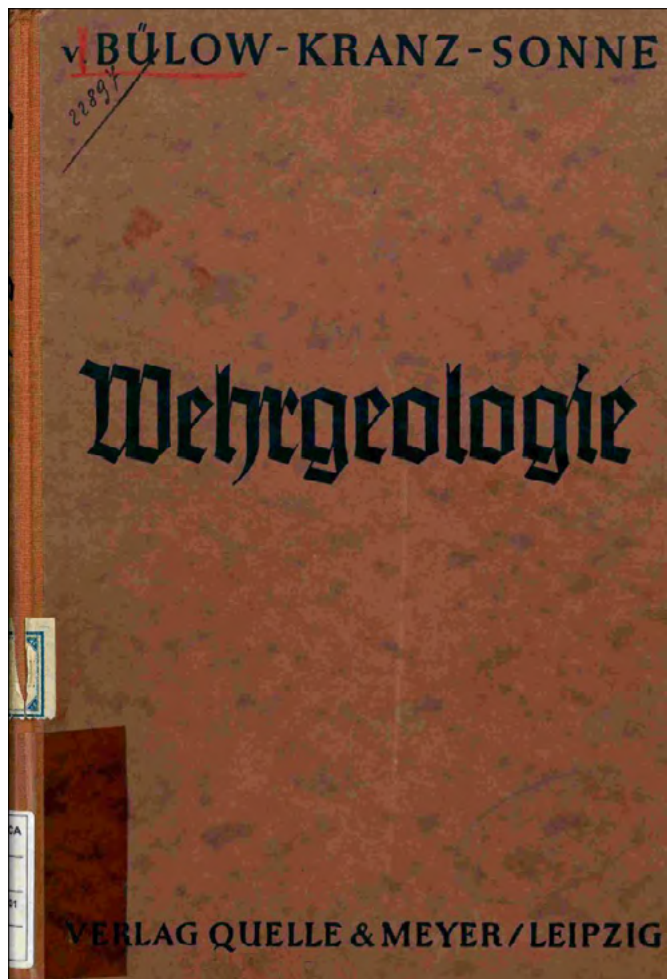


FIGURA 7. Copertina del Manuale di geologia militare della Scuola di Guerra tedesca – Wehrgeologie, 1938.

il manuale “Wehrgeologie” di Bulow-Krantz-Sonne del 1938, in uso agli allievi militari (Fig. 7).

Inoltre, un fortuito ritrovamento di monografie di geografia razionale relative al territorio italiano (compresa al cosiddetta “Italia libica”) per mano del Generale Delfino Deambrosis, conservate nella Biblioteca di Ispra a Roma, ed editate per circa un decennio a partire dal 1922 per l’addestramento dei cadetti della Scuola di Guerra Italiana, ha aperto, in seno alle mie ricerche sul tema, nuovi interrogativi sulle pregresse conoscenze di geologia militare in capo all’esercito italo-tedesco anche e in vista dell’approntamento nel 1943 delle linee difensive come la Linea Gustav (Fig. 8). Vent’anni prima della Campagna d’Italia, durante il periodo fascista, Deambrosis rilevò e studiò l’intero territorio italiano dal punto di vista della geologia, della geografia, del clima, con accenni anche alle economie locali, fornendo la prima descrizione completa della geologia, delle georisorse, del clima e dell’idrologia dell’Italia a scopo militare (Deambrosis, 1920-1936). Il lavoro del Generale Deambrosis è esaustivo in maniera quasi imbarazzante, redatto con l’unico scopo di fornire utili elementi o evidenziare criticità nella conferma geografica e geologica dell’Italia ai soli fini bellici. I testi qui citati, che non saranno commentati ulteriormente in questa sede, esprimono appieno l’importanza della geologia nella pianificazione della strategia di guerra e come l’applicazione dei principi e della conoscenza della geologia potrebbe essere un vero moltiplicatore di forza per un eser-

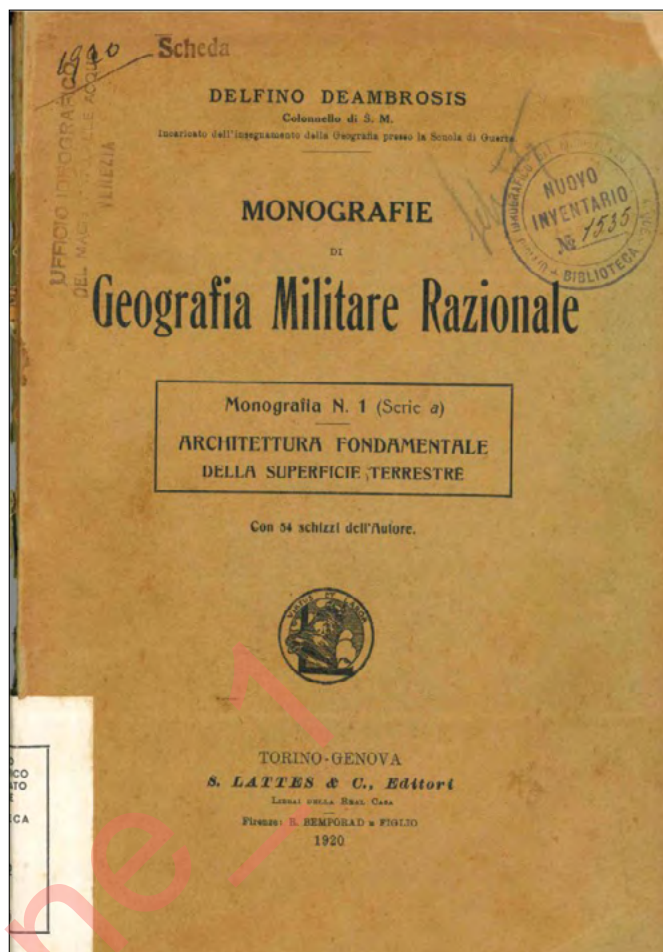


FIGURA 8. Copertina della “Monografia N.1 (serie a) - Architettura fondamentale della superficie terrestre”, Deambrosis, 1920.

cito (Chasseaud e Doyle, 2005). In particolare, per quanto riguarda l’Abruzzo, la monografia riguardante la regione Abruzzo, l’autore definisce la stessa come “acrocoro”, una fortezza inespugnabile naturale nel cuore dell’Italia capace di dar luogo a grosso presidio (Fig. 9). Stupisce come Deambrosis abbia previsto il verificarsi di quei lunghi otto mesi di fronte lungo la Linea Gustav, che tanto furono influenzati dalla morfologia e dalla geologia dei luoghi, nonché da un inverno che fu il più rigido dell’intero periodo bellico.

L’IDEA DI UN CAMMINO

I Cammini d’Italia

Nell’ultimo decennio, sotto la spinta di cammini culturali e spirituali ormai celebri come il Cammino di Santiago, anche all’interno della regione Abruzzo si è registrata la creazione di nuovi cammini per un turismo di tipo esperienziale, che permettono al turista di immergersi oltre che con il rilevante contesto paesaggistico anche con le tradizioni, la cultura e le emergenze architettoniche di un dato territorio. Secondo il registro dei cammini italiani, sono n.8 i cammini finora censiti a livello regionale, molti dei quali prevedono tappe anche in altre regioni del centro-sud Italia come Lazio, Molise e Puglia.

I cammini attualmente presenti sul portale www.camminiditalia.org sono: il Cammino del Gran Sasso; il Cammino dei Briganti; la Via del Tratturo; il Cammino Grande

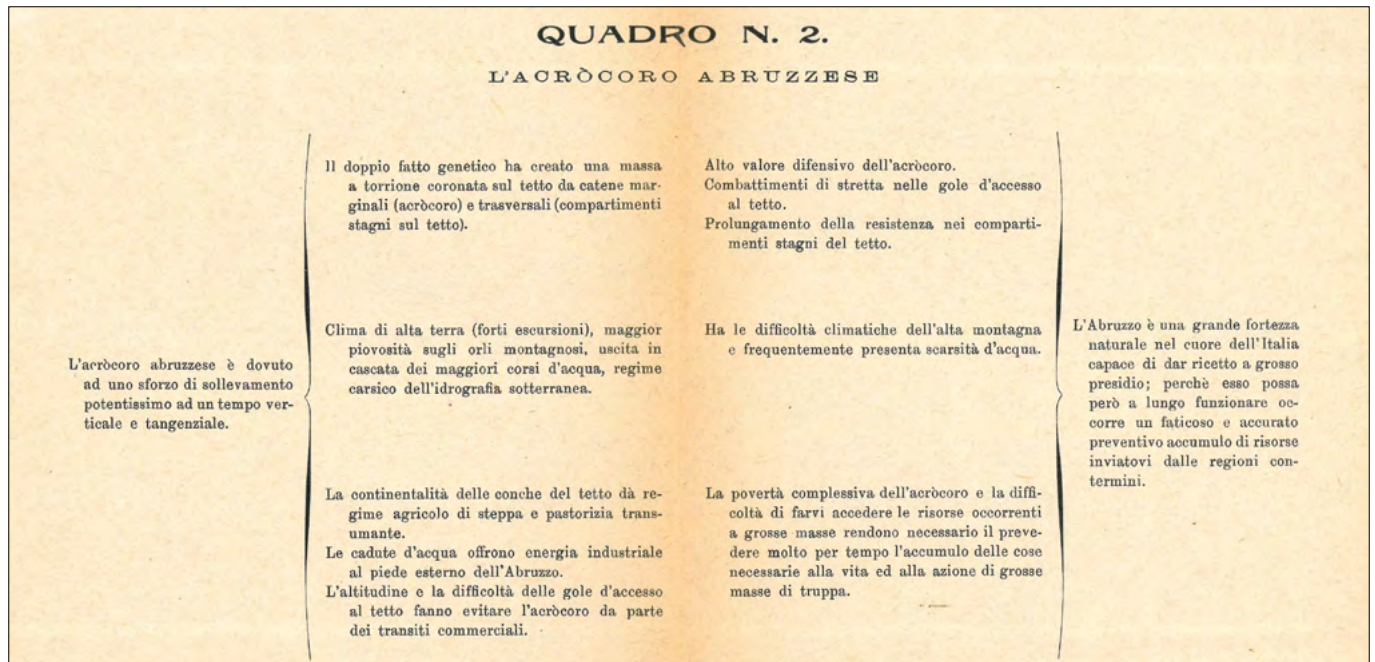


FIGURA 9. L'acrocòro abruzzese (*acrocòro* = *altopiano o massiccio montuoso circondato da contrafforti montuosi più alti; una terra fortemente isolata*) (fig. 45, Monografia N. 4 L'Italia tirrenica di settentrione e del centro, Deambrosi, 1922).

di Celestino; il Cammino di San Tommaso; il Cammino Naturale dei Parchi; il Grande Cammino dei Briganti; il Cammino della Pace.

Il Cammino della Linea Gustav, dalla Maiella al mare

Il Cammino della Linea Gustav, recentemente finanziato dalla Regione Abruzzo, prevede la realizzazione di un progetto pilota di valorizzazione del territorio della Valle Aventino, alle pendici della Maiella orientale, legato ai temi della Seconda Guerra Mondiale. Il progetto ha visto un interesse costante e crescente nel novero dei turisti del cosiddetto camminare lento negli ultimi cinque anni, grazie a un breve tratto di sentiero già attrezzato all'interno del territorio del Comune di Civitella Messer Raimondo, ricco

di pannelli informativi con contenuti inerenti alla Seconda Guerra mondiale e la storia locale ad essa legata. Le caratteristiche peculiari del paesaggio montano e pedemontano nel territorio del Parco Nazionale della Maiella, proiettate sulle vicende belliche del secondo conflitto mondiale, hanno permesso di suscitare un interesse nuovo e interdisciplinare negli utenti. La geologia è divenuta un'altra chiave di lettura con cui interpretare gli esiti dei conflitti, considerando le enormi conoscenze che un esercito strategicamente consolidato come quello della Wehrmacht aveva acquisito mesi prima della costruzione delle linee difensive, una pianificazione del conflitto e delle possibili battaglie che ne potessero conseguire che hanno illuminato il ruolo dei geologi, cartografi, geografi, sulle scelte militari del tempo. Il territorio attraversato



FIGURA 10. Cammino della Linea Gustav – area di intervento del progetto pilota.

Tabella 1. Elenco delle Monografie di Geografia razionale del Generale Delfino Deambrosis (1920-1936)

MONOGRAFIA N. 1 (Serie a)	Architettura fondamentale della superficie terrestre. - Un volume in-8°, con 54 schizzi dell'Autore (1920)
MONOGRAFIA N. 2 (Serie A)	L'Italia Tirrenica di Mezzodi. - Un volume in-8°, con 42 schizzi dell'Autore (1921)
MONOGRAFIA N. 3 (Serie b)	Il modellamento fluviale e glaciale del terreno. - Un volume in-8°, con 67 schizzi dell'Autore (1921)
MONOGRAFIA N. 4 (Serie A)	L'Italia Tirrenica di Settentrione e del Centro. - Un vol. in-8°, con 61 schizzi dell'Autore (1922)
MONOGRAFIA N. 5 (Serie a)	Clima ed acque. - Un volume in-8°, con 62 schizzi dell'Autore (1923)
MONOGRAFIA N. 6 (Serie a)	Fondamenti di geografia umana - Un volume in-8°, con 58 schizzi dell'Autore (1924)
MONOGRAFIA N. 7 (Serie A)	L'Italia Padano- Adriatica. Un volume in-8°, con 70 schizzi dell'Autore (1925)
MONOGRAFIA N. 8 (Serie b)	Modellamento colico e marino del terreno. - Un volume in-80, con 59 schizzi dell'Autore
MONOGRAFIA N. 9 (Serie a)	Fondamenti di geografia biologica. - Un volume in-8°, con 72 schizzi e fig., 1 quadro e indice alfabetico del Vol. I. (Monogr. 1a, 5a, 6a, 9a)
MONOGRAFIA N. 10 (Serie b)	Influenze della tettonica, della litologia e del vulcanesimo sul terreno. - Ultima del Vol. II - Topografia razionale - e relativo indice alfabetico
MONOGRAFIA N. 11 (Serie A)	L'Italia Jonico-Libica. - Ultima del Vol. III e fine dell'opera - Geografia regionale dell'Italia e relativo indice alfabetico (1936)

dalla Linea Gustav diviene così un contesto dove approfondire le tematiche storiche e naturalistiche in un *unicum* che da sempre era insito in esso e che gli studi recenti dei ricercatori e l'interesse degli enti pubblici incaricati per legge alla sua tutela, valorizzazione e promozione, hanno contribuito a divulgare e disseminare a fasce ampie di popolazioni. Per semplici appassionati, studenti di ogni ordine grado, turisti della memoria il paesaggio geologico, naturale, ambientale diventa un luogo nel luogo dove il tempo della Terra si modella al tempo breve dell'Uomo, condizionandone obiettivi e destini. Dalla piccola grotta divenuta riparo, alla cima più alta sfruttata come vedetta, ogni passo sulla Linea Gustav attraversa la Storia e il Tempo, generando consapevolezza sull'interconnessione uomo-natura come mai nella Storia contemporanea. Se i primi insediamenti paleolitici, romani, medievali sulla Maiella dimostrano come questa montagna sia sempre stata risorsa e riparo per gli uomini che di essa fecero dimora, l'influenza nel periodo di guerra, nell'inverno 43-44, annoverato come il più rigido dell'intero periodo bellico, diventa certamente una lettura nuova ma necessaria per comprenderne la valenza. Tutta l'area orientale e meridionale della Maiella, i Monti Pizi a sud, il Monte Porrara, Monte Pizzalto e l'Arazzecca più a ovest, risultano tutt'oggi disseminati dai segni del passaggio del fronte durante la Seconda Guerra Mondiale. I sistemi difensivi tedeschi fatti di trincee, postazioni mortaio e antiaeree in quota, sono la testimonianza di ciò che avvenne tra l'autunno 1943 e la primavera del 1944. La geodiversità del territorio della Maiella e delle aree a ridosso, con il forte contrasto litologico, tra l'area del massiccio carbonatico e l'area pedemontana caratterizzata da successioni argilloso-sabbiose fino ai conglomerati e ai depositi quaternari, arricchisce la narrazione storica e permette di capirne meglio gli sviluppi e gli esiti. La peculiarità geologica ha influenzato di gran lunga la vita dell'uomo, determinandone le sorti. Per rimarcare ancora di

più questo aspetto, bisogna sottolineare che in un contesto di battaglia tanto complesso fu fondamentale per i soldati alleati collaborare con i gruppi partigiani locali, custodi e conoscitori del territorio. Consapevoli del pericolo, i giovani patrioti della Maiella diedero inizio a episodi di sabotaggio e scontro con i soldati tedeschi già nel novembre 1943. Fu la fedeltà mostrata ai soldati alleati sul campo dalle prime bande partigiane, che in più di un'occasione furono determinanti per la riuscita delle operazioni sul terreno, a porre le solide basi per la loro fattiva collaborazione con l'Ottava Armata britannica fino alla fine della Seconda Guerra Mondiale e per la nascita della Brigata Maiella. Tale approccio interdisciplinare, che potrebbe sembrare avere un approccio tutto scientifico inizialmente, diventa inevitabilmente la spina dorsale per instradare nuovi progetti in una nuova chiave di lettura, coinvolgendo ricercatori di vari settori e anche di varie nazionalità, permettendo, tramite l'arricchimento dei contenuti narrativi, di supportare la promozione del territorio e di fornire utile materiale per l'instancabile lavoro delle cooperative di promozione turistica locali, che da tempo sono una risorsa indispensabile per le aree interne.

CONCLUSIONE

La Linea Gustav non fu solo una barriera fisica, ma un simbolo della brutalità e della complessità della guerra in Italia. Le battaglie combattute su questa linea hanno lasciato un'impronta profonda nella storia europea e nella memoria collettiva. Studiare la Linea Gustav significa comprendere meglio non solo le dinamiche militari della Seconda Guerra Mondiale, ma anche le sofferenze e il coraggio dei popoli coinvolti in quel tragico conflitto.

Nell'ultimo decennio, sotto la spinta di cammini culturali e spirituali, anche all'interno della regione Abruzzo si è registrata la creazione di nuovi cammini in connessione con il concetto di turismo esperienziale, che permettono

al turista di immergersi oltre che con il rilevante contesto paesaggistico anche con le tradizioni, la cultura e le emergenze architettoniche locali. Unitamente allo sviluppo della promozione e valorizzazione, nuove ricerche interdisciplinari hanno messo in connessione la geologia del territorio abruzzese e le vicende belliche occorse lungo la Linea Gustav durante il secondo conflitto mondiale, per ritardare l'avanzata delle truppe alleate da sud verso il nord della penisola italiana. Le ricerche interdisciplinari hanno permesso di arricchire le conoscenze di un territorio, compreso tra il massiccio carbonatico della Maiella e la fascia costiera adriatica.

Il Cammino della Linea Gustav è stato recentemente (2025) finanziato dalla Regione Abruzzo nell'ambito dell'ultimo bando per i cammini regionali, con il Comune di Civitella Messer Raimondo (CH) come capofila, un progetto che permetterà la connessione di diversi elementi peculiari del territorio, dalla geologia alla natura, alla storia, in un territorio di straordinaria bellezza e unicità permettendo la valorizzazione dell'area anche in chiave di disseminazione geologica e geoturistica. Tale progetto potrà essere foriero di progetti educativi e culturali dedicati ad ampie fasce di popolazione, da semplici appassionati ai ricercatori, ai turisti, nonché alle scolaresche che già a decine, negli ultimi anni, hanno visitato tali luoghi, grazie al breve sentiero già fruibile e che diventerà parte integrante del Cammino della Linea Gustav.

BIBLIOGRAFIA

Annali idrologici Regione Abruzzo, 1943-1944.

- ARTESE G. (1998). *La guerra in Abruzzo e Molise: 1943-1944. Anzio-Cassino, le operazioni sul versante adriatico e sulle Mainarde (gennaio-giugno 1944)*, Volume 3. Ed. Edigrafital.
- BLUMENSON M. (1969). Salerno to Cassino – Office of the Chief of Military History, U.S. Army, 1969.
- BÜLOW, K. V., KRANZ, W. SONNE, E. (1938) – *Wehrgeologie*. Ed. Quelle & Meyer, 170 pp. Leipzig.
- CENTER OF MILITARY HISTORY (1990). *From the Volturino to the winter line, 6 October - 15 November 1943*. Washington, D.C.: Center of Military History, U.S. Army.
- CHAUSSAUD P. & DOYLE P. (2005). *Grasping Gallipoli: Terrain, Maps and Failure at the Dardanelles, 1915*. Ed. Spellmount.
- CICARELLI, J. A. (1994). *The Geology of the Battle of Monte Cassino, Italy, 1944*. *Journal of Geological Education*, 42(1), 32–42. <https://doi.org/10.5408/0022-1368-42.1.32>.
- COLLINS J. M. (1998). *Military Geography for Professionals and the Public*. National Defense University, Institute for National Strategic Studies, Washington, DC, 20319.
- CORI BERARDO (1994). *La valle del Sangro, un asse trasversale nella geografia della campagna d'Italia*, in Felice, Costantino (a cura di) (1994), *Guerra sul Sangro: eserciti e popolazione in Abruzzo, 1943-1945* (Franco Angeli).
- D'ALESSANDRO L., MICCADEI E., PIACENTINI T. (2003a). *Morphostructural elements of central-eastern Abruzzi: Contributions to the study of the role of tectonics on the morphogenesis of the Apennine chain*. Quaternary International, Volumes 101–102, 2003, Pages 115-124, ISSN 1040-6182, [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00094-0](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00094-0).

- DEAMBROSIO D. (1920-1936). *Monografie di Geografia Militare Razionale*. Ed. Lattes S. & C, Torino.
- DOYLE P. & BENNETT M. R. (2002). *Terrain in military history: An introduction*. In: Fields of battle: terrain in military history, (Vol. 64). Springer Science & Business Media, Netherlands.
- FORMAN D. (1991). *To reason why*. Ed. Pen & Sword.
- GARZARELLA A., NAREBSKI W., DEERE R., PATRICELLI M. (2019) – *Outline of geology of battlefields of the Italian Campaign: the Mountain Warfare from the Gustav (Lazio-Abruzzo) to the Gothic Line (Toscana-Emilia-Romagna)*. ICMG2019 Conference, Padua 24-28 giugno 2019. <https://doi.org/10.3301/ABSGI.2019.03>.
- GARZARELLA A., NAREBSKI, W., DEERE R., PATRICELLI M., PIOTROWSKI K., LARCINESE F. (2019). *The impact of geology in the Italian Campaign: new contributions from Polish, Italian and British archives and documents for the study of the Mountain Warfare from the Gustav (Lazio-Abruzzo) to the Gothic Line (Toscana-Emilia-Romagna)*. INHIGEO Symposium, Varese-Como, settembre 2019.
- GOODERSON I. (2008). *A hard way to make a war*. Ed. Conway, London.
- GRAHAM D. & BIDWELL S. (1989). *La battaglia d'Italia*, Rizzoli, 1989. Milano, Rizzoli, 1989.
- HÄUSLER H. & WILLIG D. (2000). *Development of military geology in the German Wehrmacht 1939–45*. In: Rose EPF, Nathanail CP (eds) *Geology and warfare: examples of the influence of terrain and geologists on military operations*. Geological Society, London, pp 141–158.
- HISTORICAL DIVISION U.S. WAR DEPARTMENT - *Fifth Army at the Winter Line - (15 November 1943–15 January 1944)* – American Forces in Action Series.
- KEVIN J. (2014). *Rearguard Action: Eighth Army's Tactical Response to the German Evacuation of Sicily, July – August 1943*, in Hargreaves Andrew, Patrick J. Rose, Matthew C. Ford (a cura di) (2014), *Allied fighting effectiveness in North Africa and Italy, 1942-1945* (Brill).
- MAJDALANY F. (1957). *Cassino, Portrait of a battle*. Ed. Longmans.
- NAREBSKI W. (2011). *Riflessioni di un soldato del Secondo Corpo d'armata polacco*. Poloniaeuropeae, n. 2.
- PELTIER L. C. & PEARCY G. E. (1966). *Military geography (Vol. 30)*. Princeton: Van Nostrand Company.
- ROSE E. P. F. (2020). *Military use of geologists and geology: a historical overview and introduction*. Geological Society, London, Special Publications, Volume 473, pages 1 – 29. <https://doi.org/10.1144/SP473.15>.
- ROSE E. P. F. (2023). *Promoting military geology for 200 years: senior geologists of the british army 1826 to 2026*. Earth Sciences History, Vol. 42, No. 1, 2023, pp. 1–40.
- UNDERWOOD J.R. & GUTH P.L. (1998). *Military Geology in War and Peace*. GSA, Reviews in Engineering geology, vol. XIII.

Il patrimonio geologico della regione Abruzzo: un viaggio tra geositi e buone pratiche

The geological heritage of the Abruzzo region: a journey through geosites and best practices

ADELE GARZARELLA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma

E-mail: adel.garzarella@gmail.com

Parole chiave: geoturismo, geositi, geoparco Unesco, geodiversità, ISPRA

Key words: geotourism, geosites, UNESCO Geopark, geodiversity, ISPRA

RIASSUNTO

La Regione Abruzzo è uno dei territori geologicamente più ricchi e diversificati d'Italia, situata nel cuore dell'Appennino centrale. L'importanza della geologia in Abruzzo non è solo scientifica, ma anche culturale ed economica: la comprensione dei processi geologici ha contribuito alla gestione del territorio, alla prevenzione dei rischi naturali e alla valorizzazione di paesaggi unici, oggi meta di turismo sostenibile. Con i suoi numerosi geositi, molti dei quali situati all'interno di parchi nazionali e aree protette, l'Abruzzo si configura come una delle regioni italiane più rappresentative dal punto di vista del patrimonio geologico, ponendosi al centro di iniziative di tutela, divulgazione e promozione ambientale. Il soggetto che gestisce a livello nazionale la raccolta sistematica dei dati relativi ai geositi è l'ISPRA. Il progetto, iniziato nel 2000 dal Servizio Geologico Nazionale, prevedeva la raccolta delle segnalazioni relative ai geositi giunte da Enti Locali e di ricerca, Università, dottorandi, liberi professionisti e studenti. L'Abruzzo è particolarmente ricco dal punto di vista della geodiversità, per la varietà geologica, le catene montuose appenniniche, le aree carsiche, le sorgenti e anche i siti minerari abbandonati. Per una più sintetica descrizione e individuazione dei principali geositi abruzzesi, si è preferito focalizzarsi sulle principali aree naturali presenti della Regione. L'enorme geodiversità della Regione Abruzzo ne rende difficile una esaustiva e definitiva disamina. Tuttavia, ai fini del presente lavoro, si può certamente affermare che le buone pratiche messe in essere partono dall'istituzione del Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise cento anni fa fino ai due più recenti della Maiella e del Gran Sasso, ben raccontano della sensibilità alla tutela e alla conservazione ambientale della nostra Regione.

