Geologia dell'Ambiente

Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale - APS

Fondatore *Giuseppe Gisotti*

1/2024 ISSN 1591-5352

Poste Italiane S.p.a. - Spedizione in Abbonamento Postale - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n° 46) art. 1 comma 1 - DCB Roma

ProGEO
International Association for the Conservation of Geological Heritage

pianetaterra®
Le Scienze della Terra per la Società
Commissione Italiana

INSIEME PER PROMUOVERE LA CULTURA GEOLOGICA E LA TUTELA DELL'AMBIENTE

Sostieni la SOCIETÀ ITALIANA DI GEOLOGIA AMBIENTALE - APS

Iscriviti o rinnova la tua adesione. Per aderire alla SIGEA - APS è sufficiente compilare la scheda di iscrizione, scaricabile dal sito web www.sigea-aps.it e versare la quota associativa, pari ad un importo di euro 30.00, a mezzo bonifico bancario Banco Posta, IBAN: IT 87 N 07601 03200000086235009, intestato a Società Italiana di Geologia Ambientale

Società Italiana di Geologia Ambientale - APS
Associazione di protezione ambientale individuata con decreto ministeriale del 24 maggio 2007 e con successivo D.M. 238 del 28/07/2023 ai sensi dell'articolo 13, della legge 8 luglio 1986, n. 349

Fondatore *Giuseppe Gisotti*

PRESIDENTE
Antonello Fiore

CONSIGLIO DIRETTIVO NAZIONALE
Lorenzo Cadrobbi, Daria Duranti, Antonello Fiore (*Presidente*), Adele Garzarella, Giuseppe Gisotti (*Presidente Onorario*), Marianna Morabito, Stefania Nisio, Fabio Oliva, Michele Orifici (*Vice Presidente*), Vincent Ottaviani (*Vice Presidente*), Paola Pino d'Astore (*Tesoriere*), Luciano Masciocco, Sabina Porfido, Livia Soliani, Salvatore Valletta (*Segretario*)

Geologia dell'Ambiente
Periodico trimestrale della SIGEA - APS

N. 1/2024
Anno XXXII • gennaio-marzo 2024

Iscritto al Registro Nazionale della Stampa n. 06352
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 229
del 31 maggio 1994

DIRETTORE RESPONSABILE
Antonello Fiore

CONDIRETTORE RESPONSABILE
Eugenio Di Loreto

COMITATO SCIENTIFICO
Mario Bentivenga, Aldino Bondesan, Francesco Cancellieri, Rachele Castro, Massimiliano Fazzini, Giuseppe Gisotti, Giancarlo Guado, Emanuela Guidoboni, Salvatore Lucente, Fabio Luino, Endro Martini, Luciano Masciocco, Davide Mastroianni, Antonio Paglionico, Mario Parise, Giacomo Prosser, Giuseppe Spilotro, Vito Uricchio, Gianluca Valensise

COMITATO DI REDAZIONE
Fatima Alagna, Federico Boccalaro, Valeria De Gennaro, Eugenio Di Loreto, Maria Luisa Felici, Sara Frumento, Fabio Garbin, Michele Orifici, Vincent Ottaviani, Maurizio Scardella

REDAZIONE
SIGEA - APS c/o Fidaf - Via Livenza, 6 00198 Roma
info@sigeaweb.it

PROCEDURA PER L'ACCETTAZIONE DEGLI ARTICOLI
I lavori sottomessi alla rivista dell'Associazione, dopo che sia stata verificata la loro pertinenza con i temi di interesse della Rivista, saranno sottoposti a un giudizio di uno o più referees

UFFICIO GRAFICO
Pino Zarbo (Fralerighe Book Farm)
www.fralerighe.it

PUBBLICITÀ
SIGEA - APS

STAMPA
Industria grafica Sagraf Srl, Capurso (BA)

La quota di iscrizione alla SIGEA-APS per il 2024 è di € 30 e da diritto a ricevere la rivista "Geologia dell'Ambiente". Per ulteriori informazioni consulta il sito web all'indirizzo www.sigea-aps.it

Sommario

Editoriale
Antonello Fiore 2

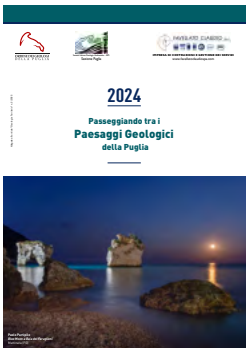
I paesaggi del dissesto idrogeologico
Eugenio Di Loreto, Giuseppe Gisotti 3

Un fenomeno di degassazione metanifera con fiamma libera nella perforazione di un pozzo artesiano (Provincia di Avellino, Campania, Italia)
Michele Sisto, Antonio Di Lisio 9

Pseudo-carsismo e carsismo di Punta Solanto nella penisola di Capo San Vito (Sicilia Nord – Occidentale)
Roberto Grammatico 17

Gli *hornito*, particolari morfosculture vulcaniche: alcuni esempi etnei
Pietro Carveni 24

Consapevolezza storica dei terremoti e prevenzione: l'atlante del CNI su *L'azzardo sismico delle città italiane*
Marco Stefani 29



È disponibile on line il calendario 2024 "Passeggiando tra i Paesaggi Geologici della Puglia" liberamente scaricabile all'indirizzo web: https://sigea-aps.it/wp-content/uploads/2023/12/Calendario2024.pdf

A questo numero è allegato il supplemento digitale *La geologia ambientale al servizio del Paese. Sessione Rischi Ambientali* a cura di Daniele Baldi, scaricabile all'indirizzo web: https://sigea-aps.it/supplementi-a-geologia-dellambiente

In copertina: Roberto Rizzi, *Grotta del Trullo con le sue formazioni geologiche*, Putignano (BA). XIV Edizione 2023 Concorso fotografico "Passeggiando tra i Paesaggi Geologici della Puglia".

Editoriale

Antonello Fiore
Presidente SIGEA - APS
E-mail: presidente@sigeaweb.it

Nel finire del 2022, grazie all'impegno e all'intuizione di Gaetano Osso, Presidente della Sezione Calabria, siglammo un Protocollo d'intesa con ARPA Calabria finalizzato alla collaborazione in attività di studio e ricerca nel settore ambientale, con specifico riferimento agli aspetti di tutela delle risorse naturali, allo sviluppo d'iniziative condivise per la diffusione della cultura della difesa del patrimonio ambientale, paesaggistico e naturale. Dopo questo Protocollo altri simili ne abbiamo siglati con le ARPA Campania, Lazio, Piemonte e Puglia. Ritengo queste collaborazioni in ambito territoriale molto importanti per la SIGEA-APS e sono grato agli amici animatori delle Sezioni che si sono resi promotori dei Protocolli e ne hanno assunto il coordinamento.

Con decreto n. 238/2023 del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, avendo superato la verifica periodica, è stato confermato il nostro ruolo di Associazione di protezione ambientale ai sensi della legge n. 349/1986. Se abbiamo superato la verifica periodica, è grazie al continuo lavoro sul territorio delle Sezioni, dei Gruppi regionali e delle Aree tematiche.

Negli ultimi anni abbiamo aggiornato più volte lo Statuto sia per adeguarlo al Terzo Settore sia per attualizzarlo, inserendo il ragionevole numero minimo per uguaglianza di genere nelle cariche direttive, seguendo i dettami del "Codice delle pari opportunità tra uomo e donna" e prevedendo il principio di rotazione delle cariche esecutive secondo il quale queste possono essere ricoperte dagli stessi componenti il Consiglio Direttivo per non più di due mandati consecutivi.

L'edizione 2023 del premio SIGEA-APS per la "*Salvaguardia dell'ambiente naturale e antropizzato, gestione responsabile del territorio e delle sue risorse e prevenzione e mitigazione dei pericoli naturali*" è stata assegnata a Cristina Giovagnoli, collega dell'ISPRA, per l'appassionato e continuo impegno per la divulgazione della geologia e della ricerca scientifica in materia di geodiversità, tutela e valorizzazione dei geositi e geoparchi, e a Fabrizio Curcio, Capo del Dipartimento di Protezione Civile, per l'attento e costante impegno nella gestione dei rischi geologici.

Tra gli eventi di maggior rilievo voglio ricordare il Workshop "*Indagini geognostiche: una comparazione tra differenti approcci internazionali per la creazione di modelli geologici e geotecnici affidabili*" svoltosi a Savona. Un evento di 3 giorni con relatori provenienti dal Canada, Regno Unito, Francia, Irlanda, Svizzera e Italia.