ABSTRACT

The Abruzzo Region is one of Italy's most geologically rich and diverse regions, found in the heart of the central Apennines. The importance of geology in Abruzzo is not only scientific, but also cultural and economic: understanding geological processes has contributed to land management, the prevention of natural hazards, and the enhancement of unique landscapes, now a destination for

sustainable tourism. With its more than hundreds geosites, mostly found within national parks and protected areas, Abruzzo is one of Italy's most representative regions in terms of geological heritage, placing it at the centre of environmental protection, dissemination, and promotion initiatives. The national body responsible for the systematic collection of geosite data is ISPRA. The project, started in 2000 by the National Geological Survey, involved collecting reports on geosites from local and research institutions, universities, graduate students, professionals, and students. Abruzzo is particularly rich in geodiversity, thanks to its geological variety, Apennine Mountain ranges, karst areas, springs, and even abandoned mining sites. For a more concise description and identification of Abruzzo's main geosites, we have chosen to focus on the region's main natural areas. The enormous geodiversity of the Abruzzo Region makes a comprehensive and definitive analysis difficult. However, for the purposes of this work, it can certainly be stated that the best practices implemented, from the establishment of the Abruzzo, Lazio, and Molise National Park a hundred years ago to the more recent Maiella and Gran Sasso Parks, clearly demonstrate our region's commitment to environmental protection and conservation.

1. INTRODUZIONE

La Regione Abruzzo è uno dei territori geologicamente più ricchi e diversificati d'Italia. Situata nel cuore dell'Appennino centrale, essa ospita una straordinaria varietà di forme del paesaggio, strutture tettoniche, affioramenti rocciosi e fenomeni geomorfologici che testimoniano milioni di anni di evoluzione della Terra. In questo contesto, i geositi – ovvero località, aree o territori che presentano caratteristiche geologiche di rilevante valore scientifico, educativo o paesaggistico – rappresentano veri e propri “archivi naturali” della storia geologica regionale. L'importanza della geologia in Abruzzo non è solo scientifica, ma anche culturale ed economica: la comprensione dei processi geologici ha contribuito alla gestione del territorio, alla prevenzione dei rischi naturali e alla valorizzazione di paesaggi unici, oggi meta di turismo sostenibile. La regione, per la sua posizione geodinamicamente strategica lungo il margine convergente tra la placca adriatica e quella

euroasiatica, costituisce un contesto geologico di elevata complessità e rilevanza scientifica. Il territorio regionale è caratterizzato da una notevole geodiversità, espressa attraverso l'alternanza di unità litostratigrafiche mesozoiche e cenozoiche, strutture tettoniche attive, morfologie carsiche, depositi glaciali quaternari e fenomeni sedimentari di diversa origine. In tale scenario, i geositi, intesi anche come località, aree o territori che presentano elementi geologici di interesse per la conservazione, la ricerca, la didattica e la valorizzazione, assumono un ruolo centrale nella documentazione delle principali fasi dell'evoluzione dell'Appennino centrale. Con i suoi numerosi geositi, molti dei quali situati all'interno di parchi nazionali e aree protette, l'Abruzzo si configura come una delle regioni italiane più rappresentative dal punto di vista del patrimonio geologico italiano ed europeo, ponendosi al centro di iniziative di tutela, divulgazione e promozione ambientale.

2. GEOSITI, GEODIVERSITÀ E L'INVENTARIO NAZIONALE DEI GEOSITI (ISPRA)

Il primo scienziato a usare il termine geosito fu Wimbledon, sostituendo con esso il termine geotopo fino ad allora in uso. Con la sua definizione completa, "ogni località, area o territorio ove sia possibile individuare un interesse geologico per la conservazione" (Wimbledon, 1999), portò subito l'attenzione su un duplice aspetto racchiuso in un geo-sito: quello prettamente scientifico legato alla peculiarità, rarità e importanza della geologia *sensu strictu* ivi presente, e quello legato alla sua conservazione, quindi protezione.

Negli anni, l'aspetto conservativo, legato fino a quel momento principalmente ai caratteri naturali, ambientali, architettonici di un luogo, diventa fondamentale anche per il bene cosiddetto geologico. Wimbledon mette in evidenza da subito l'unicità ma soprattutto l'irripetibilità nel tempo geologico di una stessa serie di eventi che possano riprodurre quel carattere geologico peculiare. Un geosito è quindi, in una definizione più ampia, un'area, località o sito che possiede caratteristiche geologiche o geomorfologiche significative dal punto di vista scientifico, storico, educativo, estetico, paesaggistico, culturale e sociale. È quindi applicabile la definizione di geosito ogni qualvolta sia possibile osservare, in determinati siti, particolari elementi di interesse geologico che hanno carattere predominante rispetto ad altri. A seconda della singolarità geologica del sito, i geositi possono essere classificati come stratigrafici, paleontologici, strutturali (es. pieghe geologiche o faglie), geomorfologici (erosione, modellamento carsico, cave, gole, faglie), geo-minerari.

L'insieme dei geositi di un dato territorio costituisce la geodiversità (Gray, 2013) intesa come varietà riconoscibile in natura degli elementi geologici (rocce, minerali, fossili), degli ambienti geomorfologici (con le relative forme e processi) e delle caratteristiche del suolo (Wimbledon *et al.* 2000). La geodiversità costituisce la base strutturale per gli ecosistemi, influenzando direttamente la distribuzione della flora e della fauna, la qualità del suolo e delle risorse

idriche, nonché la vulnerabilità del territorio ai rischi naturali. La geodiversità è dunque un concetto che permette di guardare all'ambiente naturale come a un sistema unico e complesso, in cui tutte le entità presenti, viventi e no, coabitano, influenzandosi e sostenendosi a vicenda (Sharples, 2003). Dall'insieme dei geositi deriva la geodiversità di un territorio, che può portare, qualora l'Ente Parco preposto voglia intraprenderne l'iter, al riconoscimento come Geoparco Unesco (Ruban, 2017; Henriques & Brilha, 2017).

Nel contesto della Regione Abruzzo, la geodiversità si manifesta in maniera particolarmente marcata, grazie alla presenza di una molteplicità di litotipi che spaziano dalle successioni carbonatiche mesozoiche alle coperture silicoclastiche mioceniche, fino ai depositi quaternari di origine glaciale e fluviale (Agostini & Rossi, 2017). A ciò si aggiungono forme del paesaggio di eccezionale valore geomorfologico, come valli glaciali, doline carsiche, gole fluviali e terrazzi marini. Tale ricchezza geologica si traduce nella presenza di numerosi geositi ad alto valore scientifico e paesaggistico, rendendo l'Abruzzo un territorio esemplare per l'applicazione di strategie di geoconservazione, educazione ambientale e sviluppo sostenibile. Il riconoscimento della geodiversità come componente fondamentale del patrimonio naturale favorisce un approccio integrato alla pianificazione territoriale, in cui le risorse geologiche non sono più solo considerate in chiave estrattiva o ingegneristica, ma anche in termini di valore culturale, identitario e turistico. La geodiversità è un campo attivo di ricerca, che aiuta a comprendere l'evoluzione della Terra e a sviluppare strategie di gestione sostenibile delle risorse naturali. La tutela del cosiddetto bene geologico è normata attualmente dal Codice Urbani (D.L. 42/2004) che ha incluso, dopo un *vulnus* normativo, il patrimonio geologico nella pianificazione paesaggistica (art. 136).

Il soggetto che gestisce a livello nazionale la raccolta sistematica dei dati relativi ai geositi è l'ISPRA. Il progetto, iniziato nel 2000 dal Servizio Geologico Nazionale, prevedeva la raccolta delle segnalazioni relative ai geositi giunte da Enti Locali e di ricerca, Università, dottorandi, liberi professionisti e studenti. Dal 2018 in ISPRA è attiva la "Rete dei Servizi Geologici" (RISG), una struttura di collegamento tra il Servizio Geologico d'Italia e tutte le istituzioni tecniche regionali che si occupano di temi geologici. Al Tavolo F, concernente il patrimonio geologico, hanno aderito tutte le regioni e province autonome ad eccezione della Sicilia per la revisione e l'aggiornamento dei contenuti del censimento. I dati censiti dall'ISPRA sono stati raccolti e catalogati nella banca dati Geositi, con l'obiettivo di realizzare: - un centro nazionale di raccolta dati e metadati sui siti di interesse geologico; - un polo informativo e di coordinamento per la conoscenza, valorizzazione e conservazione del patrimonio geologico; - uno strumento a disposizione della Pubblica Amministrazione per la pianificazione territoriale (fonte: ISPRA). Grazie alle attività svolte nell'ambito del progetto PNRR *GeoSciencesIR*, è ora a disposizione della comunità una piattaforma rinnovata da cui è possibile accedere al nuovo Inventario Nazionale dei Geositi, armonizzato e condiviso in accordo con i principi

europei FAIR (*Findability, Accessibility, Interoperability, e Reuse*) (Brustia *et al.*, 2024).

La scheda per la segnalazione di un qualsivoglia geosito sul Portale Nazionale di Ispra può essere riempita e inviata sia da studiosi sia da normali cittadini non appartenenti al mondo accademico o scientifico. All'interno della scheda, varie voci permettono una descrizione precisa e approfondita delle caratteristiche del dato geosito. Si va dall'indicazione del tipo di Interesse scientifico (se primario o secondario), alla rarità, al carattere (se internazionale, nazionale, regionale o locale), fino alla descrizione delle caratteristiche litologiche, ma anche della fruibilità geoturistica. L'Inventario Nazionale dei Geositi è in costante evoluzione. La collaborazione di ISPRA con le regioni resta comunque attiva, con l'obiettivo comune di diffondere la conoscenza del patrimonio geologico nazionale.

3. CENNI DI GEOLOGIA DELLA REGIONE ABRUZZO

La geologia del Regione Abruzzo racchiude una storia lunga circa 150 milioni di anni. Le rocce più antiche affioranti risalgono al periodo Triassico con i Calcari a Megalodon (Adamoli *et al.*, 1990; Garzarella *et al.*, 2021). L'Appennino abruzzese rappresenta un segmento centrale della catena appenninica, formatosi durante la convergenza tra la placca africana e quella euroasiatica a partire dal Cretacico superiore e in particolare durante il Neogene (Eberli *et al.*, 1993). La sua evoluzione geologica è strettamente legata ai processi di subduzione della litosfera adriatica, alla migrazione del fronte orogenico verso est, e alla successiva fase distensiva che ha generato bacini intramontani e attivato faglie normali ancora oggi sismicamente attive. Dal punto di vista litostratigrafico, l'Appennino abruzzese è costituito prevalentemente da successioni carbonatiche mesozoico-terziarie, che rappresentano i sedimenti depositi su antiche piattaforme marine tropicali (es. Piattaforma Laziale-abruzzese; Piattaforma Apula). Questi sedimenti, originariamente suborizzontali, sono stati intensamente deformati in pieghe e faglie durante la fase compressiva miocenico-pliocenica (Crescenti, 1969a, 1969b; Patacca *et al.*, 1991; Bernoulli *et al.*, 1993; Eberli *et al.*, 1993; Brandano *et al.*, 2011, 2013). Alle unità carbonatiche si sovrappongono localmente successioni silicoclastiche di bacino (flysch), tipiche dell'avanfossa appenninica. La tettonica recente, attiva dal Pliocene superiore a oggi, è dominata da sistemi distensivi con faglie normali dirette in direzione NW-SE, che controllano la formazione di depressioni intramontane come la Conca Aquilana, la Piana del Fucino e il bacino di Sulmona. Questi *graben* quaternari sono colmati da sedimenti continentali, fluvio-lacustri e glaciali. Le faglie che delimitano questi bacini (es. faglia dell'Aquila, faglia di Campo Felice) sono sismogenetiche e responsabili di eventi storici significativi fino ai terremoti più recenti (L'Aquila 2009). Geomorfologicamente, l'Appennino abruzzese mostra forme legate all'erosione glaciale (circhi e morene nel Gran Sasso e nella Maiella), al carsismo (sistemi ipogei e doline nei massicci carbonatici), e all'attività fluviale incisa (gole, terrazzi, frane). Tali caratteristiche fan-

no dell'Appennino abruzzese un sistema complesso e dinamico, particolarmente rilevante per lo studio dei processi geodinamici attivi e della sismicità appenninica (Boncio & Lavecchia, 2000; Galli, 2008; Puliti *et al.*, 2025). Le province geologiche principali appartengono, quindi, a rocce carbonatiche che vanno a costituire l'ossatura appenninica e una fascia pedemontana che si estende fino alla linea di costa adriatica con rocce silicoclastiche, originatesi dallo smantellamento delle catene montuose durante la fase orogenetica. Il paesaggio è stato successivamente modellato dai fenomeni del Quaternario quali le glaciazioni e il successivo modellamento per opera dell'erosione attuale.

4. I GEOSITI IN ABRUZZO: NUMERI E CARATTERISTICHE

L'Abruzzo è particolarmente ricco dal punto di vista della geodiversità, per la varietà geologica, le catene montuose appenniniche, le aree carsiche, le sorgenti e anche i siti minerari abbandonati. Ai fini di questo articolo sono stati presi in considerazione i database disponibili, sia quello nazionale di Ispra, sia ad esempio quello realizzato dal Geoparco Maiella per la candidatura a Geoparco Unesco nel 2018, oltre alla bibliografia attualmente a disposizione. Per una più sintetica descrizione e individuazione dei principali geositi abruzzesi, si è preferito focalizzarsi sulle principali aree naturali presenti della Regione: il Parco Maiella Geoparco Unesco, il Parco del Gran Sasso e Monti della Laga, il Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise, e il Parco Regionale Velino-Sirente. Ad oggi, per la Regione Abruzzo sono presenti sull'inventario nazionale di ISPRA circa ottanta geositi, per la maggior parte classificati come di interesse regionale, ma la quasi totalità risulta ancora da validare. Il passaggio alla nuova piattaforma del Nuovo Inventario permetterà anche un'ottimizzazione dei tempi del lavoro necessario per il loro aggiornamento, integrazione e nuova valutazione (Fig. 1).

4.1 Il Parco Nazionale della Maiella - Geoparco Unesco

Il Parco Nazionale della Maiella è stato riconosciuto come Geoparco Mondiale UNESCO nel 2021 entrando nella Rete dei Geoparchi Mondiali (Global Geopark Net-

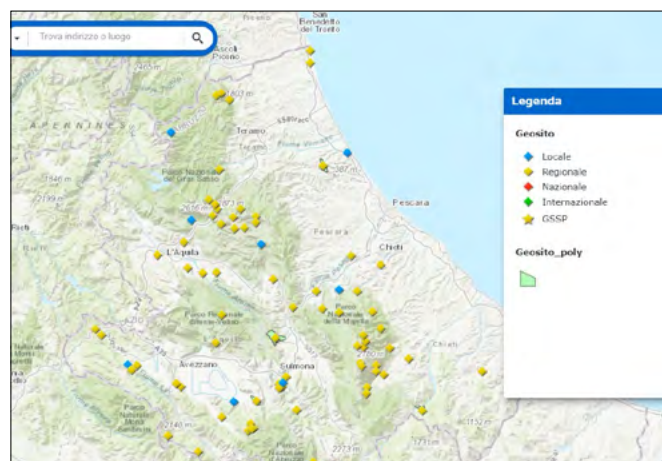


FIGURA 1. Inventario Nazionale dei Geositi Ispra: i geositi censiti per l'Abruzzo.

work, GGN), un risultato che ne attesta la valenza non solo geologica ma, insieme, di biodiversità, tradizioni, patrimonio storico-artistico, archeologico, culturale. All'interno del Geoparco Maiella sono stati individuati e mappati in ambiente GIS novantacinque geositi, di cui almeno ventidue di valenza internazionale, intendendo con questo un geosito per cui sia stato pubblicato almeno un articolo scientifico su rivista internazionale peer-reviewed, in questo caso e discostandosi leggermente dalle indicazioni di Ispra. I geositi sono stati suddivisi in base alla tipologia (paleontologico, stratigrafico, geomorfologico, tettonico, quaternario, archeologico, etc.), per ognuno è stata valutata e indicata la rilevanza se internazionale, nazionale o regionale, ma anche la finalità, cioè se turistica, didattica, scientifica, o una combinazione di tali caratteristiche, cercando di seguire il più possibile la scheda del catalogo nazionale di Ispra. Il maggior numero di geositi del Parco Nazionale della Maiella Geoparco Unesco sono di tipo geomorfologico, a seguire il tipo stratigrafico. Alcuni, oggetto di studio da parte di ricercatori italiani e stranieri, hanno acquisito un'importanza internazionale, tra cui ricordiamo: il Geosito di Capo di Fiume a Palena; la sezione tipo di Decontra dell'Oligo-Miocene; la sezione stratigrafica di Pennapiedimonte (Fig. 2); il campo di dune sottomarine di Cerratina; la Formazione Gessoso-Solfifera della cava di Colle di Votta; le Sorgenti del Petrolio del Torrente Arollo; le Sorgenti del Verde e le Gole di Fara San Martino; la Grotta del

Cavallone; il sito Paleolitico di Valle Giumentina; l'Eremo di Sant'Onofrio e il tempio di Ercole Curino; le miniere di bitume di Acquafredda. Il 40% di essi ha carattere geoturistici, sono cioè fruibili e visitabili, nonché congeniali per l'organizzazione di eventi di disseminazione della cultura geologica e per la didattica (Liberatoscioli *et al.*, 2018). Il Geosito di Palena-Capo di Fiume, sottoposto a vincolo archeologico, conserva sedimenti di un ambiente lagunare e palustre risalente a circa sette milioni di anni fa. I resti paleobotanici all'interno degli strati appartengono a salici, cipressi, albero della cannella e piante caducifoglie. Negli spazi aperti vivevano piccoli mammiferi, detti prolaghi, di uno dei quali è stato rinvenuto uno scheletro ben conservato. La laguna e il mare aperto antistante erano popolati da molte specie di pesci, tra cui l'aringa rotonda, la perca del Nilo, il merluzzo e il pagro, da molluschi e ricci di mare. Il giacimento paleontologico è parte di un sistema integrato di visita che comprende le sorgenti dell'Aventino e il Museo Geopaleontologico Alto Aventino di Palena, dove sono conservati i resti fossili del geosito, oltre a ritrovamenti provenienti da altri giacimenti fossiliferi abruzzesi. Nel corso dell'ultimo anno, i geositi principali (internazionali e nazionali) ma soprattutto quelli maggiormente fruibili dai visitatori, sono stati attrezzati con pannelli specifici ed esplicativi delle caratteristiche del luogo, iniziativa che rientra nel novero di diverse attività e infrastrutture messe in essere dal Parco Nazionale della Maiella come attività



FIGURA 2. Sezione stratigrafica di Pennapiedimonte, Parco Nazionale della Maiella (foto di A. Garzarella).



FIGURA 3. Cartellonistica dedicata ai geositi nel Geoparco Maiella UNESCO (foto di A. Garzarella).

peculiari del Geoparco Maiella Unesco, anche in collaborazione con l'Ordine dei Geologi della Regione Abruzzo, ai fini della divulgazione e promozione del geoturismo come forma di turismo sostenibile (Fig. 3).

4.2 Il Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise

Per quanto riguarda il censimento dei geositi ricadenti nell'area del Parco Nazionale d'Abruzzo Lazio e Molise (PNALM), si è fatto riferimento a quanto riportato nel Piano del Parco del 2022 (<https://www2.regione.abruzzo.it/>). Nell'area vasta formata dal Parco, dalla sua Area Contigua e dalle aree immediatamente limitrofe sono presenti n. 103 geositi distinti in: - n. 24 censiti a livello nazionale (ISPRA); - n. 15 censiti dalle Regioni Lazio e Molise (di cui n. 3 della Regione Lazio e n. 6 della Regione Molise sono inseriti anche nell'Inventario Nazionale dell'ISPRA); - n. 73 analizzati e proposti dal Dipartimento INGEO dell'Università di Chieti. Nel territorio del Parco ricadono 62 geositi (comprensivi di quelli proposti dal Dipartimento INGEO). I dati sono reperibili e consultabili nell'allegato quattro del Piano. Per quanto riguarda le voci considerate per l'elaborazione del database del PNALM, anche in questo caso si è fatto riferimento alle indicazioni di Ispra. Nell'intera area considerata per il censimento, quindi ricadente sia nel territorio del Parco, sia nelle adiacenze, è possibile distinguere: - n. 15 geositi stratigrafici e strutturali, rappresentativi delle rocce, delle successioni stratigrafiche, degli elementi tettonici e della storia evolutiva della formazione dei rilievi presenti nel territorio in esame (di cui 5 nel territorio del Parco); - n. 4 geositi paleontologici,

ovvero siti fossiliferi che danno indicazioni su antichi ambienti e sulle paleogeografie dell'area (di cui 3 nel territorio del Parco); - n. 72 geomorfositi, rappresentativi delle forme e dei depositi che si riferiscono ai processi ed agenti morfogenetici dominanti che hanno modellato il territorio del Parco (di cui 50 nel territorio del Parco); - n. 10 idrogeositi, relativi ai principali elementi idrogeologici che caratterizzano il Parco (di cui 3 nel territorio del Parco); - n. 2 archeogeositi (minerari), significativi della relazione tra uomo e la sua storia, e il paesaggio e la sua evoluzione (di cui 1 nel territorio del Parco). Il fine dell'Ente Parco, tramite la revisione dei geositi già mappati e delle successive integrazioni per mezzo di nuove indagini e sopralluoghi, è quello di selezionare percorsi che possono interessare ambienti morfogenetici caratteristici del Parco, al fine di contribuire a promuovere la conoscenza del territorio anche dal punto di vista geologico. Come anche accade per il Parco Maiella, un'area, opportunamente valorizzata, può di certo rappresentare una base di partenza per l'attivazione di un'offerta turistica che affondi i contenuti sulla geodiversità del territorio e che associ all'interesse prettamente scientifico anche quello emotivo-semiologico legato alle sole caratteristiche paesistico-ambientali, tali da individuare i tratti originali e specifici (Miccadei *et al.*, 2013). A tal fine, i dati del censimento sono stati inseriti nella Carta della Geodiversità del Parco prodotta in collaborazione con il Dipartimento INGEO dell'Università degli Studi di Chieti (Esposito *et al.*, 2022). Tra i geositi più importanti del PNALM si possono qui ricordare: il giacimento a vertebrati di Scontrone (AQ); Castrovalva (AQ); la Val Fondillo (Fig. 4); la grotta di Achille Graziani (Villetta Barrea, AQ); il Lago di Scanno.



FIGURA 4. Scorcio della Val Fondillo, nel Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise (foto di A. Garzarella).

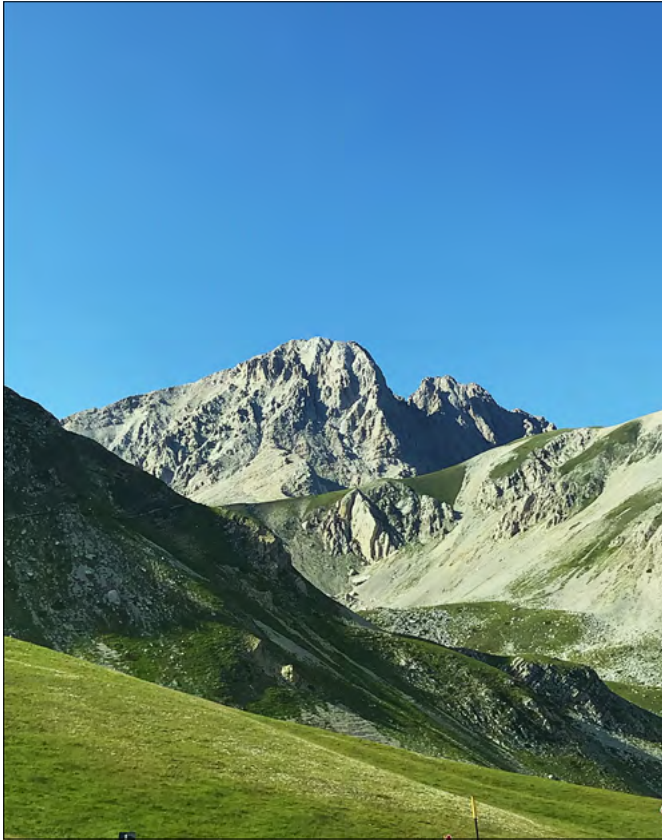


FIGURA 5. Il Corno Grande, Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga (foto di A. Garzarella).

4.3 Parco del Gran Sasso e Monti della Laga

Il Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga racchiude tre gruppi montuosi - la catena del Gran Sasso d'Italia, il massiccio della Laga e i Monti Gemelli - e si caratterizza per la presenza della vetta più alta dell'Appennino, il Corno Grande (Fig. 5), che raggiunge i 2912 metri. L'area corrisponde alla complessa zona di transizione tra la piattaforma carbonatica laziale-abruzzese a sud e il bacino umbro-marchigiano a nord, le cui tappe evolutive sono iniziate nel Trias superiore, e si sono evolute in maniera pressoché continua. Le fasi della storia evolutiva sono caratterizzate, in questo lungo intervallo di tempo, dalla presenza di una vasta paleopiattaforma carbonatica, con acque marine basse, che durante il Lias medio, a causa della tettonica distensiva, viene frammentata dando origine a due ambienti ben distinti: un ambiente di mare profondo (Bacino pelagico umbro-marchigiano) a nord, e un ambiente di mare basso a sud, individuata nel territorio del Parco nell'area di Castel del Monte-Ofena, caratterizzato dalla presenza di biocostruzioni, come testimonia la presenza di coralli, ben visibili sulla strada di accesso alla Rocca di Calascio. Nel Miocene inferiore e medio la sedimentazione carbonatica viene sostituita dalla deposizione terrigena della "Formazione della Laga", a causa dell'azione tettonica compressiva che interessa la paleogeografia a partire dal Miocene superiore. La successiva distensione del settore del Gran Sasso porterà alla formazione di bacini intramontani, come Campo Imperatore, tra i più suggestivi e attrattivi anche dal punto geoturistico. Intensa sarà la fase di modellamento quaternario successiva, con la formazione di spettacolari circhi glaciali e sistemi di doline carsiche, uno

dei più importanti è proprio sulla piana di Campo Imperatore. Allo stato attuale, i geositi presenti nell'inventario nazionale di Ispra sono i seguenti:

- Fosso Spedino a Colle di Roio
- Fossa Raganessa (dolina)
- Faglia di Castel Del Monte
- Sorgenti Vera a Tempera
- Campo Imperatore
- Paleosuoli fogliati Monte Paradiso
- Miniera di scisti bituminosi a Campo Imperatore
- Coppe di Santo Stefano a Campo Imperatore
- Monte Della Scindarella a Campo Imperatore
- Grotta a Male, ad Assergi
- Risorgenza di Fonte Grotta, a Campo Imperatore - Monte Camicia
- Sorgente di Presciano
- Lago di Sinizzo a San Demetrio ne' Vestini
- Sant'Eusanio Forconese

Nell'ultimo Piano del Parco del 2022, non sono presenti dati di censimento dei geositi del Parco, tuttavia nel corso degli anni, decine di autori hanno dedicato lavori alla geologia del Parco e alla sua geodiversità (Adamoli *et al.*, 1990; Galli *et al.*, 2024; Ferrini *et al.*, 2025). Alcuni dei geositi presenti sul portale Ispra sono tra le località turistiche più in voga della Regione Abruzzo, come Campo Imperatore (Fig. 6) o il Lago di Sinizzo, che iniziano ad avere da qualche anno un problema di *overtourism*, un fe-

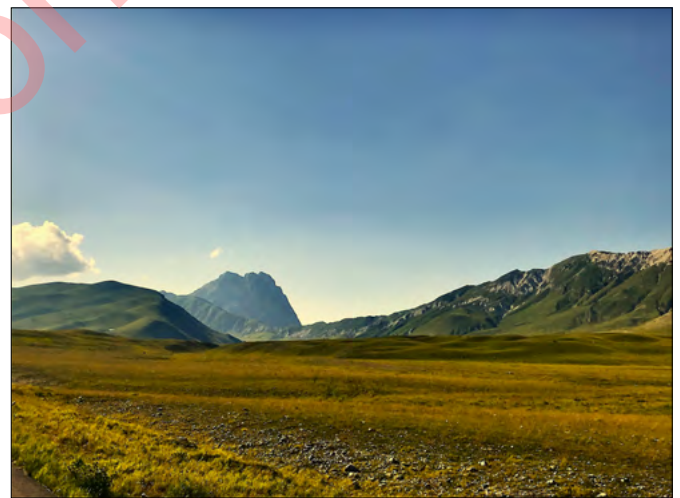


FIGURA 6. Campo Imperatore e il suo caratteristico paesaggio carsico, sullo sfondo il Corno Grande (foto di A. Garzarella).

nomeno tutto moderno legato soprattutto alla diffusione a mezzo social di località amene, finora frequentate certamente ma con modalità sostenibili. Di recente, vi è stata l'introduzione del parcheggio a pagamento in località Le Fontari a Campo Imperatore per scoraggiare un afflusso ingestibile di automobili e cercare di instillare nei visitatori un maggiore senso civico, nonché la consapevolezza di trovarsi in luoghi contraddistinti da un valore geologico e ambientale inestimabili.

4.4 Parco regionale del Velino-Sirente

La geologia del Parco è caratterizzata principalmente dai carbonati organogeni del Cretaceo di cui è costituita



FIGURA 7. Grotte di Stiffe, Parco Regionale Velino-Sirente (foto di A. Garzarella).

la maggior parte dei massicci montuosi, con affioramenti riconducibili anche al Giurassico. Il Cenozoico è rappresentato dai calcari marnosi del Miocene Inferiore sia sul versante sud-ovest e più a nord della catena del Sirente, con detriti di falda montuosa, sia con la serie dei flysch del Miocene medio-superiore a ridosso degli Altopiani delle Rocche. Tuttavia, i terreni più recenti del Quaternario rivestono senza alcun dubbio, per la loro diversità di origine e di composizione, un ruolo primario nella determinazione della struttura morfologica dell'intera zona. Le manifestazioni di questo periodo geologico (depositi alluvionali, dei resti del glacialismo, del carsismo e dell'erosione fluviale) sono infatti quelle più chiaramente evidenti e più direttamente responsabili del paesaggio attuale. Tra i geositi più importanti del Parco possiamo di certo annoverare le Gole di Celano, le Gole di San Venanzio a Raiano e le Grotte di Stiffe (Fig. 7), questo tra i siti più visitati della regione, nonché i geositi a carattere geomorfologico come i Piani di Pezza, l'Altopiano delle Rocche e quello di Campo Felice, e i Prati del Sirente. Di questi, sono presenti sull'inventario nazionale dei geositi solo le gole di Celano e i Prati del Sirente. Il Parco del Velino-Sirente, pur nella sua limitata estensione rispetto ai parchi nazionali della Regione Abruzzo, presenta delle unicità geologiche di rara bellezza e importanza scientifica come Campo Felice, con le sue miniere di bauxite a cielo aperto, che permettono di ricostruire la storia dell'uomo legata all'ambiente montano. Inoltre, sono da segnalare i geositi legati alle glaciazioni quaternarie come sul Sirente, sui Monti della Magnola e sul Velino dove l'antica presenza dei ghiacciai hanno lasciato impressi nelle

rocce i segni del loro passaggio, come i circhi glaciali sparsi sulle diverse cime, ma anche i resti delle relative morene che a volte si estendono, come sul versante nord-orientale del Sirente, anche per diversi chilometri. Le attività di divulgazione e disseminazione del patrimonio geologico sono legate alle attività svolte dalle cooperative e associazioni locali come nel caso di Stiffe, un sito in continua crescita per quanto riguarda le presenze turistiche. Allo stato, non è ancora stato emanato un Piano del Parco, che aumenterebbe il potere disseminativo della sua geologia con attività strategiche di gestione mirate alla valorizzazione e diffusione del patrimonio geologico dell'area.

5. CONCLUSIONI

L'enorme geodiversità della Regione Abruzzo, scaturita da una storia geologica articolata e complessa iniziata dal Triassico e tuttora in divenire, ne rende difficoltosa una esaustiva e definitiva disanima. Tuttavia, ai fini del presente lavoro, si può certamente affermare che le buone pratiche messe in essere partendo dall'istituzione del Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise cento anni fa fino ai due più recenti della Maiella e del Gran Sasso, ben raccontano della sensibilità alla tutela e alla conservazione ambientale della nostra Regione. Il focus sulla geologia del nostro territorio, così variegata in un'areale tuttavia ristretto, fa sì che nuove prospettive e sfide si possano aprire in seno alla tutela in senso stretto ma anche alla divulgazione di nuovi concetti, come la geodiversità, i geositi, i geoparchi. E non parlo certamente, o almeno non solo, dell'ambito accademico, dove un certo lavoro di affermazione dell'importanza della geologia come fondante e irrinunciabile per la conoscenza del territorio ad ampio spettro è stato finora svolto, ma soprattutto dell'ambito legato alla gestione da parte degli enti pubblici preposti e alle azioni poste, o meno, in essere per la tutela del bene geologico. Sebbene esista un quadro normativo entro cui operare, seppure ancora lacunoso, a volte manca chi renda parte viva e dirimente i concetti legati alla geologia nei territori che si è chiamati a salvaguardare, valorizzare e promuovere. I geositi del Parco Maiella, opportunamente segnalati e divulgati, permettono ai visitatori di acquisire consapevolezza e intraprendere quelle modalità di visita proprie del geoturismo come forma principe del turismo sostenibile. Contrariamente, quel che avviene ogni anno a Campo Imperatore sta costringendo l'ente preposto a una serie di misure "drastiche" per contenere i danni, con aumento del disappunto dei visitatori, che si trovano a vedersi negato l'accesso a tali luoghi. La suggestione che viene è che bisognerebbe trovare una strada comune in seno all'ente della Regione Abruzzo, per una migliore armonizzazione delle buone pratiche, per la divulgazione e la promozione della geodiversità, con la progettazione di iniziative, convegni ed eventi di raccordo tra i vari soggetti incaricati della tutela del territorio, per una maggiore consapevolezza collettiva e una più strategica sinergia, propositiva e efficace, per il bene della geologia e della geodiversità abruzzese. La geologia non è entità a sé ma può essere considerata, a ragione, la madre nascosta della biodiversità, un'entità quindi vivente essa stessa che regola e definisce

dalla notte dei tempi lo sviluppo di qualsiasi forma di vita. Gli esseri umani, parte di questo tutto (Lovelock, 1995), con un potere enorme e sproporzionato rispetto alle altre forme viventi in termini di capacità modificante i processi naturali, devono assumere sempre più la consapevolezza dell'irripetibilità del sistema Terra, e della necessità della sua salvaguardia a partire dalle fondamenta stesse del nostro essere "viventi".

BIBLIOGRAFIA

- ADAMOLI L., CALAMITA F., PIZZI, A. *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia – Foglio 349 "Gran Sasso d'Italia"*. ISPRA – Servizio Geologico d'Italia.
- ADAMOLI L., BIGOZZI A., CIARAPICA G., CIRILLI S., PASSERI L., ROMANO A., DURANTI F., VENTURI F. (1990). "Upper Triassic bituminous facies and Hettangian pelagic facies in the Gran Sasso Range", *Boll. Soc. Geol. It. (serie)*, 109 (1): 219230.
- AGOSTINI S., ROSSI M.A. (2017). *Geodiversità, geoconservazione, geositi e itinerari geoturistici in Abruzzo*. Report.
- BERNOULLI D., EBERLI G. P., PIGNATTI J., SANDERS D. G. K., VECSEI A. (1992). *Sequence stratigraphy of Montagna della Maiella*. <https://doi.org/10.1306/M56578C18>.
- BRANDANO M., LIPPARINI L., ROMI A., CAMPAGNONI V., TOMASSETTI L. (2011). *Downslope-migrating sand wave in the Chattian carbonate ramp of Majella (Central Apennines, Italy)*. *Rend. Soc. Geol. Ital.*, 17, 29.
- BRANDANO M., SCROCCA D., LIPPARINI L., PETRACCHINI L., TOMASSETTI L., CAMPAGNONI V., MELONI D., MASCARO G. (2013). *Physical stratigraphy and tectonic settings of Bolognano Formation (Majella): A potential carbonate reservoir*. *Journal of Mediterranean Earth Sciences Pre-Congress Field trip guide*. In *Proceedings of the XI GeoSed Congress Italian Association for Sedimentary Geology*, Rome, Italy, 22–28 September 2013; pp. 151–176.
- BRUSTIA E., POMPILII R., PRIMERANO P. (2024). *Patrimonio geologico italiano: lo stato dell'arte e attività in corso*. *Geologia dell'Ambiente*, Supplemento al n. 2/2024 ISSN 1591-5352.
- CENTAMORE E., ROSSI D. (2009). *Carta geologica dell'Abruzzo – Note illustrative*. Regione Abruzzo & ISPRA.
- CRESCENTI U. (1969a). *Stratigrafia della serie calcarea dal Lias al Miocene nella regione marchigiano-abruzzese (parte I - Descrizione delle serie stratigrafiche)*. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 8, 155–204.
- CRESCENTI U., CROSTELLA A., DONZELLI G., RAFFI G. (1969b). *Stratigrafia della serie calcarea dal Lias al Miocene nella regione marchigiano—Abruzzese (Parte II: Litostratigrafia, biostratigrafia, paleogeografia)*. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 8, 343–420.
- EBERLI G.P., BERNOULLI D., SANDERS D., VECSEI A. (1993). *From aggradation to progradation: The Maiella platform, Abruzzi, Italy*. In: *Cretaceous Carbonate Platforms*; Simo, T., Scott, R.W., Masse, J.P., Eds.; AAPG: Tulsa, OK, USA.
- ESPOSITO G., MANCINELLI V., MICCADEI E. (2022). *Carta delle geodiversità. 1:100.000*. Ed. Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise.
- FERRINI G., MORETTI A., PATACCI M., URSINI E. (2025). *La miniera di bitume del monte camicia (Gran Sasso - Abruzzo): un geosito da valorizzare*. *Documenti Geografici*, n°1 gennaio-giugno, nuova serie Roma. Univ. Tor Vergata.
- GALLI P., MESSINA P., GIACCIO B., PERONACE E. (2024). *Quaternary morpho-stratigraphic evolution of the eastern Campo Imperatore basin (Gran Sasso range, central Italian Apennines) and tectonic implication*. *Journal of Maps*, 20:1, 2392853, DOI: 10.1080/17445647.2024.2392853.
- GARZARELLA A., DE LUCA V. (2021). *La Montagna della Majella. Il paesaggio geologico naturale e l'antropizzazione come elementi di valorizzazione*. *Stratigrafie del Paesaggio*, 1, 2021.
- GRAY M. (2013). *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature*. Wiley Blackwell: Chichester, UK.
- HENRIQUES M.H., BRILHA J. (2017). *UNESCO Global Geoparks: A strategy towards global understanding and sustainability*. *Episodes*, 40, 349–355.
- LIBERATOSCIOLI E., BOSCAINO G., AGOSTINI S., GARZARELLA A., PATACCA SCANDONE E. (2018). *The Majella National Park: An Aspiring UNESCO Geopark*. *Geosciences* 2018, 8, 256; doi:10.3390/geosciences8070256.
- LOVELOCK J. (1995). *The Ages of Gaia: A Biography of Our Living Earth*. Ed. WW Norton & Co, New York.
- MICCADEI E., PIACENTINI T., ESPOSITO G. & SANTANGELO S. (2013). *Attività e strumenti per il geoturismo nel Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise*. *Convegno Geologia & Turismo... a 10 anni dalla fondazione*, pub. ISPRA, Atti/2015, ISBN: 978-88-448-0721-4.
- PATACCA E., SCANDONE P., BELLATALLA M., PERILLI N., SANTINI U. (1991). *La zona di giunzione tra l'arco appenninico settentrionale e l'arco appenninico meridionale nell'Abruzzo e nel Molise*. In *Studi Preliminari All'acquisizione Dati del Profilo CROP 11 Civitavecchia-Vasto*; Tozzi, M., Cavinato, G.P., Parotto, M., Eds.
- PIANO DEL PARCO NAZIONALE D'ABRUZZO, LAZIO E MOLISE (2022). <https://www2.regione.abruzzo.it/>
- PULITI I., PIZZI A., GORI S., FALCUCCHI E., GALADINI F., MORO M., SAROLI M. (2025). *Paleoseismological evidence of multiple, large-magnitude earthquake surface ruptures on the active Mt. Morrone normal fault, central Apennines, Italy*. *Solid Earth*, 16, 275–296, 2025; <https://doi.org/10.5194/se-16-275-2025>.
- RUBAN D.A. (2017). *Geodiversity as a precious national resource: A note on the role of geoparks*. *Resour. Policy*, 53, 103–108.
- SHARPLES C. (1993). *A Methodology for the Identification of Significant Landforms and Geological Sites for Geoconservation Purposes*. Forestry Commission, Tasmanian.
- WIMBLEDON W.A. (1999). *L'identificazione e la selezione dei siti archeologici, una priorità per la geoconservazione*. In: *Geositi Testimoni del Tempo*. A Cura di Giancarlo Poli. Edizioni Pendragon. Emilia-Romagna, Italy.

Itinerari dei tratturi della transumanza in Abruzzo: geocultura e geoarcheologia

Itineraries of transhumance in Abruzzo: geoculture and geoarcheology

FRANCESCA LIBERATORE

Filologa e Docente di Lettere

E-mail: francesca.lib95@gmail.com

ENDRO MARTINI

Geologo Ambientale - Responsabile Nazionale Area Contratti di Fiume SIGEA APS

E-mail: endromartini@gmail.com

Parole chiave: transumanza, tratturi, geocultura, geologia, geoarcheologia, archeologia, geoturismo

Key words: transhumance, tratturi, geoculture, geology, geoarchaeology, archeology, geotourism

INTRODUZIONE

La transumanza, ovvero quella pratica arcaica di *migrazione* stagionale delle greggi lungo la via dei tratturi (*“Settembre, andiamo. È tempo di migrare”* dalla poesia *“I Pastori”* di Gabriele D’Annunzio), è una tradizione pastorale millenaria iscritta dall’UNESCO nel 2019 nella Lista Rappresentativa del Patrimonio Culturale Immateriale dell’Umanità (RIF. WEB 1). L’inestimabile patrimonio culturale di cui siamo collettivamente custodi non si compone soltanto di monumenti e collezioni d’arte, ma comprende anche espressioni orali e linguistiche, arti performative, consuetudini sociali, conoscenze e pratiche legate alla natura e all’universo, l’artigianato tradizionale e gli antichi mestieri. La tutela di questo ricco bagaglio patrimoniale favorisce il mantenimento della diversità culturale di fronte alla modernità, all’omologazione verso cui la globalizzazione tende a spingerci e la sua comprensione aiuta non solo il dialogo interculturale, che incoraggia il rispetto reciproco dei diversi modi di vivere, ma anche la costante trasmissione di tale patrimonio alle generazioni future, impedendone la scomparsa.

Tra le motivazioni che hanno spinto l’UNESCO al riconoscimento della transumanza, spicca il valore dell’inclusione sociale, sostenuto dalla perseveranza con cui la pratica viene ancora oggi tramandata, dal rafforzamento dell’identità culturale e dai legami profondi tra famiglie, comunità e territori, contrastando lo spopolamento delle aree rurali. In Italia, questa pratica accomuna molte regioni alpine e dell’Appennino centrale. Una particolare attenzione, tuttavia, sarà rivolta al fenomeno della transumanza tra Abruzzo, Molise e Puglia e al contesto geomorfologico e archeologico che caratterizza nello specifico i tratturi abruzzesi, rendendoli oggi possibili itinerari geoculturali e geoarcheologici da valorizzare.

I TRATTURI E LA TRANSUMANZA

Ogni anno migliaia di animali sono guidati, in primavera e in autunno, da gruppi di pastori assieme ai loro fidati cani lungo percorsi che abbracciano aree geologicamente,

morfologicamente e climaticamente diverse. Il naturale e necessario rinnovo dei pascoli spinge questi pastori, dediti all’allevamento ovino fin dalle epoche più remote, a trasferirsi d’estate verso i pascoli verdi delle montagne abruzzesi. Terminata la stagione calda, prima che neve e gelo rendano impraticabili i sentieri, le greggi discendono verso le vallate e le pianure, come quella del Tavoliere delle Puglie, dove trascorrono l’inverno. Nonostante i dubbi in merito alla precisa origine di tale pratica, sappiamo che l’esercizio di una pastorizia che sfrutta in stagioni diverse pascoli distanti tra loro si è articolata fin dalle origini attraverso una robusta rete di vie armentizie, vie che studi recenti identificano come matrici dei tratturi attuali nati in corrispondenza dei resti di insediamenti sannitici, romani e di epoche successive (PAONE, 2001).

In età romana, inoltre, grazie ai collegamenti più controllati e sicuri verso i pascoli invernali pugliesi, l’evoluzione del sistema insediativo si è lentamente indirizzato sempre più verso la valle e questo ha favorito la diffusione di una pratica transumante di tipo orizzontale, cioè praticata in regioni pianeggianti, accostata a quella verticale, tipica delle regioni montane. In questa fase storica si svilupparono importanti centri abitati come *Amiternum* (città italica fondata dai Sabini, le cui rovine sorgono nei pressi di San Vittorino, nella periferia del comune dell’Aquila) e *Pelutunum*, (città italica dei Vestini, il cui sito archeologico si trova negli attuali comuni di Prata d’Ansidonia e di San Pio delle Camere, in provincia dell’Aquila), e nel 47 a.C. fu realizzata la Via Claudia Nova, che collegava la Conca Aquilana a quella Peligna. Le fonti attestano un crescente sviluppo del fenomeno della transumanza a lungo raggio (CARDINALE & CAPULLI, 2023, pp. 17-47). Nel 37 a.C. Marco Terenzio Varrone nel *De re rustica* descrive dettagliatamente l’itinerario delle greggi tra la Sabina e l’Apulia: «*Contra illae in saltibus quae pascuntur et a tectis absunt longe, portant secum crates aut retia, quibus cohortes in solitudine faciant, ceteraque utensilia. Longe enim et late in diversis locis pasci solent, ut multa milia absint saepe hibernae pastiones ab aestivis. Ego vero scio, inquam; nam*

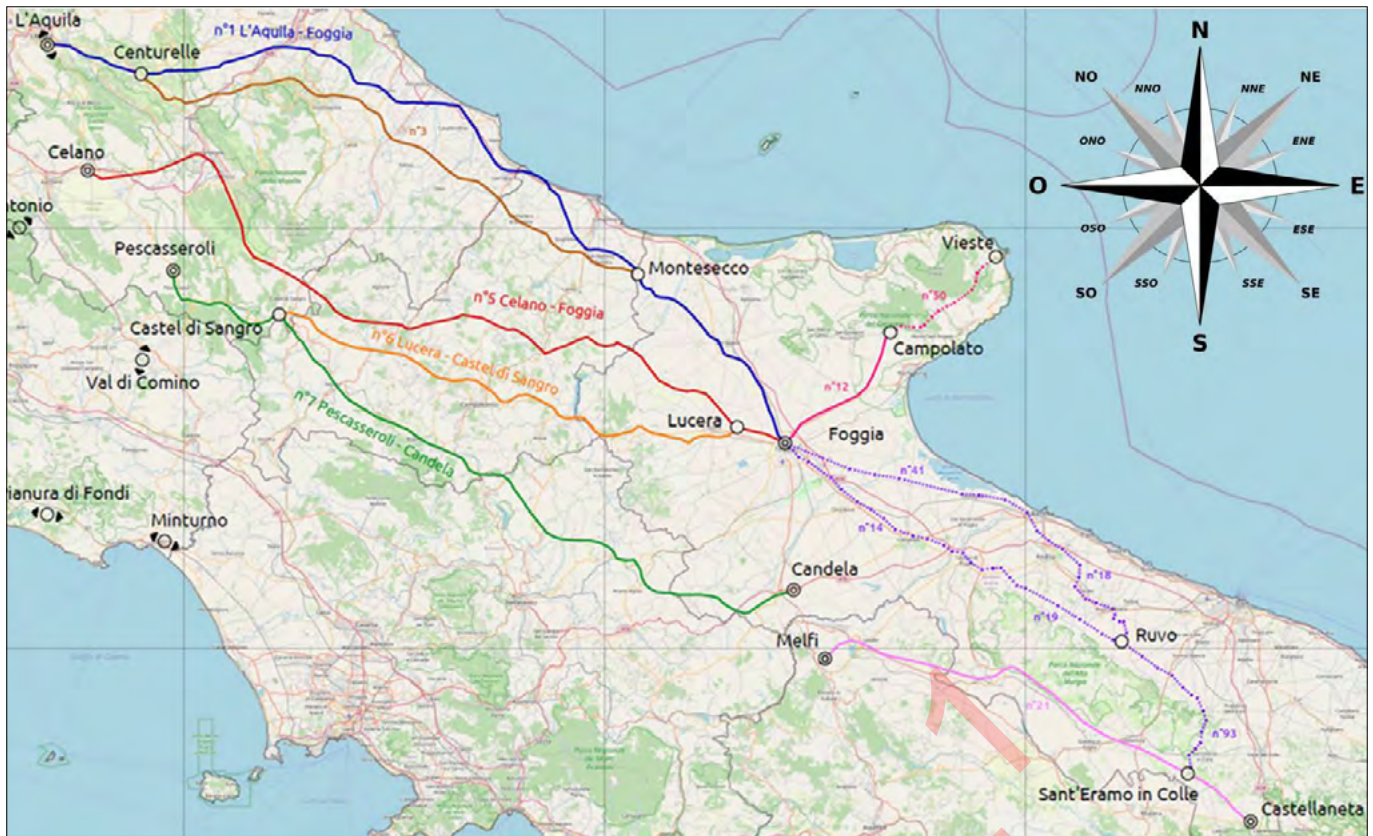


FIGURA 1. Carta dei Tratturi Abruzzo-Molise-Puglia.

mihī greges in Apulia hibernabant, qui in Reatinis montibus aestivabant, cum inter haec bina loca, ut iugum continet sirpiculos, sic calles publicae distantes pastiones» (Al contrario, per quelle (greggi) che pascolano sulle balze dei monti e che sono lontane dai luoghi chiusi, i pastori portano con sé graticci e reti con cui fare dei recinti in quei luoghi isolati e tutto il resto dell'occorrente. Infatti le greggi sono solite pascolare in luoghi lontani, sicché spesso i pascoli invernali distano molte miglia da quelli estivi. Lo so bene io – dissi – che le mie greggi, le quali passavano l'estate sui monti del reatino, svernavano in Puglia. Fra queste due regioni, come due cesti tenuti insieme da un gioco, corrono pubblici tratturi che uniscono le due lontane zone di pascolo).

Sul tema della genesi, dell'evoluzione storica e dell'uso dei tratturi per la transumanza, è particolarmente significativo il contributo di Paolo Camerieri e Tommaso Mattioli (CAMERIERI & MATTIOLI, 2010) nel loro lavoro *“Transumanza e agro centuriato in alta Sabina, interferenze e soluzioni gromatiche”*. Gli autori affermano che *“gruppi di uomini e donne evidentemente muovevano, assieme alle loro greggi, attraverso i rilievi, dai villaggi della Sabina interna ai pascoli estivi del Sannio”* (siamo nell'autunno del 290 a.C.). Le fonti storiche descrivono questi itinerari armenitici come *“occulta itinera o incertas vias”*, tracciati nascosti tra le pieghe del paesaggio montano, a volte preferiti alle vie consolari dagli eserciti per gli spostamenti rapidi attraverso l'Appennino. In questo lavoro gli autori applicano per la ricerca dei tracciati un metodo di analisi innovativo, cioè quello della *cost-surface analysis* in ambiente GIS.