Di grande valore sociale è stato il progetto ideato e curato da Francesca Micheletti "*Murgeopark for all - Itinerari naturalistici e storico-culturali inclusivi*", realizzato con il contributo del Parco Nazionale dell'Alta Murgia. Sono state organizzate 12 escursioni pensate per soggetti con disabilità intellettive e sensoriali e per le loro famiglie.

A Roma si è svolto il nostro annuale evento nazionale con il Convegno "*Vincolo Idrogeologico e Forestale 1923-2023: applicazione, gestione, prevenzione: stato dell'arte e prospettive future*" evidenziando l'evoluzione della legge a distanza di 100 anni e mettendo l'accento sulle prospettive future riguardanti la gestione del territorio.

Essere diventati un'associazione di promozione sociale ci ha dato diversi vantaggi, uno su tutti la possibilità di destinare alla SIGEA-APS, in occasione della dichiarazione dei redditi, il 5x1000. Nel 2022 abbiamo ricevuto 1.990 euro. Il Consiglio Direttivo ha deciso di destinare queste somme al progetto di digitalizzazione e messa online di tutti i numeri della rivista escludendo gli ultimi 5 anni. Un inserimento che sarà realizzato sul nuovo sito **www.sigea-aps.it**, già online e in continuo aggiornamento. Sul nuovo sito troverete tutti gli eventi che verranno organizzati, le pubblicazioni della nostra rivista con i suoi supplementi e la collana "Monografie di Geologia Ambientale" arricchita di due nuovi volumi, *Raccontiamo la Sicilia. La Geologia a servizio dell'Ambiente per una Pianificazione Territoriale di qualità* di Emanuele Siragusa e *LE COSTE. Caratteristiche, tendenze evolutive, erosione e interventi di difesa* a cura di Francesco Stragapede. Poiché anche nel corso del 2023 c'è stato un ciclo di webinar dedicato alla fascia costiera, si sta già lavorando a un secondo volume sul tema. Mi sento di ringraziare Eugenio Di Loreto per il lavoro, di fatto da Direttore, che dedica alla rivista Geologia dell'Ambiente.

Con l'avvio del nuovo sito web abbiamo rilanciato, grazie a Giacomo Milazzo, la rassegna "*La scienza e la tecnica raccontate*" con numerose recensioni di libri, arricchite da interviste agli autori e analisi dettagliate degli argomenti trattati.

L'8 ottobre una nostra delegazione è stata ricevuta dal Ministro dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, Gilberto Pichetto Fratin; la brevità dell'incontro per impegni sopraggiunti del Ministro non ci ha permesso di esporre le nostre proposte incentrate su diversi temi: mitigazione degli effetti del dissesto geo-idrologico; adattamento ai cambiamenti climatici; potenziamento di studi e ricerche per contenere gli effetti della crisi climatica. Abbiamo comunque depositato il testo con le proposte. Inoltre, l'8 febbraio di quest'anno, una nostra delegazione è stata ricevuta dal Ministro della Protezione Civile, Nello Musumeci. In questa circostanza siamo riusciti a impostare un confronto sui temi della prevenzione e degli interventi non strutturali per aumentare la consapevolezza dei cittadini sui pericoli naturali.

Per mitigare il dissesto geo-idrologico che ha effetti devastanti sulla popolazione, sul sistema produttivo e sul sistema sociale, come dimostrato dagli eventi di maggio in Emilia Romagna e novembre in Toscana, è necessario pensare a un Manifesto con alcuni temi fondamentali: la pianificazione e l'uso del suolo, la manutenzione e gestione delle aree interne, le infrastrutture, la tecnologia, le risorse umane, il ruolo attivo della popolazione nell'autoprotezione.

Serve un'azione organica per mitigare gli effetti del dissesto geo-idrologico attraverso una prevenzione efficace che associ agli interventi la gestione e mantenimento delle aree collinari e montuose che possano creare nuovo reddito e valorizzare le risorse umane. È fondamentale consolidare e potenziare le azioni di coinvolgimento della popolazione al fine di trasferire la giusta consapevolezza dei pericoli territoriali acquisendo sin da piccoli comportamenti di autoprotezione, in virtù anche dei nuovi e preoccupanti scenari climatici. È necessaria la rivisitazione dell'attuale quadro normativo al fine di potenziare corsi di educazione extra curriculare anche con escursioni sul territorio. Si ritiene inoltre necessario sostenere e potenziare i sistemi di allertamento, il completamento della cartografia geologica, i sistemi di monitoraggio, questi ultimi anche al fine di individuare le priorità degli interventi strutturali.

Chiudo con un pensiero dedicato a **Raniero Massoli-Novelli** venuto a mancare in dicembre. Raniero non è stato solo uno dei soci fondatori della Sigea, è stato un amico, un maestro, un grande promotore della cultura geologica. Un conoscitore e disseminatore del valore del patrimonio geologico e della geodiversità.

I paesaggi del dissesto idrogeologico

The landscapes of hydrogeological instability

Eugenio Di Loreto
Condirettore Responsabile "Geologia dell'Ambiente"
E-mail: eugeol.dlr@gmail.com

Giuseppe Gisotti
Presidente Onorario SIGEA APS
E-mail: giuseppe.gisotti12@gmail.com

Parole chiave: paesaggi e geologia, dissesto idrogeologico, modifiche paesaggistiche
Keywords: landscapes and geology, hydrogeological instability, landscaping changes

1. IL PAESAGGIO E LA GEOLOGIA

Con il termine generico di paesaggio si indica una nozione intuitiva derivante dalla percezione di un dato ambiente fisico più o meno diversificato. In tale accezione il paesaggio è la manifestazione visuale di particolari organizzazioni spaziali di elementi e strutture, nell'ambito delle quali un ruolo particolare può essere svolto dalle rocce, dalla vegetazione e dalla presenza umana. "Leggere" il paesaggio, per conoscerlo, comprenderne i caratteri, le qualità e le peculiarità, è un'azione che ciascuno di noi compie, in modo più o meno consapevole e con sistemi di "lettura" diversi in funzione dei propri interessi, conoscenze e cultura. Varie discipline artistiche hanno trattato il tema del paesaggio dai più diversi punti di vista. La poesia "L'infinito" trova il suo riferimento spaziale nell'altura solitaria del monte Tabor, sovrastante Recanati, dove Leopardi mentre passeggia percepisce e comprende il profondo del senso e dei perché della vita; è lo sgomento e il fascino che suscita la bellezza nella solitudine. La pittura del paesaggio è contemplazione della natura, osservazione, ammirazione, raccoglimento. Nella natura c'è un mistero, destinato a restare segreto, che è lo stesso dell'esistenza dell'uomo. La contemplazione della natura nell'arte, come nella vita, è una purificazione e un superamento, è un momento liberatorio per la comprensione del mondo. Il paesaggio si propone alla visione come sintesi, fusione organica d'ogni sua parte in un tutto: come una figurazione composita, costituito da singoli elementi, che si compongono e si integrano, fino a dar vita ad un sistema visivo omogeneo. La "lettura" estetico-percettiva consente di analizzare e valutare le qualità visive dei paesaggi così come essi, in occasione di viaggi o di spostamenti quotidiani abituali, si presentano nelle loro immagini ed espressioni figurative agli occhi dell'osservatore; questo tipo di lettura, senz'altro la più diffusa e spontanea, porta a confrontare le immagini di quel determinato paesaggio con quelle di altri luoghi conosciuti e memorizzati assegnando, inconsciamente, una particolare componente dominante, in un certo periodo di tempo o stagione. Alla più diffusa concezione percettivo-formale ed estetica del paesaggio (codificata dalla Costituzione e nella Legislazione italiana, ed Europea), va affiancata, e non sostituita, la definizione scientifica derivante dalle scienze naturali, geologiche, biologiche, forestali-agronomiche. Queste discipline studiano e valutano le diverse "componenti" del paesaggio per acquisire una conoscenza del complesso sistema di vicende storiche delle società che sono nate e sviluppate in un determinato spazio e dei meccanismi di trasformazioni a cui il nostro pianeta è stato soggetto. In particolare, i geologi dispongono di un apposito codice di lettura per studiare le rocce, che sono il presupposto primo dell'esistenza di un paesaggio e che ne danno l'impronta fondamentale. Le formazioni geologiche racchiudono nella loro natura e litologia le fasi salienti del lungo percorso, durato milioni di anni, del nostro pianeta e ci raccontano una storia suggestiva fatta di sedimenti marini ricchi di fossili, di antiche linee di costa, di isole coralline, di vulcani estinti e di ghiacciai (Di Loreto, 2012). Le rocce sono poi state deformate dagli sforzi tettonici (agenti endogeni) e plasmate dai fattori climatici (agenti esogeni), che hanno dato vita alle forme attuali del rilievo. Il paesaggio è dunque il prodotto di un'evoluzione che avviene nel tempo: non è stato creato in un istante né esiste così da sempre. Per tale motivo esso costituisce un formidabile archivio del passato della Terra. Il substrato geologico, col clima, ha dato origine non solo ai diversi tipi di suolo, ma anche, indirettamente, alla vegetazione naturale, e da queste componenti si sono sviluppate sia l'attività agricola che quella antropica e l'evoluzione storica delle popolazioni ivi insediate. L'interpretazione dei complessi litologico-genetici e dei processi geomorfologici o morfotipi permette di individuare le Unità del Paesaggio geologico in cui sono preminenti caratteri ed elementi di natura geologica (Gisotti, 2011). Né va dimenticato che i morfotipi sono condizionati dagli effetti di fenomeni geologici pericolosi. Le catastrofi che colpiscono frequentemente il nostro paese, riferibili al rischio idrogeologico, sismico e vulcanico, sono la manifestazione di processi in cui sono coinvolte le rocce della crosta terrestre che possono modificare direttamente o indirettamente il paesaggio. Di seguito descriveremo alcuni paesaggi geologici che sono stati creati in seguito ad eventi storici catastrofici di dissesto idrogeologico, testimoni di un ambiente in continua e rapida trasformazione.