Traendo spunto da queste ricerche, si delinea con chiarezza lo scopo del nostro lavoro: sensibilizzare sulla necessità di promuovere la realizzazione di percorsi geoturistici,

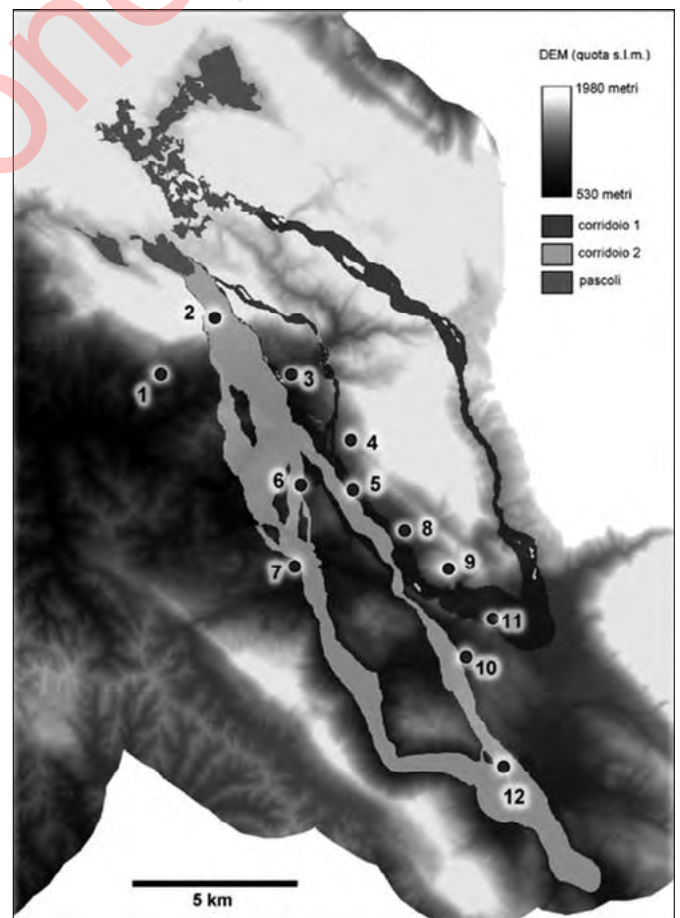


FIGURA 2. I tratturi riscoperti nell'area compresa tra il Cicolano e il tratturo Alba Fucens-Foggia: 1. S. Lorenzo in Fano, 2. S. Angelo in Cacumine Montis, 3. S. Nicola, 4. Alzano, 5. Collevetere, 6. Arenacunola, 7. S. Angelo in Vatica, 8. S. Sabino, 9. S. Mauro in Fano, 10. S. Giovanni in Leopardò, 11. S. Maria delle Grazie, 12. S. Martino di Torano.

culturali e archeologici, di sicuro interesse per lo sviluppo di un turismo naturale e scientifico sostenibile, mediante la sovrapposizione dei tracciati dei tratturi alla cartografia geologica e archeologica esistente in Abruzzo.

DAL PERIODO ROMANO AI GIORNI NOSTRI

Compiendo un salto in avanti sulla linea del tempo, notiamo che con la caduta dell'Impero romano, il sistema insediativo sviluppatosi precedentemente si contrae bruscamente: il fenomeno della transumanza verso la Puglia diminuisce sempre di più fino a toccare il minimo storico nel periodo compreso fra il VI e il VII secolo, con il passaggio dell'Abruzzo interno sotto l'autorità del Ducato Longobardo di Spoleto e della Puglia sotto il controllo dell'Impero Bizantino (CARDINALE & CAPULLI, 2023, p.21). Sarà solo con la nascita del Regno Normanno, di cui l'Abruzzo entrerà a far parte nel 1150, che si assisterà a una nuova e vigorosa ripresa del fenomeno, testimoniata dall'attenzione della Corona per garantire alle greggi un transito agevole. A tal punto che venne previsto il libero passaggio degli armenti anche su terreni privati, senza obbligo di indennizzo per i proprietari (CARDINALE & CAPULLI, 2023, p.23). Nel periodo successivo si apre una seconda fase di trasformazione territoriale, segnata dalla fondazione della città dell'Aquila, voluta dal potere regio nel 1254. Il tratturo L'Aquila-Candela prende avvio proprio dalla Basilica di Collemaggio, sede di un insediamento cistercense (CARDINALE & CAPULLI, 2023, p.26). A partire dal Cinquecento, il sistema insediativo si stabilizza, ma l'impulso dato all'industria armentizia prima dal governo angioino, poi da quello aragonese, rappresenta un decisivo stimolo per lo sviluppo del territorio. Grazie all'attenzione delle autorità centrali del Regno, l'attività transumante fiorisce notevolmente e raggiunge il suo apice nella seconda metà del XVI secolo con due milioni e mezzo di capi ovini coinvolti, di cui circa il 70% proveniente dai territori più interni dell'Abruzzo (PICCIONI L., 1993). Gli itinerari armentizi, dunque, vengono istituzionalizzati dalla Corona del Regno di Napoli che impone la "Regia Dogana della mena delle pecore di Puglia". Fino al XVIII secolo la legislazione del Regno di Napoli non ha distolto l'attenzione verso lo sviluppo dell'industria armentizia. Tuttavia, nel corso dell'Ottocento, le profonde trasformazioni sociali ed economiche portano ad una irreversibile crisi del sistema: il punto di svolta è rappresentato dalla legge n. 75 del 21 maggio 1806, promulgata in epoca napoleonica, che sancisce la fine della transumanza istituzionalizzata (CARDINALE & CAPULLI, 2023, p.29). Bisognerà attendere il 1908, con l'emanazione della legge n. 746, per vedere riconosciuta l'importanza dei principali tratturi (L'Aquila-Foggia, Celano-Foggia, Pescasseroli-Candela, Castel di Sangro-Lucera) parificandoli alle strade nazionali di proprietà demaniale (CARDINALE & CAPULLI, 2023, p.30). Solo nella seconda metà del Novecento, grazie all'azione del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, una serie di decreti riconosce al patrimonio tratturale valenza culturale e ambientale, limitandone la trasformazione e salvaguar-

dandone l'identità. Certamente negli anni a seguire un numero sempre crescente di persone ha compreso quanto questa antica tradizione fosse importante e come modellasse le relazioni sociali, dando origine a riti, feste e pratiche sociali ricorrenti, scandite dalla ciclicità delle stagioni che induceva i pastori non solo a prendersi cura degli animali, a gestire terreni, foreste e risorse idriche, ad affrontare i pericoli lungo il cammino, ma anche ad interfacciarsi con le comunità, con gli artigiani locali, barattando, almeno nei secoli scorsi, i propri prodotti con quelli altrui. Infatti, un intero sistema economico e sociale, basato principalmente sull'agricoltura e sull'allevamento di sussistenza, si è sviluppato attorno a pratiche come quella della transumanza. I pastori interagivano con i ramai per l'acquisto delle conche e dei paioli in rame utili per la lavorazione del latte, con i cestai, che realizzavano in vimini i cesti per la formatura del formaggio, con i fabbri per la realizzazione del tipico collare con le punte in ferro indossato dal cane pastore per difendersi dai lupi e altri utensili. I pastori si interfacciavano con i produttori di zafferano della Piana di Navelli, con i mugnai e gli oliari delle zone collinari per rifornirsi di olio e farina. Barattavano con i falegnami per procurarsi fusi, pettini e telai per la tessitura. Ciò che i pastori davano in cambio era principalmente latte, siero, formaggi, carne e soprattutto lana, da impiegare nella tessitura, da riservare alle attività sartoriali, da vendere in panni o in gomitoli dopo una sapiente cardatura, senza buttare via nemmeno i residui della lavorazione, destinati all'imbottitura dei materassi. In questa rete fitta di scambi, si sono modellati paesaggi e territori, forgiati mestieri e saperi, influenzate mentalità e relazioni sociali.

È vero: la transumanza oggi è in graduale declino, sotto la spinta dell'industrializzazione, dell'urbanizzazione, della riduzione dei pascoli e dei cambiamenti climatici. Eppure, molte comunità lungo i tratturi continuano a svolgere un ruolo centrale nella trasmissione di questa memoria, organizzando festival e incontri tematici, offrendo ai visitatori una riscoperta autentica del valore culturale e identitario di questa pratica.

Questo dimostra come la transumanza abbia superato la semplice dimensione della sopravvivenza, affermandosi nel tempo come fenomeno culturale complesso, oggetto di studi antropologici, ispirazione per poeti e artisti. Si pensi al poeta Vate e alle sue due anime: Gabriele D'Annunzio, infatti, è il più delle volte associato all'immagine dell'intellettuale del Vittoriale, amante del lusso e della modernità. Ma a queste sue peculiarità, è bene affiancare il profilo del nostalgico cantore abruzzese di un mondo arcaico e pastorale dal quale D'Annunzio era di fatto attratto e nello stesso tempo respinto. Questo dualismo emerge certamente nella poesia *"I pastori"*, lirica appartenente all'ultima sezione di *Alcyone*: ecco che nella malinconica fase di trapasso tra la fine dell'estate e l'arrivo dell'autunno, il poeta sembra accompagnare i pastori in questo antico rito della transumanza. Del resto, il termine stesso *transumanza* deriva dal verbo *transumare* di derivazione latina (*trans* - *humus*), parola che fonde insieme il concetto di *attraversare* con quello di *terra*, in una sommessa e nostalgica sovrapposizione di significati

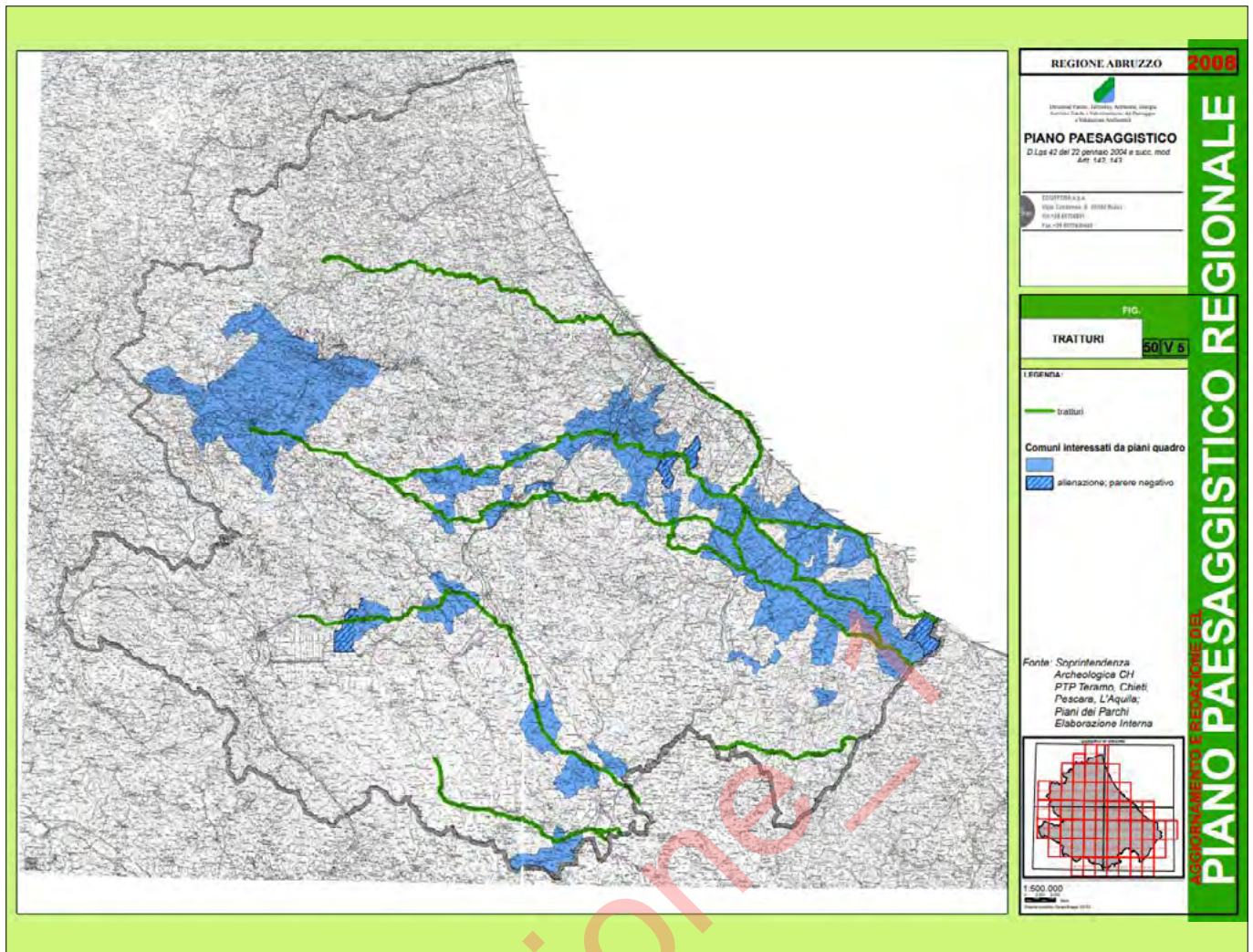


FIGURA 3. Piano paesaggistico della Regione Abruzzo – Tavola 50: Tratturi.

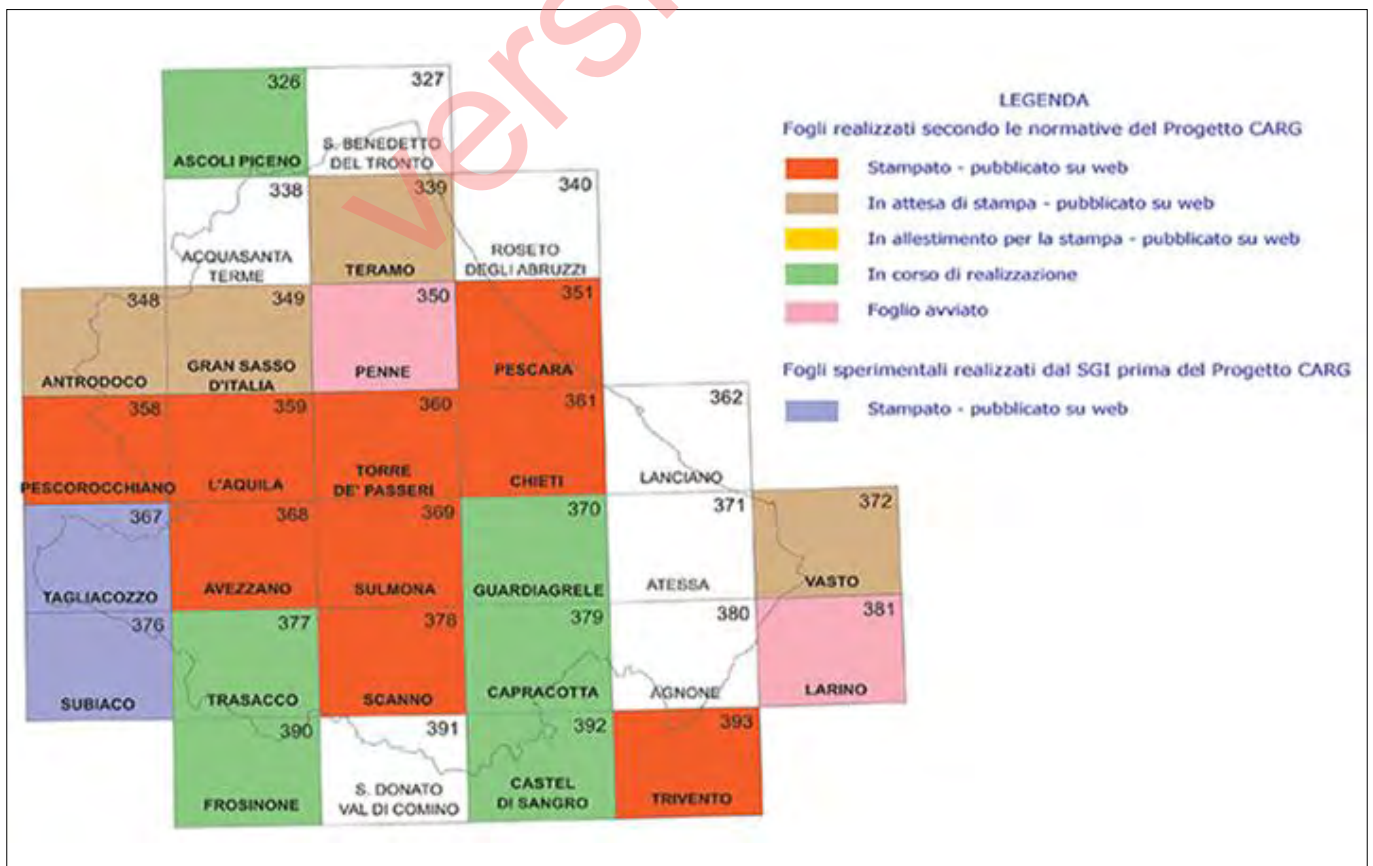


FIGURA 4. Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000: Abruzzo – Fogli realizzati secondo le normative del Progetto CARG (Rif. WEB 4).

spaziali e temporali: *passare attraverso, passare oltre*. Con questa ricerca abbiamo voluto *attraversare* la memoria pastorale, riportando alla luce le radici di quell'antico rito della transumanza, divenuto un prezioso simbolo identitario e culturale da salvaguardare e da valorizzare. In tale prospettiva, vale la pena ricordare la cartografia "Zone di Interesse archeologico e tratturi" (Fig. 3) tra le carte Base del Piano Paesistico Regionale PPR (RIF. WEB 2) e la presenza di numerosi Musei (RIF. WEB 3) della Transumanza tra cui si ricordano il Museo delle genti d'Abruzzo a Pescara, il Museo della transumanza e dell'arte della lana a Castel del Monte (AQ), il Museo della transumanza a Villetta Barrea (AQ), il Museo della lana a Scanno (AQ), il Punto informativo sul tratturo e la transumanza a Civitella Alfedena e il Museo civico di Sulmona - Sez. del costume popolare e della transumanza.

GEOCULTURA, GEOARCHEOLOGIA E GEOTURISMO

L'Abruzzo si distingue per la sua complessa geologia, strettamente legata all'evoluzione dell'Appennino centro-meridionale, con la presenza di piattaforme carbonatiche e bacini sedimentari. La morfologia del territorio è prevalentemente montuosa e collinare, con catene montuose che si estendono fino a lambire il mare Adriatico. L'intera regione è soggetta a un'attività sismica, dovuta alla continua deformazione della crosta terrestre per la presenza di

faglie attive e capaci. Il paesaggio abruzzese è caratterizzato da un'alternanza di montagne, colline e pianure, che creano morfologie e ambienti naturali unici collegati alla complessità geologica ed alla geodiversità di questi territori (SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA, 2003). Grazie allo sviluppo del Progetto CARG, l'Abruzzo dispone oggi di una ottima cartografia geologica pubblicata in numerosi fogli alla scala 1: 50.000, consultabili e scaricabili dal sito ISPRA (RIF. WEB 4) dedicato alla carta geologica dell'Abruzzo (Fig. 4).

Numerose sono poi altre cartografie geologiche tra le quali si richiama qui "Plio-Quaternary Geology of L'Aquila-Scoppito Basin" redatta da UNI Roma TRE (RIF. WEB 5) (Fig. 5) che ci consente di capire la varietà del paesaggio geologico che si incontra nel primo tratto dei Tratturi che partono da L'Aquila. L'Abruzzo, proprio in virtù della sua ricchissima geodiversità, ospita numerosi geositi, luoghi di interesse geologico e paesaggistico di valore scientifico, estetico ed educativo. Un esempio emblematico è il Parco Nazionale della Maiella, diventato Geoparco UNESCO nel 2021, grazie alla presenza di 95 geositi, tra cui 22 di valore internazionale. Numerosi sono i lavori che trattano di percorsi geo turistici tra i quali si ricorda qui "Geodiversità, geoconservazione, geositi e itinerari geoturistici in Abruzzo" (AGOSTINI & ROSSI, 2017). Un altro riferimento importante è il volume "Geological Field Trips: Quaternary geology and paleoseismology in the Fucino and L'Aquila

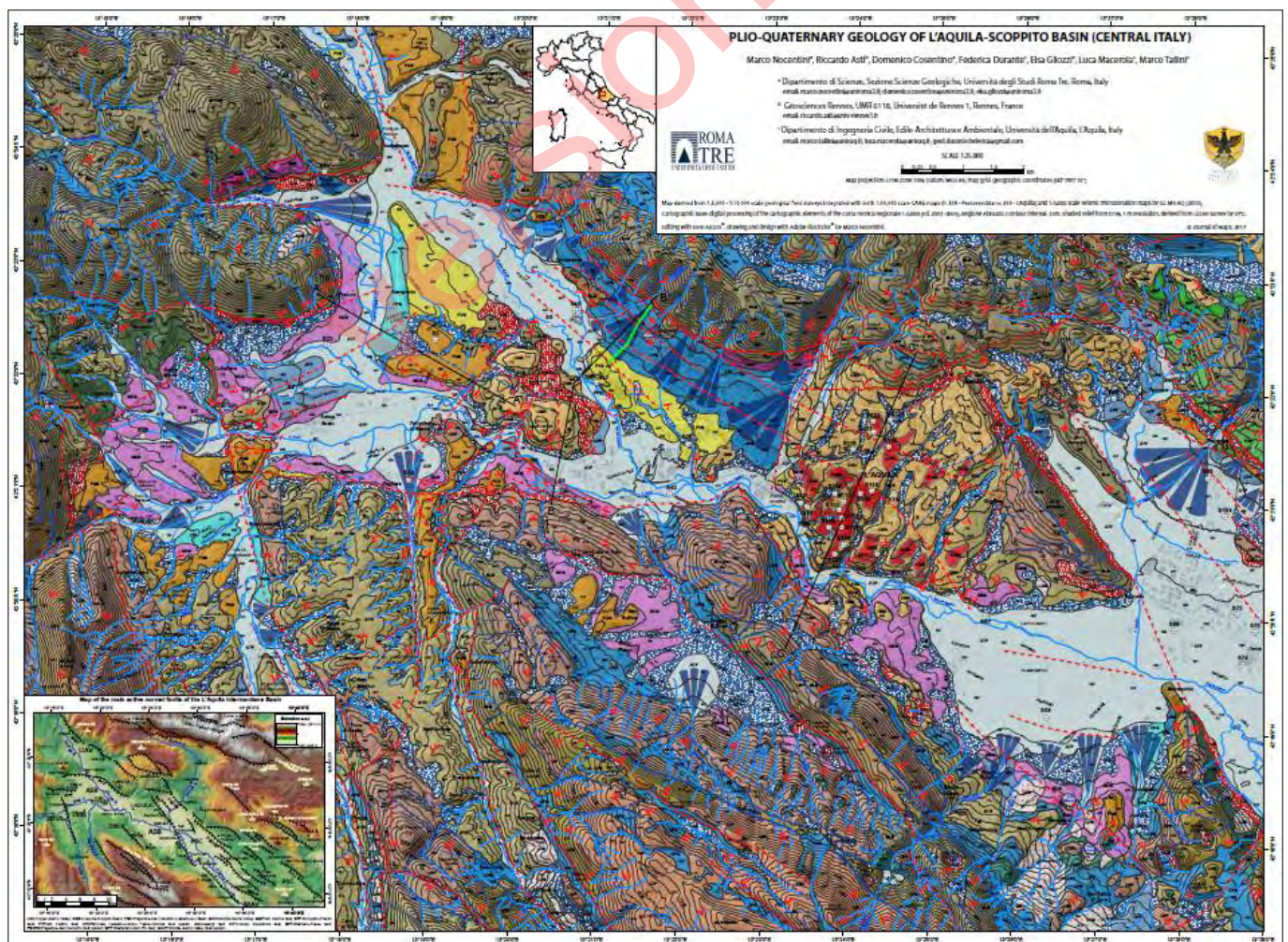
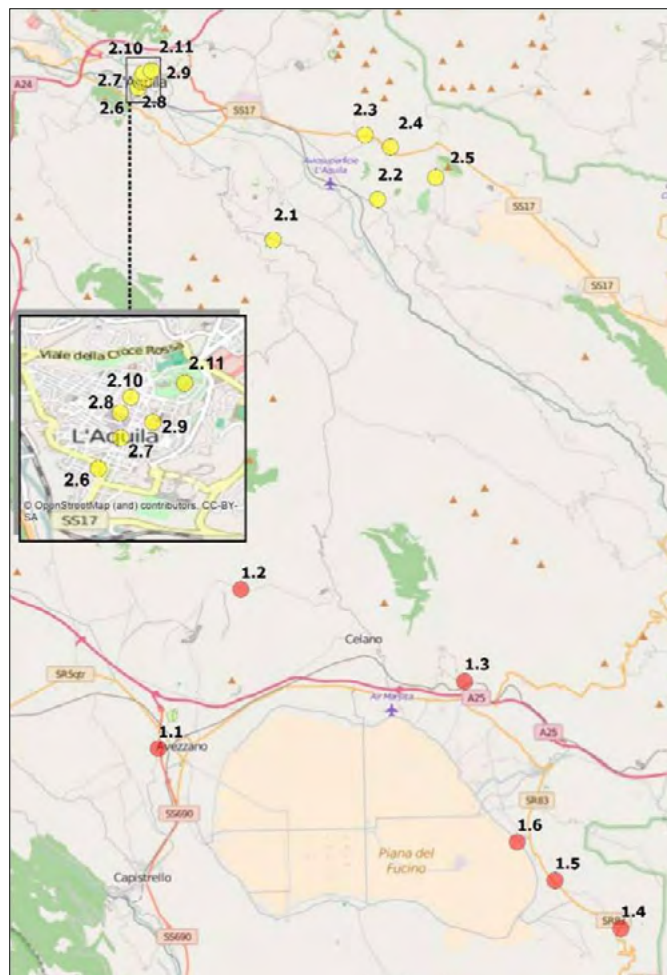


FIGURA 5. Carta della geologia plio-quaternaria del Bacino dell'Aquila-Scoppito (RIF. WEB 5).



Tappe 1ª giornata Geologia del quaternario e paleosismologia nel bacino del Fucino:

- 1.1 Veduta panoramica della conca del Fucino dal Monte Salviano e introduzione generale;
- 1.2 Paleosismologia e attività a lungo termine lungo la faglia della Magnola (Fonte Capo La Maina, Forme);
- 1.3 Terrazzi tettonici di Cerchio-Collarmele: attività di lungo periodo lungo la faglia Cerchio-Pescina;
- 1.4 La scarpata di faglia del Serrone;
- 1.5 Le cave di Venere: fagliazione superficiale del terremoto del 1915 e testimonianze paleosismiche;
- 1.6 Rottura cosismica del 1915 nei sedimenti lacustri e nei tronchi di trincea.

Tappe 2ª giornata - Geologia del quaternario e paleosismologia nel bacino dell'Aquila:

- 2.1 Vista panoramica da San Martino d'Ocre;
- 2.2 San Demetrio Ne' Vestini - Faglie composite quaternarie e indagini paleosismologiche;
- 2.3 Poggio Picenze - Depositi lacustri del Pleistocene inferiore;
- 2.4 Le Macchie - Conglomerati di fan delta tipo Gilbert del Pleistocene inferiore;
- 2.5 Valle dell'Inferno - La deposizione sin tettonica e l'evoluzione del drenaggio;
- 2.6 L'Aquila sud;
- 2.7 Piazza Duomo;
- 2.8 Piazza Palazzo;
- 2.9 Via San Bernardino;
- 2.10 Palazzo Ardinghelli;
- 2.11 Castello Cinquecentesco.