2. IL DISSESTO IDROGEOLOGICO E LE SUE CAUSE

Con il termine "dissesto idrogeologico" viene definito "qualsiasi disordine o situazione di squilibrio che l'acqua produce nel suolo e/o nel sottosuolo". La legge quadro sulla difesa del suolo (183/1989) e le sue successive modificazioni hanno ribadito il significato del termine. Secondo un recente rapporto dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA, 2021) quasi il 94% dei comuni italiani è a rischio dissesto per alluvioni, frane ed erosione costiera e oltre 8 milioni di persone vivono nelle aree ad elevata pericolosità. Il Rischio idrogeologico è legato agli elementi acqua (**idro**: pioggia e corsi d'acqua) e terra (**geo**: suolo, roccia, detriti), ed è determinato dalla entità del danno atteso in una data area e in un certo intervallo di tempo in seguito alla probabilità di verificarsi di un evento naturale, dannoso per l'ambiente e per l'uomo, come l'alluvione, la frana, la valanga e l'erosione marina. Possiamo distinguere tra i fenomeni relativi al dissesto idrogeologico: l'erosione superficiale, le frane e gli sprofondamenti di

Figura 1. Evento alluvionale del 2-3 ottobre 2020 in Piemonte. Effetti erosivi associati alla piena del Torrente San Giovanni, nel Comune di Limone Piemonte (CN). I danni più evidenti sono riferibili a manufatti di attraversamento e ad un edificio, in corso di ristrutturazione, che ha subito il collasso delle opere di fondazione. L'edificio era ubicato lungo la sponda attiva del torrente, costituendo così un ostacolo al normale smaltimento delle portate d'acqua (Foto F. Luino, da suppl. n. 4/2021 Geologia dell'Ambiente)

Figura 2. Alluvione delle Marche del 15 e 16 settembre 2022. Immagine di un'ansa del fiume Burano a Cagli (PU). Si nota la casa costruita in riva al fiume e una ingente massa di alberi divelti e trasportati dalle acque di piena. Due esempi di fattori di origine antropica che influenzano l'entità dei danni conseguenti ai fenomeni alluvionali (Foto E. Martini, da n. 4/2022 Geologia dell'Ambiente)