FIGURA 6. Le tappe dell'itinerario "Quaternary geology and paleoseismology in the Fucino and L'Aquila basins".

basins" (Rif. WEB 6) che illustra itinerari di grande interesse geologico con escursioni anche della durata di due giornate (Fig. 6). I geositi e la geodiversità contribuiscono a rendere l'Abruzzo una regione ricca di attrattive turistiche,

con possibilità di attività didattiche e di ricerca (Rif. WEB 7 - Fig. 7).

Ed è proprio questo il nostro obiettivo: promuovere, attraverso un Gruppo di Lavoro della SIGEA, una inte-

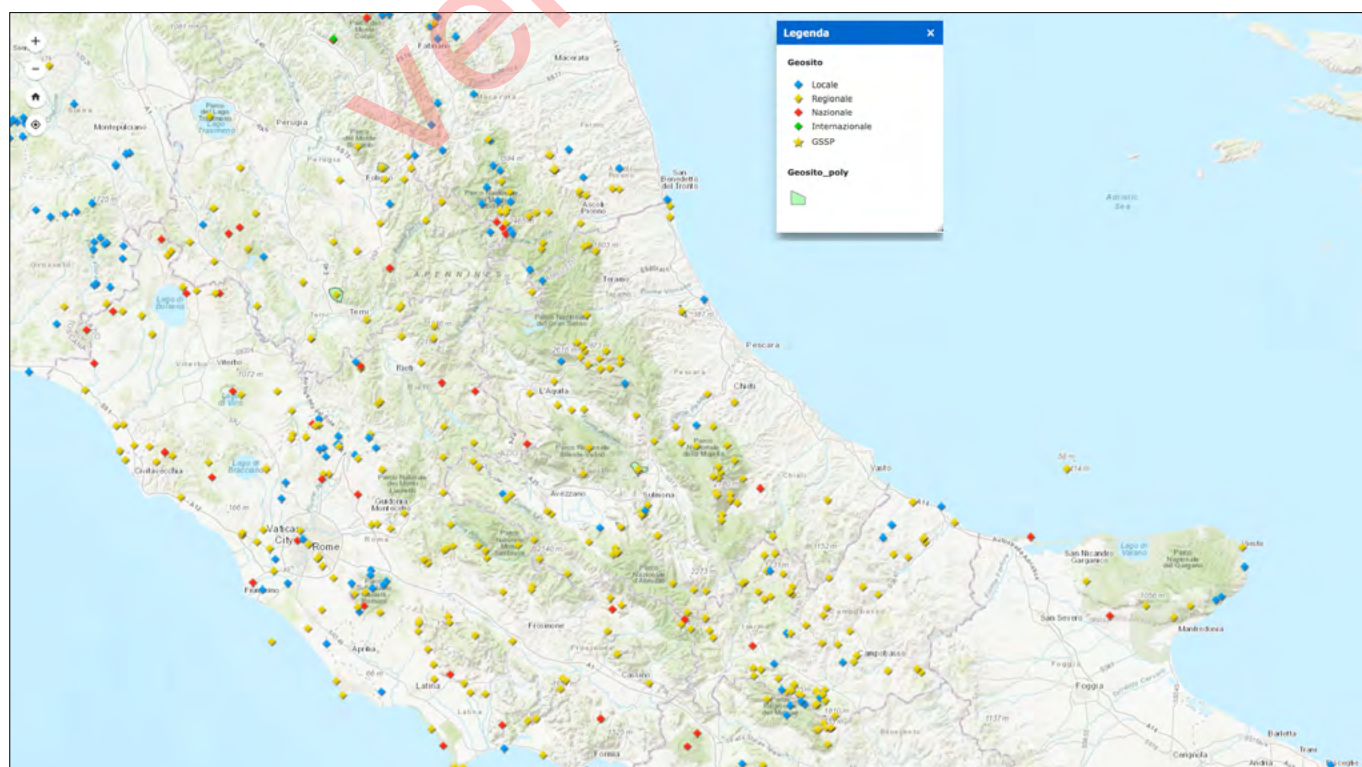


FIGURA 7. I geositi nell'area interessata dai tratturi. Stralcio dall'inventario nazionale dei geositi dell'ISPRA (Rif. WEB 7).

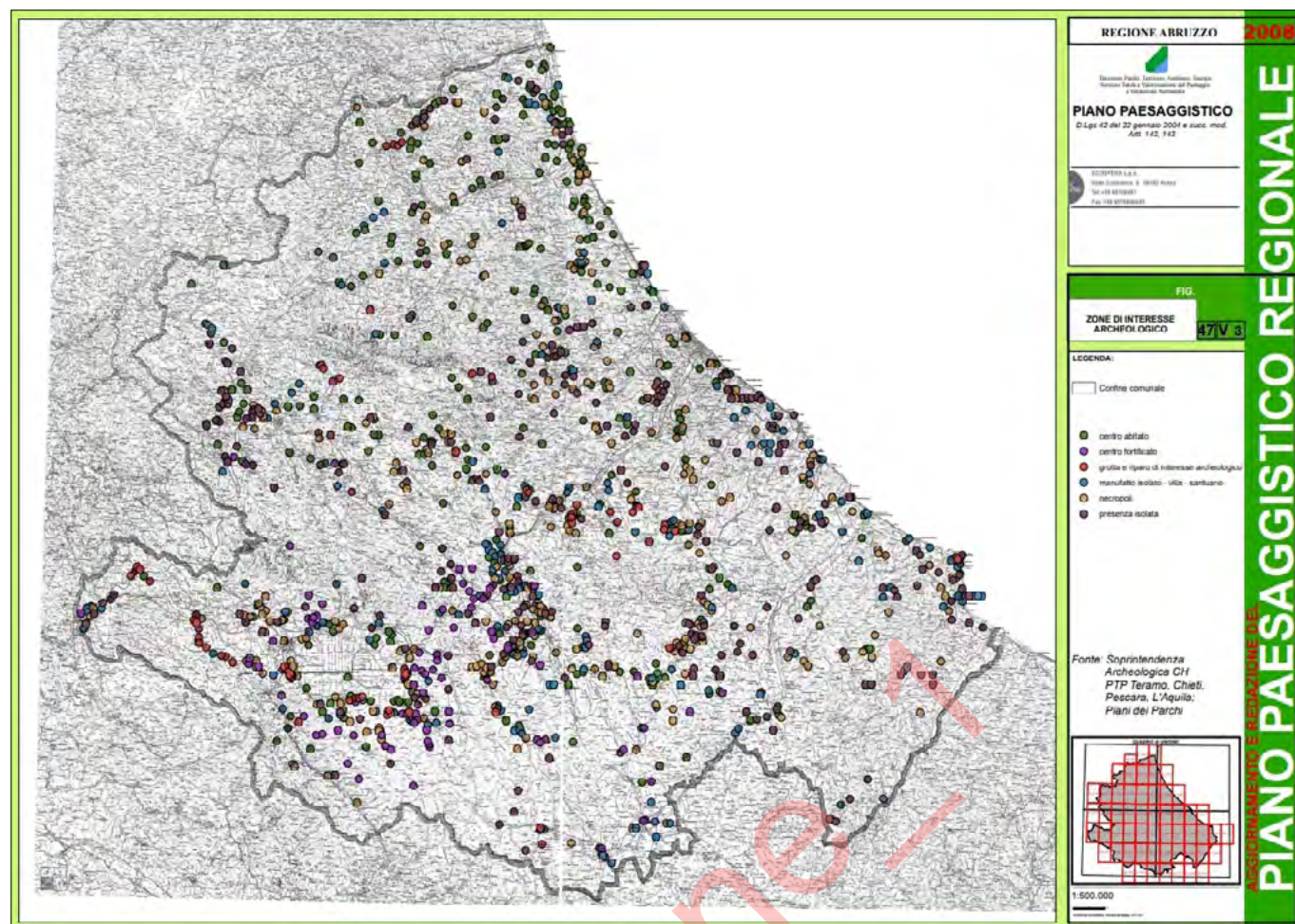


FIGURA 8. Piano paesaggistico della Regione Abruzzo – Tavola 47: Zone di interesse archeologico.

grazione storico-culturale tra i Tratturi della Transumanza (Patrimonio Mondiale Unesco), la geodiversità e i beni archeologici di grande interesse che sono presenti lungo questi itinerari della transumanza in Abruzzo (RIF. WEB 8 - Fig. 8).

Attraverso la sovrapposizione dei tracciati tratturali, individuabili grazie alle cartografie storiche, con la cartografia geologica e con l'indicazione puntuale di geositi e siti archeologici, sarà possibile costruire itinerari integrati di geocultura e geoarcheologia, capaci di recuperare le radici profonde della transumanza. Una tradizione millenaria che, grazie a questo approccio interdisciplinare, si conferma non solo simbolo identitario e culturale, ma anche motore per uno sviluppo turistico sostenibile, consapevole e innovativo.

BIBLIOGRAFIA

- AGOSTINI S., ROSSI M.A. (2017). *Geodiversità, geoconservazione, geositi e itinerari geoturistici in Abruzzo* in ResearchGate.
- CAMERIERI P. & MATTIOLI T. (2010). *Transumanza e agro centuriato in alta Sabina, interferenze e soluzioni gromatiche* in Atti del Convegno Settimo Incontro di Studi sul Lazio e la Sabina.
- CARDINALE B. & CAPULLI D. (2023). *Aspetti insediativi e valorizzazione delle vie tratturali nell'Abruzzo aquilano in Lo spazio relazionale della transumanza: usi, valori, visioni*, Documenti geografici n.2, pp. 17-47.
- PAONE N. (2001). *Dal Tratturo al Matese*, Editrice Lampo, Campobasso.
- PICCONI L. (1993). *La grande pastorizia transumante abruzzese tra mito e realtà*, in Abruzzo e Molise, Ambienti e civiltà nella storia del territorio, Cheiron, 10, pp. 195–229.
- SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA (a cura di) (2003). *Guide Geologiche Regionali: Abruzzo*. BE-MA Editrice.

RIFERIMENTI WEB

- 1 - <https://www.unesco.it/it/iniziative-dellunesco/patrimonio-culturale-immateriale/la-transumanza/>
- 2 - <https://www.regione.abruzzo.it/pianoPaesisticoReg/index.asp?modello=carteBase&>
- 3 - <https://www.abruzzo-vivo.it/i-musei-della-transumanza/>
- 4 - <https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/abruzzo.html>
- 5 - <https://www.tandfonline.com/doi/suppl/10.1080/17445647.2017.1340910>
- 6 - https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/periodici-tecnici/geological-field-trips/gft_2016_8_1_2.pdf
- 7 - <https://sinacloud.isprambiente.it/portal/apps/webappviewer/index.html?id=089b6763ce2748afac4a4e0701552f6a>
- 8 - https://www.regione.abruzzo.it/pianoPaesisticoReg/docs/carteBase/47_V_3_AREE_ARCHEOLOGICHE.pdf

Paesaggi geoarcheologici e archeologia industriale in Abruzzo. Verso un nuovo filone di ricerca

Geoarchaeological landscapes and industrial archaeology in Abruzzo. Towards a new line of research

DAVIDE MASTROIANNI

Sigea-APS Coordinatore Nazionale Area Tematica Geoarcheologia

E-mail: davidemastroianni@yahoo.it

Parole chiave: paesaggi geoarcheologici, archeologia industriale, Abruzzo

Key words: geoarchaeological landscapes, industrial archaeology, Abruzzo

INTRODUZIONE

Lo studio dei paesaggi geoarcheologici si inserisce nel contesto di una crescente attenzione scientifica verso l'interazione storica tra uomo e ambiente, rivelando come i processi naturali e le attività antropiche abbiano contribuito alla trasformazione dei territori nel corso del tempo. In particolare, l'Abruzzo, regione caratterizzata da una grande varietà geologica e storica, rappresenta un esempio unico per l'analisi di questi paesaggi. Le sue risorse naturali, come i depositi calcarei, le risorse idriche, i minerali, e il suo particolare contesto morfologico, hanno fatto sì che questo territorio fosse abitato e sfruttato fin dalle epoche più antiche, lasciando tracce che spaziano dall'età preromana fino alle attività proto-industriali e industriali (DI GIOSAFFATTE *et al.*, 2009; CECCARONI, 2015).

L'Abruzzo si distingue anche per l'introduzione di pratiche industriali che, a partire dal XVIII secolo, hanno portato a una radicale trasformazione del paesaggio. Questo fenomeno si inserisce nel più ampio campo dell'archeologia industriale, una disciplina relativamente recente che si occupa di studiare le strutture e i siti industriali per comprenderne l'organizzazione tecnologica e l'impatto sociale e ambientale. Secondo HUDSON (1963), l'archeologia industriale ha il compito di analizzare sia i reperti materiali sia i paesaggi che ne derivano, interpretandoli come testimonianza delle dinamiche economiche e culturali di una società.

Negli ultimi decenni, l'archeologia industriale ha subito un'evoluzione importante, grazie all'integrazione con la geoarcheologia, una disciplina che applica le tecniche geologiche allo studio dei siti archeologici (BUTZER, 1982). Questo approccio integrato permette di comprendere non solo i processi produttivi, ma anche il ruolo della geologia locale nello sviluppo delle attività umane. Come evidenziato da Wilkinson (2003), lo studio geoarcheologico di un paesaggio industriale può rivelare le dinamiche di sfruttamento delle risorse naturali e l'impatto delle attività umane sull'ambiente circostante.

L'Abruzzo offre numerosi esempi di paesaggi geoarcheologici che testimoniano questa interazione tra risorse geologiche e attività antropiche. Le miniere di ferro di Valle

dell'Orta a Manoppello, per esempio, rappresentano un caso di archeologia industriale inserito in un contesto geologico di rocce sedimentarie e formazioni calcaree, sfruttato già in epoca medievale e successivamente in età moderna. Il caso di Lama dei Peligni, con le sue fucine tradizionali attive dal XVIII secolo, evidenzia invece come la lavorazione dei metalli fosse influenzata dalla presenza di corsi d'acqua e di rocce calcaree, necessarie per l'alimentazione dei mantici idraulici (CECCARONI, 2015). Questi esempi mostrano come i processi produttivi abbiano modificato il paesaggio, portando alla costruzione di strutture e infrastrutture che oggi costituiscono un patrimonio storico-archeologico di rilevante valore.

La crescente pressione antropica sul paesaggio ha portato anche a trasformazioni più profonde e durature, che si riflettono nel concetto di Antropocene (CRUTZEN, 2002), un'epoca geologica proposta per descrivere l'impatto globale dell'uomo sulla Terra. In Abruzzo, tale impatto è evidente nei cambiamenti idrografici, nell'urbanizzazione di zone montane e costiere e nell'alterazione dei processi sedimentari, spesso conseguenze di pratiche industriali e agricole (DI GIOSAFFATTE *et al.*, 2009). La creazione di bacini artificiali, l'estrazione mineraria e l'industrializzazione dei corsi d'acqua sono tutti fenomeni che contribuiscono alla formazione di un paesaggio "artificiale", che ingloba elementi naturali e culturali in un'unità complessa.

Un approccio geoarcheologico permette di leggere queste trasformazioni in maniera interdisciplinare, considerando sia gli aspetti geologici sia quelli culturali e tecnologici, e di comprendere come la storia industriale e artigianale dell'Abruzzo sia inscindibile dal contesto fisico-ambientale in cui essa si è sviluppata.

LA EX CONCERTIA DI BUSSI SUL TIRINO: ARCHEOLOGIA INDUSTRIALE E STRATIFICAZIONE STORICA

La Ex Conceria di Bussi sul Tirino rappresenta un esempio significativo di archeologia industriale in Abruzzo, dove l'elemento naturale e quello umano si fondono in un paesaggio unico. Costruita nel XIX secolo, la conceria sfruttava l'abbondanza di acqua del fiume Tirino, essenziale per il



FIGURA 1. Mura ciclopiche di Alanno (PE).

processo di concia, che richiedeva quantità significative di risorse idriche per ammorbidire le pelli e penetrare i tannini (CECCARONI, 2015). Questo fiume attraversa un'area di affioramenti calcarei e formazioni carsiche, che favoriscono la presenza di sorgenti e grotte, creando un sistema naturale di risorse idriche che permise alla conceria di prosperare.



FIGURA 2. Mulino di Alanno (PE).

Oltre alle strutture ottocentesche, la conceria presenta tracce architettoniche di epoca medievale e romana, come archi e pavimentazioni, che rivelano un uso continuativo del sito. La stratificazione storica qui presente consente di studiare come l'attività produttiva sia evoluta adattandosi al contesto geologico e alle risorse del territorio. La Ex Conceria di Bussi costituisce quindi un raro esempio di continuità storica di sfruttamento delle risorse, in cui l'acqua delle sorgenti naturali è stata il motore di ogni epoca di sviluppo.

LE MURA MEGALITICHE E GLI ANTICHI MULINI DI ALANNO: PAESAGGI PREROMANI E PROTOINDUSTRIALI

A Alanno, il complesso megalitico (Fig. 1) e gli antichi mulini (Fig.2) costituiscono un'altra importante testimonianza dei paesaggi geoarcheologici dell'Abruzzo.

Le mura megalitiche risalgono all'età preromana e furono costruite con blocchi di pietra locale, come il calcare e l'arenaria, che si prestavano a una lavorazione resistente e duratura. Queste fortificazioni, oltre a svolgere una funzione difensiva, riflettono l'abilità delle popolazioni italiche di sfruttare le risorse del luogo e l'ambiente naturale (DI GIOSAFFATTE *et al.*, 2009).

Accanto a queste mura si trovano mulini ad acqua, risalenti al XVIII e XIX secolo, che rappresentano esempi di archeologia proto-industriale. Alimentati da corsi d'acqua locali, i mulini sfruttavano l'energia idraulica per azionare le macine e produrre farine, elemento essenziale per l'economia agricola dell'epoca. L'intero sito testimonia la capacità delle comunità rurali di utilizzare le risorse naturali per migliorare le proprie condizioni di vita, ottimizzando l'uso dell'acqua in un contesto di affioramenti rocciosi calcarei e arenacei che caratterizzano l'area di Alanno (CECCARONI, 2015). Oggi, queste strutture offrono un'opportunità unica per studiare come le tecniche di costruzione si siano

adattate al contesto geologico, permettendo lo sviluppo di un'economia basata su risorse rinnovabili.

LE MINIERE DI FERRO DI VALLE DELL'ORTA: UN PAESAGGIO DI ARCHEOLOGIA INDUSTRIALE TRA GEOLOGIA E SFRUTTAMENTO MINERARIO

La Valle dell'Orta, situata a Manoppello, ospita una delle più importanti aree minerarie della regione, con miniere di ferro attive fino al XX secolo. Il sito è particolarmente interessante dal punto di vista geoarcheologico per la sua collocazione in una zona ricca di rocce sedimentarie e calcaree, che hanno favorito l'accumulo di minerali di ferro. La presenza di insediamenti di epoca romana e medievale nelle vicinanze indica come le risorse della valle siano state sfruttate in modo continuativo, adattando l'attività mineraria alle esigenze delle diverse epoche (WILKINSON, 2003). La conformazione del terreno ha facilitato la costruzione di gallerie e cunicoli, permettendo un accesso più semplice ai giacimenti di ferro. Come sottolinea BUTZER (1982), lo studio dei siti minerari in un contesto geologico permette di comprendere le dinamiche di sfruttamento delle risorse e il loro impatto sul paesaggio. Le miniere di Valle dell'Orta sono un esempio di sfruttamento sostenibile delle risorse naturali, ma anche di come le attività umane possano alterare in modo significativo il territorio, portando alla formazione di un paesaggio industriale che riflette l'evoluzione tecnologica e culturale delle comunità locali.

LE ANTICHE FUCINE DI LAMA DEI PELIGNI: TRADIZIONE METALLURGICA E CARISMO NELLA MAIELLA

Situate ai piedi della Maiella, le antiche fucine di Lama dei Peligni testimoniano la tradizione metallurgica abruzzese, utilizzando tecniche che risalgono al Medioevo. Le fucine sfruttavano la forza dell'acqua per alimentare i mantici e i magli, permettendo la lavorazione del ferro, elemento fondamentale per la produzione di utensili e oggetti di uso quotidiano (Fig. 3).



FIGURA 3. Il ponte di ferro di Lama dei Peligni (CH).

Il contesto geologico della Maiella, caratterizzato da rocce calcaree e dolomitiche, ha favorito il fenomeno del carsismo, creando sorgenti che rifornivano d'acqua le fucine (CECCARONI, 2015). La presenza di resti di epoca romana nelle vicinanze indica che questa zona fu utilizzata per scopi produttivi sin dall'antichità, creando un continuum tra storia e geologia. Le rocce calcaree della Maiella, sottoposte a fenomeni di erosione e dissoluzione, hanno creato un paesaggio ricco di grotte e sorgenti, che alimentavano i fiumi e i torrenti necessari per il funzionamento delle fucine. Questo sito rappresenta un esempio di adattamento dell'industria premoderna alle risorse naturali, e il carsismo ha contribuito a modellare un paesaggio unico, dove la natura e le attività umane si integrano in un contesto che attira oggi appassionati di speleologia e di storia industriale (DI GIOSAFFATTE *et al.*, 2009).

L'IMPATTO DELLE ATTIVITÀ UMANE E L'IMPORTANZA DELLA GEOARCHEOLOGIA

Questi paesaggi geoarcheologici abruzzesi offrono una prospettiva unica su come le comunità locali abbiano saputo sfruttare le risorse geologiche, adattando le attività produttive al contesto naturale. I siti di archeologia industriale dell'Abruzzo, dalla lavorazione del cuoio alla metallurgia, dall'estrazione mineraria alla molitura dei cereali, dimostrano come l'interazione tra uomo e territorio abbia plasmato il paesaggio in modi che sono ancora visibili oggi. Il concetto di Antropocene proposto da CRUTZEN (2002) ci aiuta a interpretare l'impatto dell'uomo sul pianeta, e in Abruzzo tale impatto è evidente nelle modifiche idrografiche, nei cambiamenti sedimentari e nella creazione di paesaggi culturali che incorporano elementi naturali e artificiali. La valorizzazione di questi paesaggi geoarcheologici rappresenta un'opportunità per preservare un patrimonio che riflette l'identità storica e culturale della regione, oltre a fornire un modello per studi interdisciplinari che combinano archeologia, geologia e storia dell'economia. La geoarcheologia, infatti, offre un quadro di riferimento per interpretare i segni del passato industriale e artigianale, restituendo una lettura completa del territorio abruzzese come un palinsesto di storie, tecniche e risorse (Hudson, 1963; BUTZER, 1982).

BIBLIOGRAFIA

- BUTZER K. W. (1982). *Archaeology as Human Ecology: Method and Theory for a Contextual Approach*. Cambridge University Press.
- CECCARONI, E. (2015). *Paesaggi industriali d'Abruzzo*. Carabba Editore.
- CRUTZEN P. J. (2002). *Geology of Mankind*. Nature.
- DI GIOSAFFATTE N. *et al.* (2009). *Storia e paesaggi dell'Abruzzo industriale*. Edizioni Menabò.
- HUDSON K. (1963). *Industrial Archaeology: An Introduction*. J. Baker.
- WILKINSON T. J. (2003). *Archaeological Landscapes of the Near East*. University of Arizona Press.

Il contratto di fiume nella regione Abruzzo: uno strumento di governace per il futuro

The river contract in Abruzzo: a governance tool for the future

PIERPAOLO PESCARA¹, SABRINA DI GIUSEPPE², PATRIZIO SCHIAZZA³, ENDRO MARTINI⁴

¹Direttore Dipartimento Ambiente e Territorio Regione Abruzzo

²Dirigente Servizio Gestione e Qualità delle Acque

³Consulente DPC024 Regione Abruzzo

⁴Coordinatore Nazionale Area Tematica Contratti di Fiume per SIGEA-APS

E-mail: pierpaolo.pescara@regione.abruzzo.it (P. Pescara), sabrina.digiuseppe@regione.abruzzo.it (S. Di Giuseppe), p.schiazza@gmail.com (P. Schiazza), endromartini@gmail.com (E. Martini)

Parole chiave: Fiume, Governance, Partecipazione, Riqualificazione, Territori

Key words: River, Governance, Participation, Redevelopment, Territories

INTRODUZIONE

Il Contratto di Fiume costituisce un atto di impegno condiviso da parte di diversi soggetti pubblici e privati, a vario titolo interessati ai corsi d'acqua (e ai sistemi idrografici a questi connessi, quali falde, foci, coste, laghi, aree umide, ecc.), che - attraverso l'individuazione di una comune visione e modalità di lavoro e di azione - si prefigge l'intento di perseguire la riqualificazione ambientale e la rigenerazione socio-economica sostenibile del sistema fluviale. Dal punto di vista amministrativo, si configura come un processo di programmazione negoziata che, in coerenza con la pianificazione vigente e nel rispetto delle competenze specifiche dei vari attori territoriali, consente di portare a sistema le diverse istanze che ruotano intorno al sistema fluviale in una visione unitaria, in una *governance* integrata e in un'azione coordinata.

Il Contratto di Fiume contribuisce a raggiungere gli obiettivi delle Direttive Europee sulle Acque (2000/60/CE), sulle Alluvioni (2007/60/CE) e sugli Habitat (92/43/CEE), supportando e promuovendo politiche e iniziative volte a consolidare comunità fluviali resilienti, riparando e mitigando le pressioni dovute ai cambiamenti climatici e anche a decenni di urbanizzazione spesso incontrollata. L'articolo 68-bis del Codice dell'Ambiente così definisce lo strumento: «*I Contratti di Fiume concorrono alla definizione e all'attuazione degli strumenti di pianificazione di distretto a livello di bacino e sottobacino idrografico, quali strumenti volontari di programmazione strategica e negoziata che perseguono la tutela, la corretta gestione delle risorse idriche e la valorizzazione dei territori fluviali, unitamente alla salvaguardia dal rischio idraulico, contribuendo allo sviluppo locale di tali aree*».

Le prime esperienze di questa tipologia di accordo le abbiamo in Francia con i CONTRATS DE RIVIÈRE, nel 1981 definiti come «uno strumento di gestione territoriale che migliora la qualità e la performance degli ambienti acquatici». Dopo una disseminazione nella regione Vallonia del Belgio, vengono introdotti in Italia all'inizio del 2000

con alcune esperienze pilota in Lombardia e, dal 2007, in Piemonte. Ad oggi in Italia, grazie al supporto fornito dal TAVOLO NAZIONALE CONTRATTI DI FIUME (Fig. 1) vi sono oltre 200 Contratti di Fiume attivi, dei quali 80 sottoscritti e in fase di attuazione.