Figura 3. La casa sul burrone, una delle foto simbolo del tragico evento che ha colpito Casamicciola Terme (nell'Isola di Ischia) il 26 novembre 2022. Chi ci abitava non si aspettava che il torrente di fango sotto i piedi modificasse in maniera terrificante la morfologia e la natura dei luoghi (Foto C. Fusco/ FU. Ringraziamenti: ANSA. Copyright: ANSA)

cavità sotterranee naturali ed artificiali, le valanghe (dissesto geomorfologico); le alluvioni (dissesto idrologico); l'arretramento dei litorali (erosione costiera). Questi eventi sono drammaticamente sotto i nostri occhi in quanto causano molte vittime (*Figg.* 1, 2 e 3). Eventi che stanno costantemente ponendo sotto pressione gli assetti strategici nazionali (centri urbani; poli industriali; attività agricole; beni culturali; infrastrutture di trasporto e le *life Lines*), con evidenti aumenti di intensità, di frequenza e distribuzione. Sono inoltre tra i fenomeni responsabili di potenti trasformazioni del territorio, che modificano il paesaggio naturale e antropico. Nella *Tab.* 1 sono descritti alcuni dei fattori generali, spesso concomitanti, responsabili dei dissesti idrogeologici.

3. INTERFERENZE TRA I FENOMENI DI DISSESTO GEOMORFOLOGICO E LE MODIFICHE DEL PAESAGGIO

L'erosione superficiale e accelerata avviene sullo strato di suolo che viene asportato dall'azione delle acque di pioggia e viene denudato dalla vegetazione, con il conseguente assottigliamento dello strato arabile relativo a suoli agrari o degli orizzonti di superficie per i suoli naturali (*soil degradation*). Il suolo vegetale rappresenta la principale risorsa dell'agricoltura per la produzione di cibo. Un esempio di tale fenomeno di dissesto è rappresentato dalle piramidi di terra (*Fig.* 4) che si sono formate dall'azione erosiva degli agenti atmosferici che hanno modellato il terreno del versante della montagna. Le piramidi di terra sono luoghi geologici peculiari, detti geositi, ma hanno anche valenza turistica ed economica in quanto si tratta di un paesaggio gradevole dal punto di vista estetico. I calanchi invece sono in continuo e veloce cambiamento a causa dell'azione dilavante delle acque piovane; sono diffusi e si impostano sui terreni argillosi nelle aree collinari degli Appennini, e sono costituiti da strette vallecole dai versanti ripidi e privi di vegetazione, separate da acuminate creste di argilla che prendono l'aspetto di lame (Biondi *et al.*, 1994). Le vallecole confluiscono in altre di dimensioni sempre, maggiori assumendo una particolare geometria delle forme di erosione lineare con disposizioni a pettine, radiale o a spina di pesce. Queste suggestive forme del paesaggio, delle vere e proprie sculture naturali, si possono osservare con aspetti scenici spettacolari nei dintorni di Civita di Bagnoregio (VT) "*la città che muore*" (*Fig.* 5) o anche nei Calanchi di Aliano (MT) e nei Calanchi di Atri (TE). In quest'ultima località sono anche noti come "*Scrimoni*" nella lingua dialettale del luogo oppure conosciuti come "Bolge dantesche", con riferimento al paesaggio infernale descritto da Dante Alighieri nella Divina Commedia. Sono luoghi di interesse non solo scientifico e didattico, ma anche turistico.

I movimenti di massa gravitativi (chiamati così per distinguerli da quelli superficiali, ossia l'erosione superficiale), che possono essere riassunti con il termine frana, provocano nella maggior parte dei casi vere e proprie riconfigurazioni, anche catastrofiche, degli spazi in cui hanno luogo (Gisotti, 2012). Nei rilievi appenninici ci sono diversi esempi di formazione di laghi di frana, di dimensioni e durata temporale varie, originati dallo sbarramento della vallata da parte di un processo gravitativo (Piazza,

Tabella 1. Principali fattori responsabili dei dissesti idrogeologici

Fattore	Descrizione
1) Fattore meteoclimatico	Piogge orarie intense e concentrate nello spazio, responsabili di quello che viene definito come cambiamento climatico;
2) Fattore morfologico e geologico	Rilievi montuosi prospicienti le fasce costiere (piogge orografiche), aree acclivi, ecc.; formazioni geologiche predisposte a franare, quali le Argille varicolori scagliose, i flysch tettonizzati e/o a prevalente componente argillosa, calcari e rocce molto fratturate;
3) Fattore antropico	Realizzazione di insediamenti e infrastrutture in luoghi ad alto rischio (nelle aree di espansione delle piene fluviali; in aree in frana o in zone di frane quiescenti o di paleofrane); "cementificazione del territorio", che corrisponde al "consumo di suolo".

Figura 4. Le piramidi di terra si sono formate dall'intensa azione erosiva dell'acqua di ruscellamento che hanno modellato il terreno del versante della montagna. I blocchi più grossi hanno protetto il materiale fine ed incoerente sottostante come ombrelli. Il risultato finale sono delle sculture naturali a forma di piramide o fungo. Altopiano di Renon (BZ). (Foto G. Gisotti)

Figura 5. La Valle dei Calanchi nei pressi dell'abitato di Civita di Bagnoregio (VT). In terreni prevalentemente argillosi le acque meteoriche dilavanti hanno provocato una rapida evoluzione del paesaggio dando luogo a fenomeno di erosione del terreno definiti calanchi. Si tratta di forme erosive caratterizzate da piccole valli con forte pendenza, prive di vegetazione, separate tra loro da sottili creste. I dissesti in atto da possibili elementi detrattori tendono a diventare condizioni di qualificazione paesaggistica, che fanno dei calanchi un paesaggio unico e suggestivo, in perenne mutamento. (Foto E. Di Loreto)

2021). Nel Veneto un esempio è costituito dalla grande frana che, precipitando nel corso d'acqua sottostante il Torrente Cordevole, lo ha sbarrato creando il lago di Alleghe (*Fig.* 6). Un fatto simile si verificò anche in Abruzzo, dove la caduta di una frana creò il lago di Scanno. Rinomata località turistica, grazie alla presenza dello specchio d'acqua, tra gli elementi positivi del paesaggio.

Lo spaventoso scenario della frana di enormi dimensioni che incombeva nel piccolo centro storico di Aliano (MT) attirò l'attenzione dello scrittore Carlo Levi che, nel romanzo "*Cristo si è fermato ad Eboli*", così descriveva i luoghi *("il paese…scendeva e si snodava come un verme attorno ad un'unica strada in forte discesa, sullo stretto ciglione di due burroni, e poi risaliva e ridiscendeva tra due altri burroni e terminava nel vuoto*". Le scarpate delle frane lambiscono "…. *tutte le case, che parevano in bilico sull'abisso, pronte a crollare e piene di fenditure…*". Un altro caso emblematico è rappresentato da Craco (MT) nel quale, agli inizi degli anni '60, una frana (di tipo a scorrimento rotazionale e colamento) provocò l'intera instabilità dell'abitato, che venne poi completamente evacuato nel 1974. Agli inizi degli anni ottanta, Craco era diventata una città fantasma. Questo fenomeno ha contribuito a rendere particolare l'abitato di Craco, che, per tale caratteristica, è diventato una meta turistica, nonché un ambito set cinematografico. Per via della sua bellezza Craco è stata inserita nella lista dei *World Monuments Found*, elenco che riporta i monumenti da salvaguardare nel mondo. Oltre ai resti dei palazzi nobiliari e della Chiesa è possibile ammirare i caratteristici calanchi, con i profondi solchi scavati nel terreno argilloso che rendono il paesaggio unico e suggestivo.

Una trasformazione catastrofica del paesaggio e del territorio, è avvenuta il 9 ottobre del 1963, quando una enorme frana staccatesi dal Monte Toc, precipitando a valle, fece esondare le acque del bacino idroelettrico della diga del Vajont (alta 260 metri, considerata la più alta del mondo, quando fu costruita), causando la morte di oltre 2.000 persone, distruggendo gli abitati di Erto, Casso (PN) e Longarone (BL). Il paesaggio che si osservava dopo la tragedia era stato totalmente modificato, sia nei luoghi dell'evento che nelle aree sottostanti la diga, dove quella che fino a poche ore prima era una ridente vallata era ridotta ad un desolato paesaggio lunare. Ancora oggi sono visibili la nicchia di distacco e la superficie di scorrimento del corpo di frana (*Fig.* 7).