FIGURA 1. Logo del Tavolo Nazionale Contratti di Fiume.

Tutte le regioni hanno legiferato in materia di CdF e tutte le Autorità di Bacino Distrettuali li richiamano nei propri piani di gestione; i CdF sono presenti nel «Programma di Misure della Strategia Marina italiana Ministero dell'Ambiente (2016); tra il 2018 e il 2023 è stato operativo un Osservatorio Nazionale dei Contratti di Fiume (ONCdF) istituito presso il MATTM oggi MASE (con Decreto del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare n.77 del 08-03-2018) nel quale il TNCdF è stato membro del Comitato d'Indirizzo; i CdF sono stati oggetto di due risoluzioni parlamentari nella Commissione Ambiente della Camera dei Deputati finalizzate al loro rafforzamento (2017 e 2020); i CdF sono espressamente menzionati nell'Accordo di Partenariato 2021-2027 dell'Italia, del 15 luglio 2022; sono ricompresi in più punti nel testo della SNSvS 2022 (Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile), come anche nel Piano Strategico Nazionale (PSN) della PAC 2023-2027 in vigore dal 01/01/2023 e richiamati nelle fasi preparatorie del Piano di Transizione Ecologica (PTE) e della Strategia Nazionale per la Biodiversità 2030 e ampiamente citati nel Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PPNAC) approvato a dicembre 2023; CdF costituiscono

un valido strumento di cooperazione transnazionale con particolare riferimento ai bacini idrografici transfrontalieri, relativamente anche ai piani di sicurezza, come richiamato dalla Dichiarazione sulla gestione integrata e sostenibile dell'acqua nelle Alpi (XVI Conferenza delle Alpi, 2020) e nell'ambito del Piano di Azione sui cambiamenti climatici 2.0 (XVI Conferenza delle Alpi, 2020); infine nel marzo 2023 tra gli impegni (*commitment*) presentati alla Seconda Conferenza Mondiale sull'Acqua dal MASE uno riguarda l'impegno a sostenere e rafforzare la partecipazione delle comunità locali nella gestione integrata delle risorse idriche, la difesa dai rischi e lo sviluppo sostenibile attraverso i Contratti di Fiume (Fig. 2).



FIGURA 2. Impegno dell'Italia alla Seconda Conferenza Mondiale sull'Acqua - ONU 2023.

I CONTRATTI DI FIUME NELLA REGIONE ABRUZZO

Uno degli esempi di maggiore attività e qualificazione procedurale è indubitabilmente individuabile nella Regione ABRUZZO che, a seguito dell'adesione alla Carta Nazionale dei Contratti di Fiume del 2014 con DGR n° 314 del 29 aprile 2014, ha inteso sviluppare un'attività di diffusione dei livelli di conoscenza della procedura negoziata piuttosto importante così come fotografata da una serie di deliberazioni di giunta regionale ed assemblee regionali che hanno di fatto reso centrale l'infrastruttura immateriale in parola nella programmazione amministrativa e gestionale di decine di Enti locali disseminati nelle 4 province regionali. Un processo di regolamentazione ed istituzionalizzazione certificato dai seguenti atti deliberativi:

- Deliberazione di Giunta Regionale n. 314 del 29 aprile 2014 con la quale la Regione Abruzzo ha aderito alla Carta Nazionale dei Contratti di Fiume (CdF) avviando delle attività di promozione e supporto alla diffusione dei CdF;
- Deliberazione di Giunta Regionale n. 716 del 04/11/2014 con la quale la Regione Abruzzo ha istituito un Gruppo di Lavoro Regionale e dato mandato al medesimo di redigere le Linee Guida Regionali per i Contratti di Fiume;
- Documento "Obiettivi e Linee Guida per la Programmazione Unitaria dei Fondi Comunitari 2014-2020, approvato con Deliberazione di Giunta Regionale n. 37 del 27/01/2014, che individua i Contratti di Fiume quali strumenti per la programmazione e pianificazione di interventi nei bacini idrografici, strumenti allineati con la Direttiva Europea che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque;
- Deliberazione di Giunta Regionale n.° 603 del 14/07/2015 recante ad oggetto "Deliberazione di Giunta Regionale 4 novembre 2014 n.°716 "Contratti di Fiume.

- me. Conferimento incarico di costituzione e coordinamento del Gruppo di lavoro regionale. Provvedimenti";
- Deliberazione di Giunta Regionale del 10/11/2015 n.° 915 recante disposizioni "Contratti di Fiume.- Approvazione dello Schema di Protocollo di Intesa per l'Adesione ai Contratti di Fiume e della Governance dei Contratti di Fiume";
- Deliberazione di Giunta Regionale n.808 del 16 dicembre 2019 recante disposizioni in materia di Contratti di Fiume, cicloturismo e piani paesaggistici;
- Deliberazione della Giunta Regionale n. 319 del 03 giugno 2021 recante dicitura "Programmazione unitaria. Presa d'atto del documento "L'Abruzzo e il PNRR. Il contributo della Regione al rilancio del Paese", del documento "REACT-EU". La proposta della Regione Abruzzo" e adozione del documento "Abruzzo Prossimo -Linee di indirizzo strategico per lo sviluppo sostenibile e l'integrazione dei fondi 2021-30.

IL CAMBIAMENTO

La vera svolta è avvenuta nel corso del 2021 con la DGR n. 590 del 20/09/2021 "*Contratti di Fiume: Analisi status quo, indicazione criteri oggetti per la qualificazione dello stato di avanzamento dei processi, Approvazione schema di Deliberazione e Manifesto di Avvio, Documento Strategico e Piano di Azione e procedure di finanziamento*" con la quale si è dato avvio ad una stagione di analisi e programmazione che ha prodotto tanto una definitiva qualificazione delle esperienze in atto quanto l'avvio di una programmazione di valenza pluriennale che avrebbe poi condotto all'attuazione delle misure previste nei singoli Contratti per i territori fluviali dell'Abruzzo (Fig. 3).

Una strategia che si è articolata in diversi passaggi: riunioni, per provincia di competenza con i Comuni capofila per conoscere lo stato di avanzamento dei CdF, acquisizione documentale a certificazione degli stati di attuazione e articolazione di una scheda analitica dello status quo. In seconda battuta si è provveduto ad emettere un avviso pubblico sul Bura nr 179/2021 ai fini della concessione di un contributo per la redazione dei Documenti Strategici e correlati PFTE/Piani di Azione per un importo di € 350.000,00 andati poi in assegnazione sulla base di una scheda progetto e validazione di requisiti di base (istituzionalizzazione del processo).

A margine dell'istruzione di due graduatorie (Lista A ammessi a finanziamento e Lista B idonei ma non finanziati) si è avuto modo di acquisire nel patrimonio documentale e progettuale regionale la sottoscrizione di 7 Contratti di Fiume (Sangro - Pescara - Aterno - Liri - Tavo/Fino/Saline - Sagittario Alta valle e Sagittario Bassa Piana) con allegati Documenti Strategici-PFTE/Piani di Azione/Report sulla Partecipazione pubblica- sottoscrizione con atto di impegno pubblico e deliberazioni conseguenti e costruzioni di siti CdF *online* dedicati alla pubblicità degli atti e la partecipazione continua di cittadini e portatori di interesse. Nel mese di ottobre 2023 si è poi provveduto, con la Determinazione N. DPC/230 DEL 19/10/2023 e con un ulteriore finanziamento di € 367000,00 allo scorrimen-

114

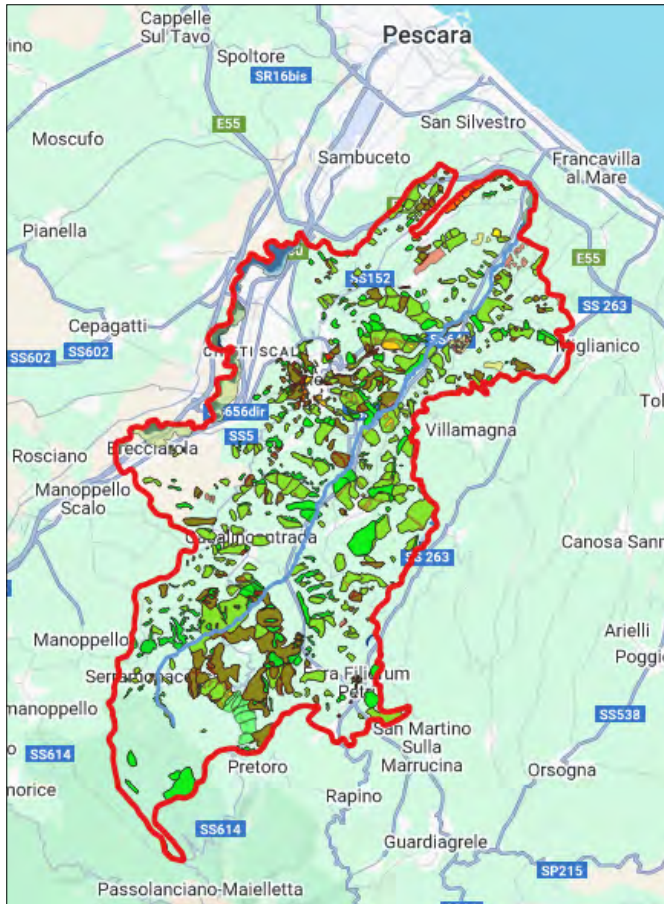


FIGURA 5. Territorio del CdF del Fiume Alento.

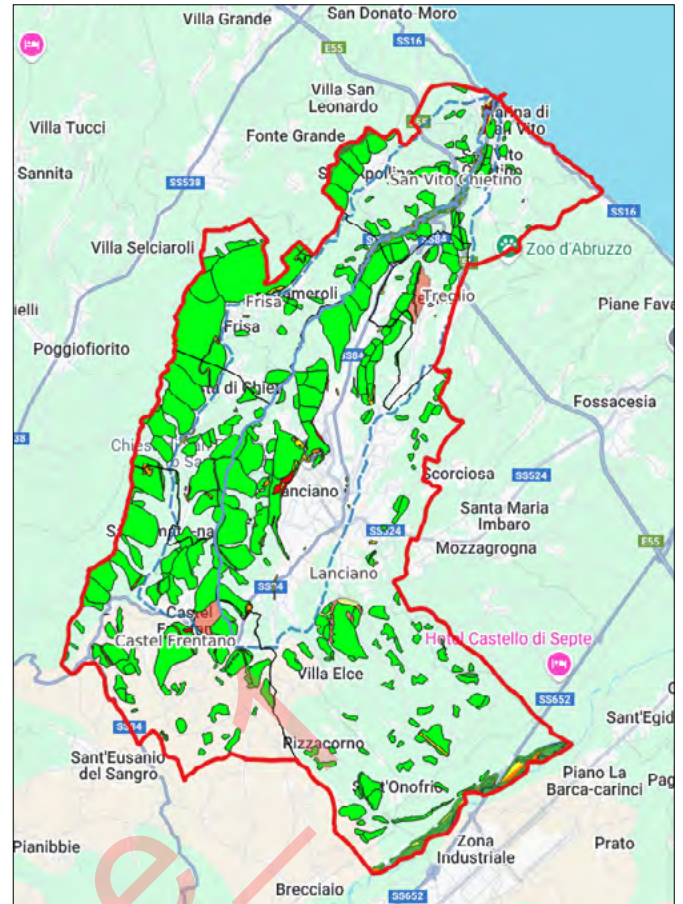


FIGURA 6. Territorio del CdF del Fiume Feltrino.

to della graduatoria e concesso un contributo ai Comuni di Città Sant'Angelo (CdF Piomba, Fig. 4), Bucchianico (CdF Alento, Fig. 5), San Salvo (CdF Trigno), Tagliacozzo (CdF Imele), Pescina (CdF Giovenco), Area Marina Protetta del Cerrano (CdF Cerrano/Calvano/Foggetta/Concio), Lanciano (CdF Feltrino, Fig. 6), Tollo (CdF Arielli), Provincia di Teramo (CdF Tordino) per la redazione del completamento/realizzazione del Piano di Azione (PdA) e dei conseguenti progetti di fattibilità tecnico economica (PFTE).

L'attività di monitoraggio e consulenza effettuato dall'Ufficio DPC024 della Regione Abruzzo ed i livelli di istruzione documentali e partecipazione, ha portato alla data del presente articolo ad avere n. 16 Contratti sottoscritti con relativi Documenti Strategici, PFTE, *Report* Partecipazione, siti ed Atti di Impegno. Accanto a quest'opera di coordinamento e di indirizzo, il Dipartimento Ambiente e Territorio e il DPC024, hanno sviluppato altri due canali di intervento: tavolo di partenariato per assegnazioni fondi della Programmazione Comunitaria 2021/2027 e partecipazione alle attività dell'Osservatorio Nazionale e del progetto dedicato CreiamoPA.

Sotto il primo profilo l'intesa azione di concertazione e la qualificata produzione documentale hanno fatto sì che per l'attuazione delle misure previste nei Documenti Strategici e PFTE venissero assegnati € 40.000.000,00 (quaranta milioni di euro) di FSC 2021/2027 e € 10.000.000,00 (dieci milioni di euro) di FESR 2021/2027 a valere sulle prime annualità. Le somme sono state poi assegnate ai primi sette Contratti di Fiume redatti (Sangro Fig. 7 - Pescara

Fig. 8 - Aterno-Liri-Tavo/Fino/Saline-Sagittario Alta Valle e Sagittario Bassa Piana) con contestuale indicazione delle linee guida per i criteri di utilizzo dei finanziamenti concessi che sinteticamente sono sotto indicati:

1. il finanziamento FESR 2021/2027 riferibile all'Obiettivo di Policy 2, Priorità III - Obiettivo specifico RSO 2.7.2, deve necessariamente informarsi alle descrizioni ed ai target così come definiti nella tabella degli indicatori e conseguentemente i goals da perseguire vanno prevalentemente inquadrati in misure riferibili alla Rete Natura 2000, al recupero dell'ecotono perifluviale, alla costituzione e recupero di corridoi ecologici, alla rinaturalizzazione spondale e ad interventi di riqualificazione areale ed eliminazione fenomeni di pressioni e detrattivi insistenti nel perimetro fluviale. La natura del finanziamento impone la realizzazione di opere ed interventi in grado di dare soddisfazione a problematiche insistenti sul fiume e potenzialmente in grado di ovviare definitivamente a fenomeni detrattivi e/o di pressione sempre e comunque afferenti agli obiettivi fissati dagli indicatori dell'asse finanziario in parola.
2. Il finanziamento FSC 2021/2027 contratti di fiume ha natura di spesa per investimento e quindi, de iure e de facto, contiene in nuce l'individuazione delle azioni possibili che dovranno caratterizzarsi prevalentemente in azioni di completamento di eventuali misure inquadrare nella progettazione FESR di cui al punto precedente, ma che non hanno potuto coprire l'intero fabbisogno territoriale e di contratto. Potranno svilupparsi, a titolo di pura esemplificazione ed esempio, anche in

misure di intervento di bonifica, di sistemazione e messa in sicurezza da fenomeni esondativi interferenti con la rete infrastrutturale viaria e ferroviaria, definire un quadro di intervento di miglioramento degli indici depurativi e/o (Fitodepurazione) di azioni di riqualificazione areale e misure di soddisfazione volte al definitivo superamento degli elementi di pressione indicati nella scheda monografica fluviale di competenza.

Per quanto afferisce invece alla partecipazione alle sessioni dell'Osservatorio nazionale e della Consulta per le Istituzioni, la Regione Abruzzo ha garantito presenza costante, testimonianze di casi guida e fornito indicazioni tecniche per lo sviluppo della Piattaforma Nazionale dei CdF alla quale si è aderito con la DGR DGR n. 752 del 13/11/2023 con oggetto: "Adesione alla piattaforma nazionale dei contratti di fiume – approvazione schema di ac-

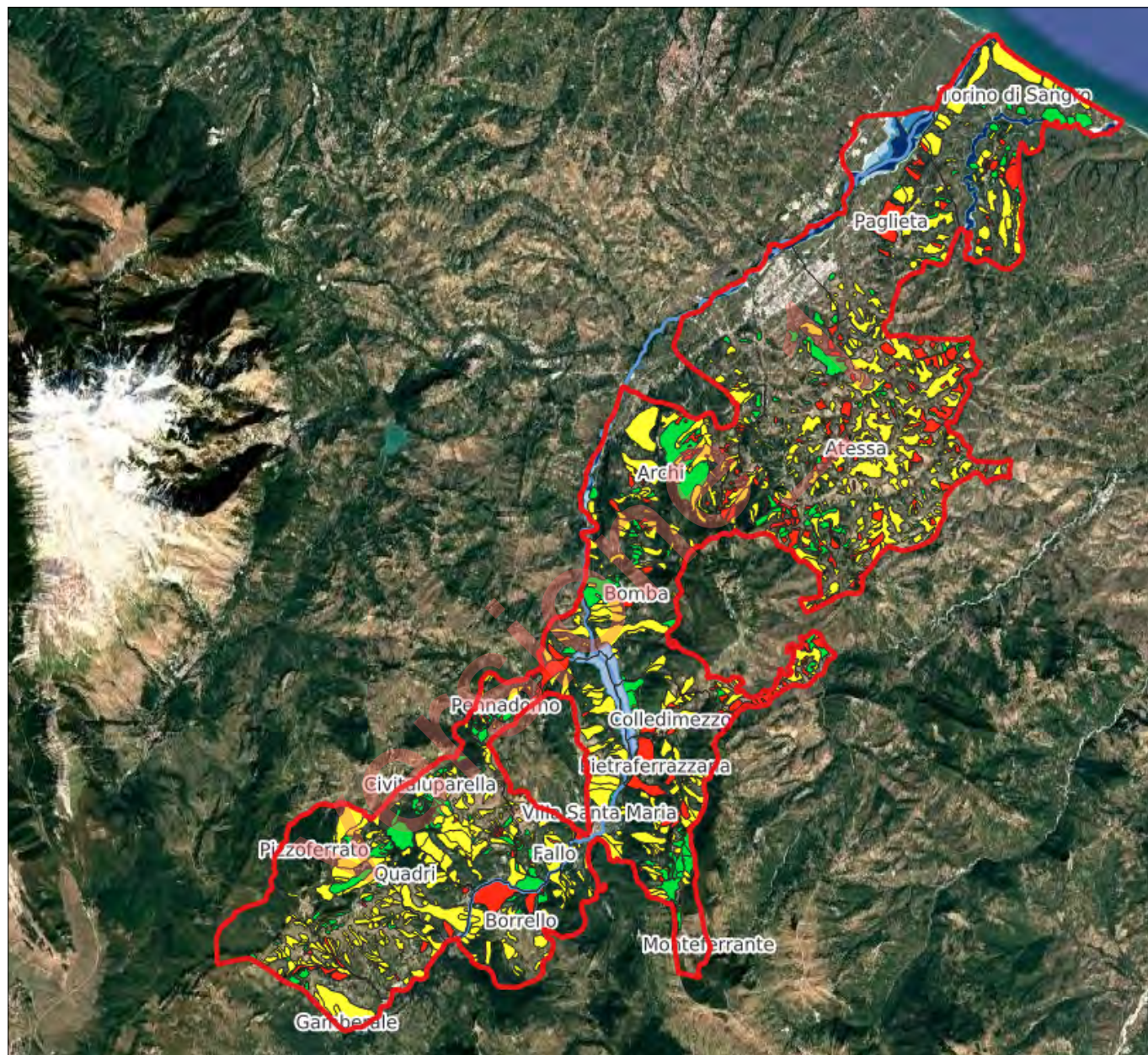


FIGURA 7. Territorio del CdF del Fiume Sangro.

Vale la pena precisare che l'intero quadro delle misure indicate è stato poi parametrizzato e finalizzato al PTA regionale del quale il Contratto di Fiume viene considerato strumento attuativo ed elemento qualificante della programmazione nel medesimo Piano di Tutela delle Acque. Si sottolinea, inoltre, che, a tal fine, è stato chiesto ai Comuni capofila dei finanziamenti di prevedere una partecipazione ampia alla costruzione dei processi strategici ed attuativi così da poter disporre anche di elementi implementativi e conoscitivi per la rimodulazione delle schede monografiche dei fiumi.

cordo, ai sensi dell'art. 15 della legge n. 241/90 e ss.mm.ii., con il ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica (MASE) - direzione generale uso sostenibile del suolo e delle risorse idriche, per l'utilizzo della piattaforma nazionale dei contratti di fiume.

Nel corso del 2023 si è anche svolta la VI^a Assemblea Regionale dei CdF e per l'ultimo trimestre 2024 è prevista la VII^a sessione di confronto generale in vista anche di una piattaforma regionale che raccolga e coordini le informazioni contenute sui siti finanziati con la DGR nr 590/2021 e conseguenti determinazioni dirigenziali.

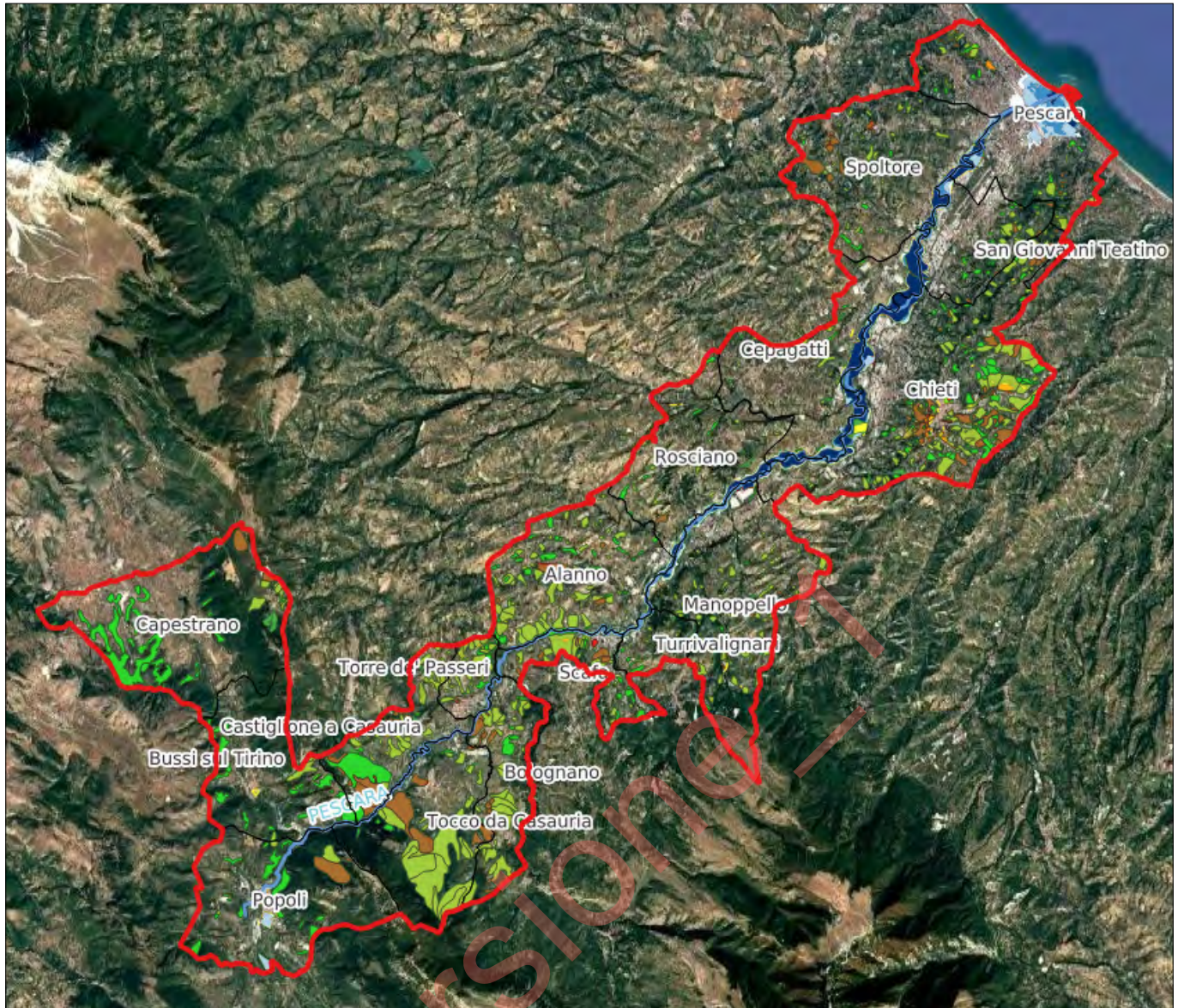


FIGURA 8. Territorio del CdF del Fiume Pescara.

La strategia programmatica ed operativa sui Contratti di Fiume voluta dal Vice Presidente Emanuele Imprudente, in combinato disposto alla Direzione Ambiente e Territorio coordinata dall'Arch. Pierpaolo Pescara, e la proficua e costante collaborazione garantita dalla Dirigente del DCP024- Servizio Qualità Acque Interne Dott.ssa Sabrina Di Giuseppe e dal Responsabile dell'Ufficio Dott. Giammaria Giancaterino, hanno permesso alla Regione Abruzzo di assumere un ruolo guida ed un posto di rilievo nel panorama nazionale e consentito di avanzare gli equilibri di tutela e riqualificazione fluviale in vista dei target previsti dalle Direttive europee di settore.

CONCLUSIONI

In conclusione si evidenzia che la piattaforma programmatica e progettuale in disposizione aprirà la strada a forme di partenariato diffuso e inaugurerà un percorso di progettazione in interconnessione con altri assi finanziari e con modelli di governance su scala regionale. L'attuazione, quindi, dei principi cardine della transizione ecologica in chiave partecipata e diffusa e resa concretamente operativa grazie ad una collaudata sinergia operativa interistituziona-

le. Le immagini che seguono (Fig. 9, Fig. 10) testimoniano la "Governance Partecipativa" che lo strumento del Contratto di Fiume ha attivato in Regione Abruzzo.

SITOGRAFIA

<https://www.cdfabruzzo.it/>

Il dissesto geo-idrologico dopo gli eventi sismici e le nevicate del gennaio 2017 in Abruzzo

Geo-hydrological instability after the january 2017 earthquakes and snowfall in Abruzzo

NICOLA SCIARRA, MASSIMO MANGIFESTA

Dipartimento di Scienze – Università degli Studi di Chieti-Pescara

E-mail: nicola.sciarra@unich.it

Parole chiave: DGPV, Frane complesse, Sequenza sismica 2016-2017 in Abruzzo

Key words: DsGSD, Complex Landslides, Seismic Sequence 2016-2017 in Abruzzo

ABSTRACT

Il periodo compreso tra l'agosto 2016 ed il febbraio 2017 è stato, per il territorio abruzzese, tra i più drammatici per il susseguirsi di eventi naturali catastrofici di notevole impatto su persone e cose che hanno severamente impegnato i sistemi di protezione civile regionali e nazionali. Al susseguirsi di eventi sismici già di per sé traumatici si sono aggiunte le eccezionali nevicate del gennaio 2017 che hanno ulteriormente aggravato una situazione già ampiamente compromessa. Il presente articolo vuole mettere in evidenza alcuni aspetti relativi, in particolare, ad alcuni fenomeni gravitativi, i più importanti, sui quali sia il mondo scientifico sia quello amministrativo locale, regionale e nazionale hanno operato al fine di studiarne le cause e mitigarne gli effetti. I casi di studio citati si riferiscono a differenti tipologie di frana, tutte comunque indotte direttamente o indirettamente dagli scuotimenti sismici.

INTRODUZIONE

Tra l'agosto 2016 e il febbraio 2017 una serie di eventi naturali estremi (sismici e nivo-pluviometrici) si è abbattuta sul territorio abruzzese causando forti disagi ma soprattutto la perdita di vite umane e di parte del patrimonio socio-economico. La ben nota sequenza sismica del 2016-2017, definita anche sequenza sismica Amatrice-Norcia-Visso, ha avuto inizio nell'agosto 2016 con una forte scossa il giorno 24, di magnitudo 6.0, con epicentro situato lungo la Valle del fiume Tronto, tra i comuni di Accumoli (RI) e Arquata del Tronto (AP) (SISMIKO WORKING GROUP, 2016; ROSSI *et al.*, 2019). Altre due forti scosse si sono susseguite il 26 ottobre 2016 con epicentri tra l'Umbria e le Marche, in provincia di Macerata, di magnitudo 5.4 e 5.9. La scossa più importante si registrò il 30 ottobre (magnitudo 6.5) con epicentro a Norcia (PG). Il 18 gennaio 2017 si sono ulteriormente riscontrate altre numerose scosse simiche di cui 4 con magnitudo superiore a 5. I dati relativi alle sole sequenze simiche sono drammatici con 303 morti, oltre 380 feriti e 41.000 cittadini trasferiti. La sequenza sismica del 18 gennaio 2017 si registrò in concomitanza di una eccezionale nevicata, iniziata il 17 gennaio, che ha bloccato gran parte delle attività di soccorso da dover essere attuate da parte degli organi di protezione civile e delle ammini-

strazioni locali. La contemporaneità degli eventi sismici con le eccezionali precipitazioni pluvio-nivometriche hanno innescato o hanno concorso ad innescare importanti e complessi fenomeni di frana. In particolare, ci si soffermerà su alcuni fenomeni gravitativi sismoindotti, di differente tipologia, la cui importanza e complessità hanno comportato l'emanazione di una Ordinanza Speciale, da parte del Dipartimento Nazionale di Protezione Civile, che equiparerà i danni sui beni immobili dovuti al sisma a quelli dovuti a fenomeni franosi sismoindotti. Si tratta dell'Ordinanza n. 21 del marzo 2017 relativa a "*Interventi urgenti di protezione civile conseguenti agli eccezionali fenomeni meteorologici che hanno interessato il territorio della Regione Abruzzo a partire dalla seconda decade del mese di gennaio 2017*" (GU n.78 del 03-04-2017).

1. AREA DI STUDIO

L'area di studio è compresa nel territorio nord-occidentale della provincia di Teramo la più colpita da fenomeni franosi. In Figura 1 sono ubicati solo alcuni dei fenomeni studiati con riferimento ai capoluoghi colpiti.

L'area è principalmente interessata dalla Formazione della Laga, importante unità geologica dell'Appennino centrale, formatasi durante il Miocene superiore in un bacino di avanfossa (MILLI *et al.* 2007). Nel bacino si sono depositati sedimenti terrigeni caotici provenienti da correnti torbiditiche dando origine a strati caratteristici di arenarie, marne e argilliti, tipici degli ambienti marini profondi. Un evento importante nella sua evoluzione è stata sicuramente la crisi di salinità messiniana, che ha determinato un forte abbassamento del livello del mare e la formazione di ampie zone di evaporazione. Questo ha portato alla deposizione di grandi quantità di gesso e altre evaporiti, suddividendo la formazione in tre membri stratigrafici principali: il Membro Pre-Evaporitico, con sedimenti torbiditici precisi; il Membro Evaporitico, ricco di minerali evaporitici come il gesso; e il Membro Post-Evaporitico, che segna il ritorno a condizioni marine più profonde. La tettonica che ha contraddistinto l'area è rappresentata dall'evoluzione del sistema Catena-Avanfossa dell'Appennino centrale e che ha caratterizzato la formazione della struttura della Montagna dei Fiori-Montagnone (MFM) e la struttura di Bellante-

Cellino (SBC), scomposte in elementi tettonici minori separati da sovrascorrimenti secondari. La variabilità litologica della Formazione della Laga (MILLI *et al.* 2004) è uno degli aspetti più rilevanti per comprendere la sua risposta sia in relazione ai fenomeni sismici sia in relazione agli eventi franosi. Dal punto di vista sismico, la composizione geo-litologica gioca un ruolo fondamentale negli effetti di sito. L'alternanza di strati di arenarie e marne argillose con differenti impedenze sismiche determina fenomeni di amplificazione dell'intensità dello scuotimento, con effetti di focalizzazione dell'energia in superficie. La presenza di superfici di discontinuità tra le diverse litologie può comportare un significativo incremento dell'intensità sismica, specialmente in aree con una morfologia accentuata, come crinali o valli. Inoltre, l'orografia del terreno, modellata dall'erosione differenziale dei materiali, gioca un ruolo importante negli effetti delle amplificazioni topografiche, in cui le aree elevate o concave possono subire un'intensificazione del movimento sismico, con effetti negativi sulla stabilità delle strutture sovrastanti.

Dal punto di vista geotecnico, la stratificazione litologica rappresenta una condizione predisponente per l'instabilità dei versanti. L'alternanza tra strati più competenti, come le arenarie, e strati più deboli e facilmente erodibili, come le marne argillose, crea una struttura che può facilmente essere soggetta a fenomeni di frana. Le marne argillose, in particolare in condizioni di saturazione, tendono a perdere la loro caratteristica coesiva, riducendo significati-

vamente la resistenza meccanica e fungendo da superficie di scivolamento per gli strati superiori più rigidi o per il terreno superficiale. Questo fenomeno è particolarmente accentuato in seguito a periodi di intense precipitazioni o scioglimento nevoso, che causano una rapida saturazione dei terreni e una maggiore suscettibilità a fenomeni di erosione e di frana. Studi e dati provenienti da database nazionali e regionali, mostrano che le formazioni appartenenti al ciclo della Laga sono frequentemente coinvolte in fenomeni di instabilità, la cui tipologia, colate di fango, frane roto-traslative, crolli di versante, sono funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali coinvolti. Questi eventi sono particolarmente comuni nelle aree dove le marne argillose sono prevalenti e dove la morfologia del terreno, caratterizzata da pendenze ripide, ne favorisce l'evoluzione. La fragilità geotecnica del flysch richiede, quindi, un'attenta valutazione dei rischi associati, sia per la gestione del territorio sia per la pianificazione urbanistica, al fine di prevenire danni alle infrastrutture e alle comunità locali.

In sintesi, il flysch di Teramo rappresenta una formazione geologica complessa e di grande rilevanza sia per l'aspetto sismico che per quello geotecnico. La sua eterogeneità litologica, che alterna strati di arenarie e marne argillose, determina una risposta complessa alle sollecitazioni esterne ed una notevole suscettibilità a fenomeni di instabilità dei versanti. Le tipologie franose riscontrate sono, quindi, fortemente condizionate dalle litologie presenti che dalla fascia pedemontana a quella montana sono caratterizzate

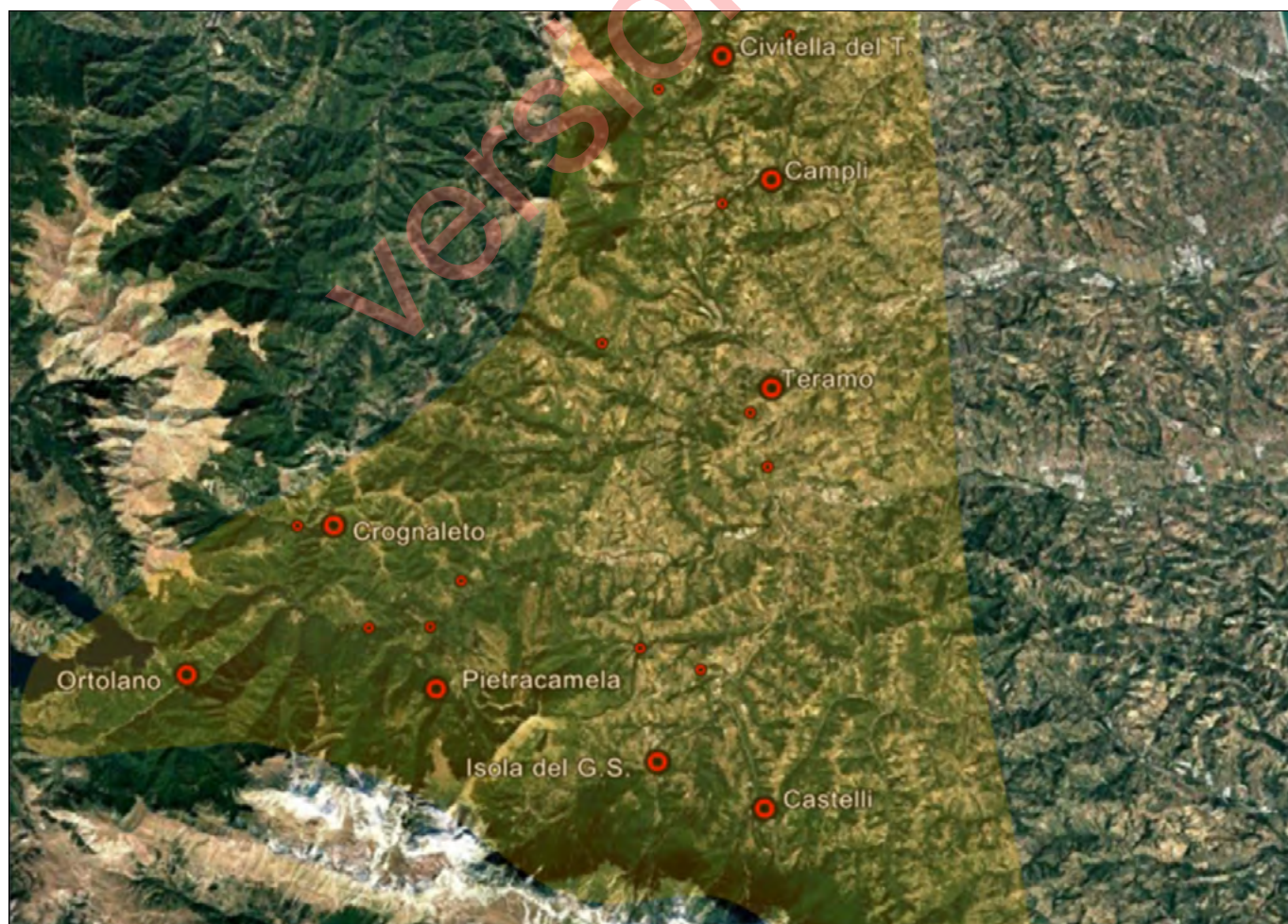


FIGURA 1. Individuazione dell'area di studio con l'ubicazione delle principali frane indagate.

dalla presenza di sedimenti limoso-argillosi, detritici anche consolidati e lapidei fortemente alterati. Come ben chiaro i comportamenti reologici di tali materiali e la loro suscettività a franare a causa di scuotimenti sismici e di saturazione idraulica sono sostanzialmente differenti; da ciò la notevole diversificazione dei fenomeni riscontrati in merito anche alla potenziale pericolosità evolutiva e alla loro estensione.

I casi che si propongono riguardano quattro differenti tipologie di frana: le frane di Ponzano e Borrano di Civitella del Tronto relative a fenomeni con cinematismi roto-traslativi la prima e di deformazione gravitativa profonda la seconda, la frana di Castelnuovo di Campoli relativa ad un fenomeno di crollo detritico e la frana di Tossicia in località Villa Alzano relativa ad un *mudflow*. Non secondari i fenomeni di crollo avvenuti su tutto il territorio del Comune di Crognaleto ed Ortolano dovuti alla intensa fratturazione del flysch arenaceo-marnoso della formazione della Laga. Altri fenomeni di particolare interesse hanno interessato i Comuni di Valle Castellana, Teramo, Isola del Gran Sasso, Pietracamela e Castelli. A causa dei fenomeni sismici e delle intensissime precipitazioni nevose, infine, devono essere menzionate le circa 100 valanghe che si innescarono a partire dalla prima scossa sismica delle ore 10:25 del 18 gennaio 2017 e per tutto l'arco della giornata, tra le quali la drammatica valanga di Rigopiano nel Comune di Farindola che causò 29 vittime (PIACENTINI *et al.*, 2018; TOTANI, 2024).

2. LA FRANA DI PONZANO DI CIVITELLA DEL TRONTO

La frana di Ponzano si colloca nella parte est del Comune di Civitella del Tronto, la cui estensione lo rende il comune più ampio della Val Vibrata nell'entroterra della provincia di Teramo e la cui fisiografia geomorfologica risulta dinamica e diversificata. Il territorio si sviluppa tra dolci colline e imponenti rilievi montuosi, culminando nella Montagna dei Fiori (1814 m s.l.m.), che testimonia una notevole variazione altimetrica (135-1814 metri). La litologia dominante è costituita da sequenze di rocce sedimentarie appenniniche, in particolare arenarie e formazioni arenaceo-marnose. Questi litotipi, meno resistenti all'erosione rispetto ai calcari compatti, sono intensamente modellati dall'azione degli agenti esogeni. Una fitta rete idrografica,

composta da numerosi fossi e corsi d'acqua, incide profondamente i versanti, dando origine a fenomeni di erosione concentrata che plasmano un paesaggio caratterizzato da valli strette e scoscese. Il territorio di Civitella del Tronto è storicamente soggetto a diffusi fenomeni di instabilità, spesso di complessa identificazione. Le frane, favorite dalla litologia e dalle accentuate pendenze, presentano superfici di scorrimento, volumi mobilizzati e geometrie d'innescio variabili, così come eterogenee sono le cause della loro attivazione. Questa predisposizione al dissesto, intrinseca alla geomorfologia locale, deriva dalla complessa interazione tra la geologia strutturale, la natura dei materiali affioranti e la persistente azione degli agenti esogeni. Il risultato è un paesaggio collinare e montano dinamico, segnato da rilievi incisi, valli fluviali e da una continua attività erosiva. Nel gennaio del 2017, il versante orientale dell'Italia centrale, è stato interessato, come già detto, da un forte evento di precipitazione nevosa (oltre 3 m nella zona montana e 1-1.5 m nella zona collinare pedemontana) e dagli ultimi terremoti ($M_w > 5$) della crisi sismica 2016-2017 dell'Appennino centrale. Questa combinazione di eventi ha innescato diversi eventi disastrosi, tra cui la complessa frana di Ponzano. L'abitato di Ponzano è situato a circa 2 km ad est del comune di Civitella del Tronto ed è stato segnato da un imponente evento di instabilità innescatosi nella notte del 12 febbraio 2017. Questo fenomeno ha avuto un impatto devastante sulla piccola comunità, causando l'evacuazione di numerose famiglie e la distruzione di interi nuclei abitativi come la frazione di Villa Carosi (CALISTA *et al.* 2019, ALLASIA *et al.* 2018). La frana ha interessato la sequenza geologica pelitico-arenacea. Il meccanismo di scorrimento prevalentemente traslazionale suggerisce un movimento lungo una superficie di rottura più o meno planare, tipico di frane che coinvolgono sequenze stratigrafiche con caratteristiche di resistenza differenti (Fig. 2).

Il movimento ha evidenziato una notevole velocità, con stime di circa un metro al giorno in alcune fasi, rendendo inefficaci interventi strutturali immediati (Solari *et al.*, 2018). Il fenomeno ha interessato un'area di diverse decine di ettari (oltre 40 ettari stimati), con piani di scivolamento molto profondi. La zona a monte, localizzata in prossimità della Strada Provinciale SP8, presenta un meccanismo



FIGURA 2. Particolari della frana di Ponzano; a sinistra la spalla destra di scorrimento; a destra un tratto a monte della scarpata principale.

di scorrimento rotazionale, in grado di causare un arretramento della sommità della frana e un sollevamento del piede. Procedendo verso valle, nella porzione centrale, la superficie di rottura è stimata a una profondità significativa, intorno ai 35 metri, suggerendo un coinvolgimento di un importante spessore di terreno instabile. La coesistenza di questi due tipi di movimento all'interno della stessa frana indica una complessa interazione tra caratteristiche geomecchaniche dei materiali coinvolti, topografia del versante e cause scatenanti (come l'infiltrazione d'acqua e gli effetti sismici). Lo scorrimento rotazionale nella parte alta ha contribuito a destabilizzare la massa a valle, innescando o alimentando il movimento centrale. La profondità stimata della superficie di rottura e la notevole entità del volume di materiale mobilizzato hanno determinato l'elevato potenziale dell'energia distruttiva del fenomeno stesso.

3. LA FRANA DI BORRANO DI CIVITELLA DEL TRONTO

Sempre nel territorio di Civitella del Tronto, caratterizzato da una diffusa e preoccupante instabilità, manifestata attraverso deformazioni significative che ne hanno segnato profondamente la morfologia, è presente nella porzione più a nord dell'area già descritta di Ponzano, la frazione di Borrano. In questa località, le preesistenti condizioni di instabilità hanno subito un'ulteriore intensificazione in seguito alla crisi sismica del 2016/2017. Questo evento ha scatenato una serie di conseguenze, portando alla luce chiari e inequivocabili precursori tipici di un sistema franoso attivo o potenzialmente tale. Sulla scorta della precedente esperienza dell'abitato di Ponzano, l'area di Borrano è stata oggetto di un'intensa attività di indagine e di monitoraggio al fine di allertare e salvaguardare la popolazione per eventi di accelerazione e/o intensificazione del fenomeno franoso. La stratigrafia riscontrata nella fase di indagine è risultata coerente con la cartografia geologica ufficiale (progetto CARG, Foglio 339-Teramo). È presente una sequenza stratigrafica complessa, tipica di contesti geologici influenzati da dinamiche tettoniche e deposizionali come quella del bacino della Laga. Le litologie comprendono principal-

mente arenarie, sabbie sciolte o scarsamente cementate e intercalazioni marnose. I materiali argilloso-marnosi sono caratterizzati da una moderata plasticità, soprattutto negli strati meno cementati, e da frequenti fratture orientate in modo irregolare, testimonianza di movimenti tettonici passati. Gli strati di arenaria, ben cementati e molto compatti, hanno uno spessore che varia da pochi centimetri a qualche metro. All'interno sono presenti frequenti intercalazioni di calcari marnosi alternati a marne, il cui spessore e l'elevata coesione conferiscono loro una maggiore resistenza rispetto agli strati argillosi adiacenti. La complessa stratigrafia del sottosuolo, fondamentale per la comprensione dell'evoluzione dei versanti e l'analisi delle proprietà geotecniche dei terreni interessati, rivela una litologia articolata. Nella parte meridionale dell'abitato il terreno è prevalentemente costituito da marne argillose, con un progressivo arricchimento in termini di componente arenacea al di sotto dei 60-70 metri di profondità. Spostandosi verso la zona centrale dell'abitato, la litologia si presenta con una distribuzione ciclica di marne alternate a sottili livelli di arenacei, ma con un notevole contenuto di sabbie sciolte nell'intervallo compreso tra i 40 e i 60 metri. Infine, nella parte più settentrionale è presente un'alternanza di materiali arenacei compatti e intercalazioni di marne argillose marnose. Nell'area sono stati installati alcuni inclinometri di profondità le cui misurazioni hanno permesso di monitorare in tempo reale i movimenti del terreno, fornendo informazioni dirette sull'evoluzione dell'area. Le variazioni più importanti sono state registrate a profondità variabili tra 46,9 m e 51,4 m, corrispondenti a superfici di scivolamento molto profonde, suggerendo condizioni attive e in continua evoluzione. L'entità degli spostamenti individua una precisa direzione di movimento (nord-nord-est), indicando spostamenti secondo direzioni preferenziali legate non solo alla geometria delle superfici di scorrimento ma anche alla natura geologica e stratigrafica dei materiali coinvolti. La natura di questo movimento è identificata come Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (MANGIFESTA et. al. 2025). Le zone di maggiore criticità sono strettamente correlate alla presenza di piani di debolezza profondi all'interno del substrato



FIGURA 3. Particolari della frana di Borrano; a sinistra la situazione della zona a valle connessa a scivolamenti e colate superficiali, a destra l'abbassamento di alcuni manufatti nella zona a monte in corrispondenza di una trincea sintomo della presenza di una Deformazione Gravitativa Profonda.

geologico. Questi agiscono come superfici di scivolamento preferenziali, facilitando il movimento della massa rocciosa lungo le pendenze del versante. Questa predisposizione al movimento è significativamente aggravata dalla presenza di una intensa circolazione idrica. L'acqua che si infiltra nel sottosuolo può aumentare la pressione interstiziale, riducendo la resistenza al taglio lungo le superfici di rottura e agendo come lubrificante, facilitando lo scivolamento. Un aspetto geologico fondamentale che contribuisce alla formazione di questi piani di debolezza è rappresentato dal contatto litologico tra unità con proprietà meccaniche nettamente differenti. In particolare, il passaggio tra la facies argilloso-marnosa, caratterizzata comparativamente da una bassa resistenza al taglio e un'elevata deformabilità rispetto alla facies arenacea che presenta una maggiore rigidità e resistenza, crea delle discontinuità strutturali significative.

Questo notevole contrasto nelle proprietà geotecniche genera delle zone di fragilità all'interfaccia tra le due litologie. In determinate condizioni di sollecitazione, queste diventano superfici preferenziali per lo sviluppo di movimenti e deformazioni, concentrando gli sforzi di taglio e innescando o accelerando il processo gravitativo profondo. La dinamica di questi movimenti è caratterizzata da un'evoluzione molto lenta nel tempo con evidenze morfologiche superficiali, come sdoppiamenti di cresta, scarpate multiple e/o fratture di trazione (Fig. 3).

Nonostante l'entità degli spostamenti nel tempo possa apparire piccola se paragonata all'estensione dell'area coinvolta, le deformazioni non sono sempre uniformi sull'intero territorio. Esse presentano una variabilità che dipende da diversi fattori. Tra questi, spiccano le fasi di riattivazione e le lievi accelerazioni che possono verificarsi in seguito a estremi eventi piovosi e/o all'aumento delle sollecitazioni sismiche così come accaduto nel gennaio e febbraio 2017.

4. LA FRANA DI CASTELNUOVO DI CAMPLI

La frana di Castelnuovo di Campi, in provincia di Teramo, rappresenta una tipologia di frana di crollo detritico. Tale fenomeno è del tutto tipico in contesti geologici caratterizzati dalla presenza di scarpate sub-verticali con terreni di natura conglomeratico-alluvionali.



FIGURA 4. Particolare del fronte di distacco della frana caratterizzata da un crollo detritico; si intravedono alcune zone umide lungo la parete. I fabbricati a monte sono stati successivamente demoliti.

Il fenomeno occorso nella notte tra l'15 ed il 16 febbraio 2017 ha coinvolto l'intero versante, partendo da una quota di circa 370 m s.l.m. a circa 310 m s.l.m. ed è delimitato da una corona di frana sub-verticale (Fig. 4). L'evoluzione parossistica è stata inizialmente lenta, permettendo agli abitanti di evacuare le proprie case, poi rapida con un crollo repentino che ha travolto in sommità una serie di fabbricati successivamente demoliti.

L'accumulo del corpo di frana, alla base del versante, ha ostruito l'alveo del fosso Siccagno sbarrandone temporaneamente il corso. L'area è caratterizzata da un rilievo tabulare impostato in depositi alluvionali (Pleistocene medio) reinci e terrazzati (Pleistocene superiore - Olocene) costituiti da alternanze di conglomerati mediamente cementati e sabbie addensate in appoggio su litotipi argilloso-arenacei (depositi marini pliocenici). Il rilievo tabulare è orlato da una scarpata a influenza strutturale impostata sui depositi conglomeratici e interessata da fenomeni franosi e da caduta di detrito (CALISTA *et al.*, 2029). La scarpata si sviluppa sulle direzioni principali dei sistemi di fratturazione WNW-ESE e WSW-ENE. Spostandosi ad ovest, sono stati osservati altri corpi di frana da crollo, attivi, di dimensioni notevolmente inferiori, che si sono verificati nello stesso periodo. Dalle numerose indagini geognostiche eseguite è stata estrapolata la sezione di Figura 5 nella quale è rappresentata la condizione pre-frana e quella post-frana per dare un'idea della quantità di detrito franato tanto da ostruire il fosso Siccagno, coprirlo per oltre 10 m e spostarlo più a sud di circa 20 m. Le cause che hanno scatenato il suddetto fenomeno sono riconducibili alla saturazione delle zone superiori dei depositi alluvionali terrazzati a causa della infiltrazione delle acque di scioglimento della neve che nella zona raggiunse altezze anche superiori ai 2 m.

Il fenomeno è attualmente oggetto di un controllo di monitoraggio costituito da sensori clinometrici a parete automatizzati posizionati su alcuni fabbricati limitrofi alla frana per registrare possibili deformazioni rotazionali degli stessi e di estensimetri multi-base in profondità (rispettivamente posizionati a 12.5 e 25 m) per accertare eventuali cedimenti delle zone a ridosso della frana.

5. LA FRANA DI TOSSICIA

Il caso della frana di Tossicia è rappresentativo di un fenomeno di colata rapida connessa direttamente alle intense precipitazioni nivo-pluviometriche del periodo. La zona di studio è situata a sud degli abitati di Pian del Lago e Alzano nel Comune di Tossicia, in sinistra idrografica del torrente Chiarino. Il versante in frana è suddivisibile in tre zone di cui la prima sommitale pianeggiante o sub pianeggiante, la seconda in una zona centrale a pendenza moderata, la terza zona più a valle, in prossimità del corso d'acqua, ad andamento sub verticale. Il fenomeno ha interessato solo la parte centrale del versante mobilitando alcune centinaia di migliaia di metri cubi di terreno, scivolati verso valle fino ad ostruire il torrente Chiarino. L'enorme accumulo di frana generato mostra una forma molto simile a quella di una conoide (Fig. 6). Il rilevamento geologico ha evidenziato la presenza di un substrato geologico costituito dalla Formazione della Laga (membro

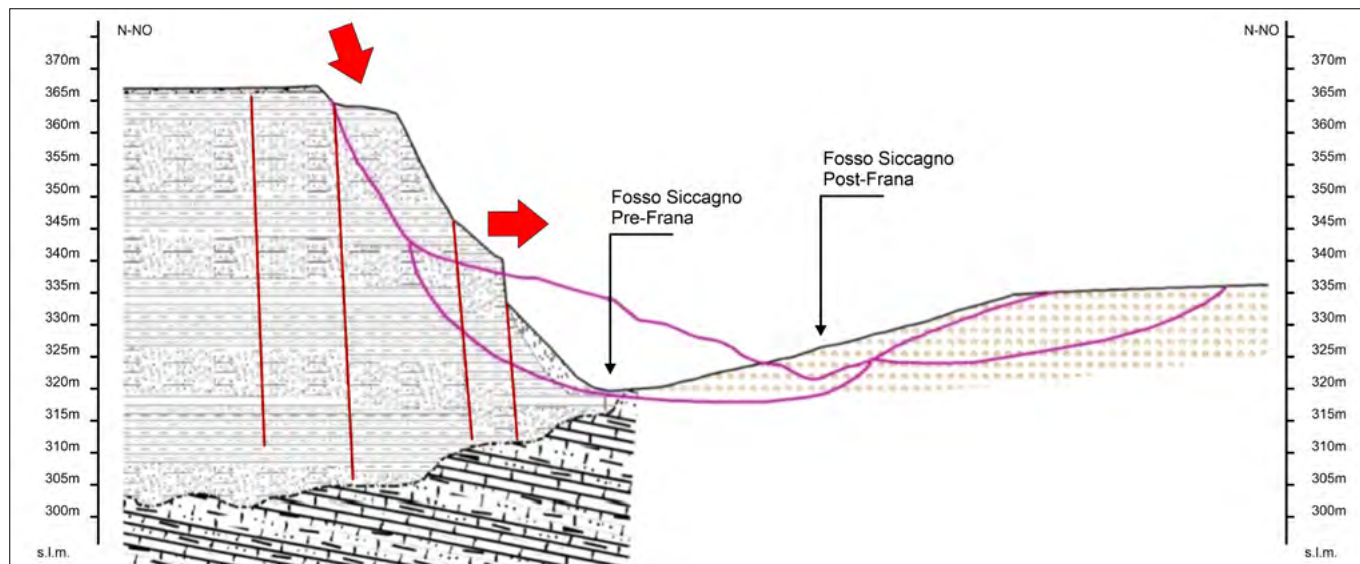


FIGURA 5. Sezione geologica schematica con il particolare della superficie topografia Pre e Post frana ed il conseguente spostamento del Fosso Siccagno.

del Lago di Campotosto con associazione arenaceo-pelitica e/o pelitico-arenacea) affiorante o sub affiorante con strati prossimi alla verticalità e una fascia di coltre eluvio colluviale nella parte medio bassa. Nell'area sono stati eseguiti alcuni sondaggi a carotaggio continuo che hanno dettagliato le caratteristiche del sottosuolo visibili in Figura 7 (MARIANI, 2028). Dall'analisi degli affioramenti si è potuto ricostruire l'andamento stratigrafico che risulta variabile, con inclinazio-

ne degli strati da sub verticale, ad ovest del fenomeno franoso, a circa 60° spostandoci verso est con una pendenza, comunque, superiore a quella del versante. Nel caso specifico, la mobilitazione della massa in frana non si può escludere che abbia avuto una predisposizione all'innescio a causa di un principio di liquefazione che in concomitanza degli eventi sismici può aver inizialmente alterato la struttura dei terreni già di per sé saturi e quindi più aggredibili dalle successive intense precipi-



FIGURA 6. Confronto tra le foto aeree del 2013 e 2017 con indicata la perimetrazione dell'area in frana.

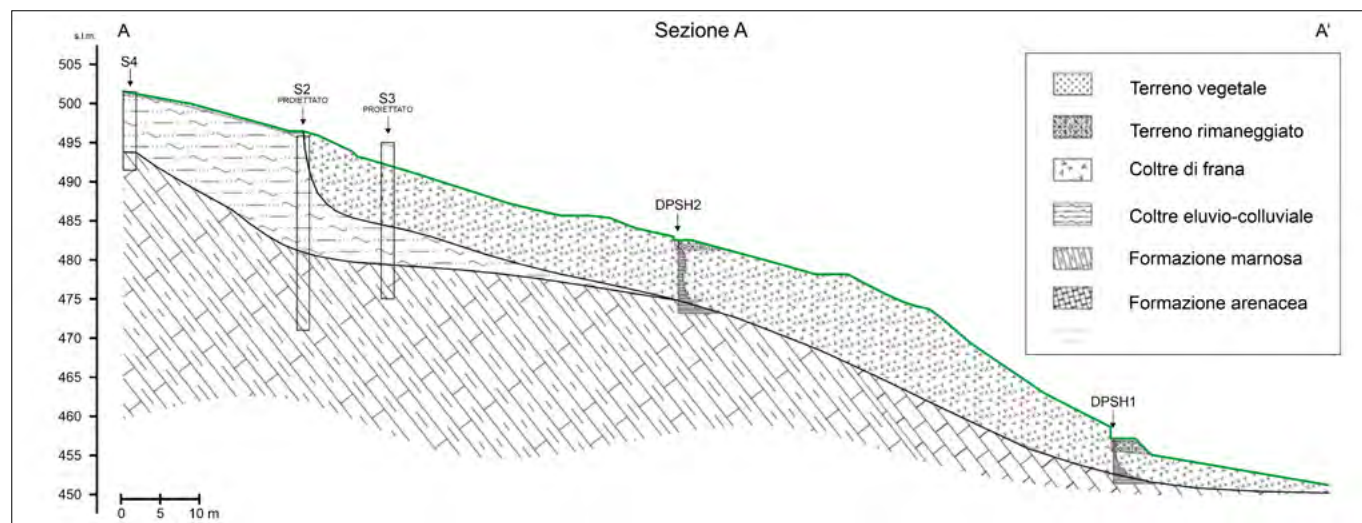


FIGURA 7. Sezione geologica lungo l'allineamento A-A' (da Mariani, 2018 modificata). Si possono notare l'ubicazione dei sondaggi geognostici eseguiti ed alcune verticali relative a prove penetrometriche pesanti DPSH.

tazioni meteoriche. Fenomeni di colata come il caso appena descritto, ma di minore rilievo, sono stati innumerevoli in tutto il territorio interno teramano, devastando in particolar modo il patrimonio agricolo-forestale e le infrastrutture stradali che tuttora evidenziano notevoli disagi.

6. CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha cercato di descrivere sinteticamente le tipologie di frana più interessanti che si sono evolute a seguito degli eventi calamitosi occorsi in Abruzzo nel gennaio-febbraio 2017. Le problematiche affrontate furono molteplici soprattutto per i risvolti socio-economici a causa dei danni subiti da infrastrutture ed abitazioni. La suddetta descrizione, in ogni caso, non può essere ritenuta esaustiva della reale situazione che si verificò. Occorre, infine, sottolineare che il lavoro di studio e di ricerca affrontato è stato molto più ampio e articolato di quello qui descritto e non si sarebbe potuto realizzare senza l'apporto indispensabile e competente dei colleghi dell'Agenzia Regionale di Protezione Civile della Regione Abruzzo che ci hanno supportato in tutte le fasi di indagine.

BIBLIOGRAFIA

- ALLASIA P., BALDO M., GIORDAN D., GODONE D., WRZESNIAK A., LOLLINO G. (2018). *Near Real Time Monitoring Systems and Periodic Surveys Using a Multi Sensors UAV: The Case of Ponzano Landslide*. In *IAEG/AEG Annual Meeting Proceedings, San Francisco, California, 2018 - Volume 1*. Springer International Publishing: Cham, Switzerland, pp. 303–310.
- CALISTA M., MICCADEI E., PIACENTINI T., SCIARRA N. (2019). *Morphostructural, meteorological and seismic factors controlling land-767 slides in weak rocks: The case studies of Castelnuovo and Ponzano (North East Abruzzo, Central Italy)*. *Geosciences*, 9 (3), 122, 768
- MANGIFESTA M., CIAMPI P., GIANNINI L.M., ESPOSITO C., SCALELLA G., SCIARRA N. (2025). *Deep Gravitational Slope Deformation Numerical Modelling Supported by Integrated Geognostic Surveys: The Case of Borrano (Abruzzo Region—Central Italy)*. *Geosciences*, 15, 134.
- MARIANI M. (2018). *Consulenza geologica zona in frana: Opere di mitigazione del fenomeno franoso verificatosi in località case Pian di Lago*, Amministrazione Comunale di Tossicia, settembre 2018.
- MILLI S., MOSCATELLI M., STANZIONE O., GENNARI G., MARINI M. (2004). *Sedimentology and physical stratigraphy of the pre-gypsum arenites deposits of the Laga formation*. In *Proceedings of the Abstract Volume 32nd International Geological Congress, Firenze, Italy, 20–28 August*.
- MILLI S., MOSCATELLI M., STANZIONE O., FALCIONE, F. (2007). *Sedimentology and physical stratigraphy of the Messinian turbidite deposits of the Laga Basin (central Apennines, Italy)*. *Ital. J. Geosci.* 126, 255–281.
- PIACENTINI T., CALISTA M., CRESCENTI U., MICCADEI E., SCIARRA N. (2020). *Seismically Induced Snow Avalanches: The Central Italy Case*. Volume 8. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.599611>
- ROSSI A., TERTULLIANI A., AZZARO R., GRAZIANI L., ROVIDA A., MARAMAI A., PESSINA V., HAILEMIKEL S., BUFARINI G., BERNARDINI F., CAMASSI R., DEL MESE S., ERCOLANI E., FODARELLA A., LOCATI M., MARTINI G., PACIELLO A., PAOLINI S., ARCORACI L., CASTELLANO C., VERRUBBI V., STUCCHI M. (2019). *The 2016-2017 earthquake sequence in Central Italy: macroseismic survey and damage scenario through the EMS-98 intensity assessment*. *Bull. Earthquake Eng.* 17, 2407–2431 (2019).
- SISMIKO WORKING GROUP (2016). *Rapporto preliminare sulle attività svolte dal gruppo operativo SISMIKO a seguito del terremoto di Amatrice Mw 6.0 (24 agosto 2016, Italia centrale)*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.157546>
- SOLARI L., RASPINI F., DEL SOLDATO M., BIANCHINI S., CIAMPALINI A., FERRIGNO F., TUCCI S., CASAGLI N. (2018). *Satellite radar data for 749 back-analyzing a landslide event: the Ponzano (Central Italy) case study*. *Landslides* 15, 773–782.
- TOTANI F. (2024). *Topographic seismic effects and avalanche hazard: A case study of Mount Siella (L'Aquila, Central Italy)*. *Journal of Mountain Science* 21(2), 662-675.

Le discariche in procedura di infrazione nella regione Abruzzo: il commissariamento, la regolarizzazione e la rifunzionalizzazione

Landfills under infringement proceedings in the Abruzzo region: commissioner, regularization and refunctionalization

NINO TARANTINO

Ten. Col. CC, Sub-commissario - Struttura del Commissario unico alle bonifiche

E-mail: nino.tarantino@carabinieri.it

MARIANNA MORABITO

Dott. geol., Componente team esperti - Struttura del Commissario unico alle bonifiche

E-mail: geolmariannamorabito@gmail.com

Parole chiave: discarica abusiva, regolarizzazione, rifunzionalizzazione

Key words: illegal landfill, regularization, reutilization

1. LA PROCEDURA DI INFRAZIONE COMUNITARIA

La procedura di infrazione comunitaria è lo strumento giuridico attraverso cui la Commissione Europea assicura il rispetto del diritto dell'Unione da parte degli Stati membri. Essa è disciplinata dagli articoli 258-260 del Trattato sul Funzionamento dell'Unione Europea (TFUE) e può essere avviata in caso di mancato recepimento di una direttiva, di inadempienza normativa o di contrasto tra le disposizioni nazionali e la legislazione UE (Fig. 1).

La procedura si articola in tre fasi:

1. *Fase pre-contenziosa*, con l'invio della lettera di costituzione in mora, cui lo Stato deve rispondere entro un termine (generalmente di due mesi);
2. *Fase contenziosa*, con l'emissione di un parere motivato e, in caso di mancato adeguamento, il deferimento alla Corte di Giustizia dell'Unione Europea;
3. *Fase sanzionatoria*, che si attiva qualora la sentenza della Corte non venga rispettata, e può comportare sanzioni pecuniarie (sanzione forfettaria e penale giornaliera).



FIGURA 1. Palazzo Berlaymont, importante edificio istituzionale di Bruxelles, sede della Commissione europea.

Tale procedura ha la finalità di garantire l'uniforme applicazione del diritto dell'Unione e di salvaguardare i diritti dei cittadini, attraverso l'effettiva osservanza delle norme comuni (Fig. 2).



FIGURA 2. Lussemburgo: le torri Rocca, Montesquieu e Comenius, facenti parte del Palais della Corte di Giustizia dell'Unione Europea.

2. LA PROCEDURA DI INFRAZIONE “DISCARICHE ABUSIVE”

La procedura di infrazione denominata “Discariche abusive” affonda le sue radici negli anni Ottanta, quando i primi censimenti condotti dal Corpo Forestale dello Stato evidenziarono una diffusa presenza di siti non autorizzati di smaltimento rifiuti sul territorio nazionale. Tali rilievi portarono alla luce gravi violazioni della normativa ambientale, culminate nella sentenza della Corte di Giustizia dell'Unione Europea del 26 aprile 2007 (Causa C-135/05), che condannava l'Italia per la violazione di numerose direttive europee in materia di rifiuti (75/442/CEE, 91/156/CEE, 91/689/CEE e 1999/13/CE).

Nonostante la sentenza, nel 2014 la Commissione Europea riscontrò la persistente inottemperanza dell'Italia, deferendo nuovamente il caso alla Corte.

Con la seconda sentenza del 2 dicembre 2014 (Causa C-196/13), la Corte ha inflitto all'Italia una sanzione forfettaria di 40 milioni di euro e una penalità semestrale di oltre 42 milioni, fino alla completa esecuzione della decisione del 2007.

La sentenza ha stabilito criteri di riduzione della penalità in base alla tipologia e al numero di discariche regolarizzate:

- 400.000 euro per ciascun sito contenente rifiuti pericolosi;
- 200.000 euro per ciascun sito contenente rifiuti non pericolosi.

In totale erano coinvolte circa 200 discariche irregolari distribuite in 18 Regioni italiane, con esclusione della Valle d'Aosta e del Trentino-Alto Adige. La Commissione ha ribadito che la sola cessazione del conferimento non è sufficiente: è necessario accertare l'assenza di inquinamento e, se necessario, procedere alla bonifica ai sensi dell'art. 242 del D.lgs. 152/2006.

Per adempiere agli obblighi europei, il Ministero dell'Ambiente ha attivato una Cabina di Regia presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri, promuovendo interlocuzioni istituzionali e diffide agli enti locali.

Nel marzo 2017, il Governo ha nominato il Gen. B. CC Giuseppe Vadalà Commissario straordinario per l'adeguamento di 81 siti gravemente inadempienti (Fig. 3).



FIGURA 3. Il Generale di Brigata Giuseppe Vadalà, Commissario straordinario per la realizzazione degli interventi necessari all'adeguamento alla normativa vigente delle discariche abusive presenti sul territorio nazionale.

3. IL COMMISSARIAMENTO

La Struttura Commissariale, incardinata presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri, ha assunto poteri sostitutivi nei confronti delle amministrazioni inadempienti, agendo in deroga alla normativa ordinaria per garantire l'efficacia e la tempestività delle azioni. Il suo mandato si è sviluppato su più fasi, ciascuna delle quali ha comportato l'assunzione di nuovi siti oggetto di intervento, per un totale complessivo di 81 discariche da riportare a conformità con la normativa europea e nazionale.

Il modus operandi del Commissario si è basato su una gestione interistituzionale e coordinata, mediante:

- la stipula di protocolli d'intesa con le Regioni coinvolte;
- il coinvolgimento attivo degli enti territoriali competenti (Comuni, Province, Città Metropolitane);
- la collaborazione con gli organi di controllo ambientale, in particolare le Agenzie regionali per la protezione dell'ambiente (ARPA) e l'ISPRA;
- il supporto operativo dell'Arma dei Carabinieri - Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari (Rif web Fig. 4).

Particolare attenzione è stata dedicata alla tracciabilità e trasparenza dei procedimenti, attraverso l'adozione di strumenti digitali per il monitoraggio in tempo reale dello stato di avanzamento dei lavori, pubblicazioni periodiche di report, relazioni al Parlamento e incontri pubblici sul territorio.

Un ulteriore elemento distintivo è stato il recupero e riutilizzo delle risorse pubbliche, attraverso:

- l'ottimizzazione della spesa,
- l'accesso ai fondi europei (FESR, PNRR),
- l'applicazione del principio "chi inquina paga" per l'attivazione di procedure di rivalsa verso i responsabili dell'inquinamento.

La Struttura Commissariale ha perseguito una strategia fondata su risultati misurabili, contribuendo alla progressiva riduzione delle sanzioni semestrali comminate all'Italia da parte della Corte di Giustizia europea. In particolare, i 78 siti già regolarizzati (pari al 95% del totale) hanno consentito un risparmio stimato superiore a 325 milioni di euro per lo Stato italiano.

Parallelamente, il Commissario ha promosso una visione sistemica e proattiva della bonifica ambientale, proponendo modelli di intervento replicabili anche su altri contesti di crisi ambientale. Questo ha portato, per effetto di prov-



FIGURA 4. Al Comando unità forestali, ambientali e agroalimentari dei Carabinieri sono affidati compiti particolari e di elevata specializzazione in materia di tutela dell'ambiente, del territorio e delle acque, nonché nel campo della sicurezza e dei controlli nel settore agroalimentare.

Tabella 1. Siti della Regione Abruzzo. Nel 2014 la Corte di Giustizia dell'Unione Europea ne individuava 13 irregolari. Grazie ai provvedimenti del commissario, sono stati praticamente tutti regolarizzati.

ABRUZZO	COMUNE	LOCALITÀ / DENOMINAZIONE DISCARICA	TIPOLOGIA DI RIFIUTI
1	Bellante (TE)	Sant'Arcangelo Bellante	Non pericolosi
2	Colledimacine (CH)	Mozzone	Non pericolosi
3	Lecce nei Marsi (AQ)	Le Serre	Non pericolosi
4	Pizzoli (AQ)	Caprareccia	Non pericolosi
5	Montebello sul Sangro (CH)	Colle Marzucco / Quercia la Serra	Non pericolosi
6	Balsorano (AQ)	Ricoppi	Non pericolosi
7	Casalbordino (CH)	San Gregorio	Non pericolosi
8	Castel di Sangro (AQ)	Pera Papera - Le Pretare	Non pericolosi
9	Castiglione Messer Marino (CH)	Vischiera	Non pericolosi
10	Celenza sul Trigno (CH)	Difesa	Non pericolosi
11	Cepagatti (PE)	Contrada Aurora	Non pericolosi
12	Fraine (CH)	San Biagio	Non pericolosi
13	Lama dei Peligni (CH)	Cieco	Non pericolosi
14	Monteodorisio (CH)	Cantalupo	Non pericolosi
15	Ortona dei Marsi (AQ)	Fosso San Giorgio	Non pericolosi
16	Palena (CH)	Carrera	Non pericolosi
17	Pennadomo (CH)	Fonte Canale	Non pericolosi
18	Penne (PE)	Colle Freddo	Non pericolosi
19	San Giovanni Lipioni (CH)	Malvo'	Non pericolosi
20	San Salvo (CH)	Bosco Motticce	Non pericolosi
21	San Valentino in Abruzzo Citeriore (PE)	Il Fossato	Non pericolosi
22	Taranta Peligna (CH)	Colle di M	Non pericolosi
23	Torrebruna (CH)	Civitella	Non pericolosi
24	Vasto (CH)	Cantalupo	Non pericolosi
25	Vasto (CH)	Lota	Non pericolosi
26	Barete (AQ)	Arenella	Non pericolosi
27	Bisenti (TE)	Chiovano Bisenti	Non pericolosi
28	Pietracamela	Collelungo	Non pericolosi

vedimenti successivi (D.P.C.M. 6 aprile 2022, D.P.C.M. 14 settembre 2023), all'estensione delle sue competenze su altri dossier di rilevanza nazionale (KEU, Malagrotta, Scordovillo, Vaglia e le aree contaminate delle province di Napoli e Caserta).

L'esperienza del Commissariamento rappresenta oggi un case study riconosciuto a livello europeo, quale esempio di efficace cooperazione interistituzionale per la tutela ambientale, il ripristino della legalità e la valorizzazione dei territori compromessi.

5. LA SITUAZIONE DELLA REGIONE ABRUZZO

La seconda sentenza di condanna della Corte di Giustizia dell'Unione Europea del 2 dicembre 2014 ha individuato, per la Regione Abruzzo, 13 siti irregolari tutti contenenti rifiuti non pericolosi. Tali siti, distribuiti su quattro province, rappresentano una casistica particolarmente articolata e significativa nel panorama nazionale, anche per la collocazione in contesti paesaggistici e ambientali di elevato pregio come il Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga, il Parco Regionale della Majella e il Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise.

Nel complesso, i siti abruzzesi costituiscono il 17,5% del totale dei siti oggetto di commissariamento, collocando la Regione Abruzzo al secondo posto per incidenza dopo la Calabria. Tale presenza significativa ha richiesto una pianificazione attenta, interventi tecnici altamente specializzati e una stretta sinergia tra la Struttura Commissariale, la Regione Abruzzo e le Agenzie regionali per la protezione ambientale (ARPA).

Fin dall'avvio del mandato commissariale nel 2017, le attività di bonifica sono state impostate con determinazione ed efficacia. Già nel 2019, a soli due anni dal commissariamento, 12 dei 13 siti risultavano completati e regolarizzati, con la sola eccezione del sito complesso di Vasto – Vallone Maltempo. Tale avanzamento ha determinato l'espunzione dei 12 siti dalla procedura d'infrazione europea, consentendo un risparmio sulle sanzioni pari a circa 4,8 milioni di euro l'anno (2,4 milioni per semestre).

Alla data attuale, il 95% dei siti abruzzesi è stato completamente regolarizzato. Per il sito residuo, Vasto – Vallone Maltempo, le attività di messa in sicurezza e bonifica si sono concluse nel giugno 2024, ed è attualmente in corso la procedura di verifica da parte della Direzione Generale Ambiente (DG ENVI) della Commissione Europea. L'eventuale conferma dell'espunzione consentirà un ulteriore risparmio di 5,2 milioni di euro annui, contribuendo alla quasi totale eliminazione del carico sanzionatorio iniziale stimato in 42 milioni annui al 2016.

Tra i siti più complessi figura quello di Vasto – Vallone Maltempo, localizzato in un'area con presenza di falda idrica superficiale e con la concomitante presenza di un canile municipale in attività.

L'intervento ha richiesto una progettazione multidisciplinare supportata dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e dall'Unità Tecnica Amministrativa presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri.

Le soluzioni adottate hanno incluso:

- la messa in sicurezza del corpo rifiuti mediante intubamento del vallone sottostante;
- il ricollocamento e ammodernamento della struttura canile con realizzazione di una nuova area *agility*;
- l'attivazione di un sistema avanzato di monitoraggio idrogeologico per la tutela delle acque sotterranee.

Le attività del Commissario si sono contraddistinte per una costante e operativa collaborazione con gli enti locali e con l'ARPA Abruzzo. Complessivamente, nel periodo 2017–2024 sono state effettuate 162 missioni in Abruzzo, articolate in sopralluoghi tecnici, riunioni operative, verifiche in situ e incontri istituzionali, a testimonianza dell'approccio sistemico e continuativo adottato dalla Struttura Commissariale.

Un elemento caratterizzante del modello abruzzese è rappresentato dalla visione integrata di risanamento e valorizzazione territoriale. Le aree bonificate non sono state semplicemente messe in sicurezza, ma riconvertite in spazi di utilità collettiva e ambientale, con interventi finalizzati alla restituzione dei luoghi alla comunità. Tra i progetti realizzati o in corso di attuazione si segnalano:

- realizzazione di *birdgarden* e aree naturalistiche;
- creazione di *bike park* e percorsi ricreativi;
- installazione di aree gioco per l'infanzia;
- sviluppo di strutture per la cura e il ricovero degli animali;
- allestimento di poligoni di tiro dinamico per le forze dell'ordine.

L'esperienza della Regione Abruzzo dimostra come un approccio integrato, sostenuto da competenze tecniche qualificate e da una *governance* multilivello efficace, possa produrre risultati concreti sia in termini ambientali che economici. La significativa riduzione delle sanzioni, unita al recupero e alla restituzione funzionale delle aree, rende il modello abruzzese un esempio virtuoso e replicabile per altri contesti critici sul territorio nazionale.

RIFERIMENTI WEB

- https://commission.europa.eu/index_it
https://curia.europa.eu/jcms/jcms/j_6/it/
<https://www.commissariobonificadiscariche.governo.it/it/il-commissario-e-la-task-force/il-commissario/il-commissario/>
<https://www.carabinieri.it/chi-siamo/oggi/organizzazione/tutela-forestale-ambientale-e-agroalimentare>

SPONSOR

LUCIANO MASCIOTTO. Nato a Roma il 12/12/1957. Laureato con lode in Scienze Geologiche presso l'Università di Torino. Ricercatore confermato e Professore Aggregato di Geologia Ambientale presso l'Università di Torino, svolge attività di ricerca sulla pericolosità geomorfologica e sulla salvaguardia delle risorse idriche. I risultati della ricerca sono sintetizzati in oltre 160 pubblicazioni. Per la SIGEA – APS ricopre attualmente i ruoli di Consigliere Nazionale nonché Referente dell'Area tematica Rischio geoidrologico.

Versione 1