4. LE ALLUVIONI E LE MODIFICHE DEL PAESAGGIO DI PIANURA

I paesaggi delle pianure alluvionali sono profondamente legati dal rapporto con l'acqua del fiume, che ha determinato il modo in cui gli uomini hanno costruito le attività produttive ed economiche fin dall'antichità (Gisotti,

Figura 6. Il Lago di Alleghe (BL), si è formato nel 1771, a causa di una frana di grandi blocchi di roccia che ostruirono la valle del fiume Cordevole. Nei giorni in cui l'acqua è più limpida si può intravedere la cima del campanile del vecchio paese ormai sommerso

Figura 7. Superficie di distacco della frana che il 9 ottobre del 1963 si staccò dal Monte Toc e precipitò nel lago artificiale della Valle del Vajont (BL). La cicatrice a forma di "M" che si osserva, ancora oggi, sul versante nord del monte Toc è la testimonianza della tragica modifica del paesaggio provocata da questa frana. È considerata dall'IUGS (Unione internazionale degli studiosi di scienze geologiche) una delle più grandi e più emblematiche frane al mondo, per la sua particolare dinamica ed effetto catastrofico

Figura 8. Alluvione in Emilia-Romagna del 16-17 maggio 2023. Le immagini riprese dal drone mostrano la rottura dell'argine fluviale e le aree andate sott'acqua, dopo alcuni giorni dall'evento. Si tratta di un paesaggio temporaneo, poi quando le acque si ritirano, le aree colpite sono ricoperte da limo e fango, e spesso sono contaminate con materie pericolose, che provocano conseguenti problemi sanitari

Figura 9. Il paesaggio dell'erosione marina nella Costa ionica della Basilicata. Sul F. Sinni, in destra della foce, i resti di un ponticello, realizzato su un canale di bonifica che distava un centinaio di metri circa dalla costa, da un'idea della misura dell'inesorabile avanzamento del mare (Foto G. Spilotro. Tratta da Supplemento al numero 2/2008 di Geologia dell'Ambiente)

2020). Nell'immaginario collettivo per pianura si intende una estesa e piatta distesa di terre, scandita soltanto da una sequenza di insediamenti, corsi d'acqua e campi coltivati. Dal punto di vista geomorfologico queste pianure si sono formate per l'azione preponderante del trasporto e della sedimentazione operata dai corsi d'acqua (Gisotti, 2011). Le "pianure alluvionali" si sono formate come accumulo di sedimenti rilasciati dai fiumi (*alluvium*). In letteratura si è soliti distinguere cinque principali configurazioni dell'alveo dei corsi d'acqua: 1) rettilinei; 2) a canali intrecciati; 3) a meandri; 4) pseudo meandriformi; 5) anastomizzati. Il tipico aspetto morfologico dei paesaggi di pianura alluvionale sono i fiumi a meandri, con le anse, le isole fluviali, le barre, circondate da alberi. In queste zone il fiume è largo, l'acqua scorre pigra e torbida in ampie curve sinuose, e nei periodi siccitosi il volume d'acqua si riduce e si determina lo stato di magra fluviale. Poi, in occasione di forti piogge, il livello delle acque cresce, il fiume si gonfia, l'acqua risale gli argini e trabocca fuori invade e allaga il territorio circostante, generando le piene fluviali (*Fig.* 8). In realtà le forme della pianura alluvionale sono dovute ad un dinamismo fisico complesso che si può sintetizzare nei processi naturali di esondazione, erosione e deposizione, ai quali si aggiunge l'attività dell'uomo (Gisotti e Zarlenga, 2004). Si può senz'altro affermare che nessuna unità geomorfologica del paesaggio italiano è stata tanto modificata dall'uomo come la pianura alluvionale. Si è passati dall'alveo in equilibrio con la pianura alluvionale ad un alveo canalizzato e spesso pensile e sopra elevato sulla stessa pianura. Tale interventi artificiali, spesso necessari per permettere l'insediamento di attività umane hanno tuttavia alterato gli equilibri preesistenti della morfologia fluviale. Un caso apprezzabile è l'insediamento di Ferrara, sorto su un dosso sabbioso ai bordi del Po (Gisotti, 2016). Nella pianura padana sono sempre presenti argini naturali e dossi fluviali, leggermente rilevati rispetto all'alveo fluviale. Il primo insediamento di Ferrara, sorto intorno al VII secolo d.C., si sviluppò su un dosso sabbioso fluviale, in quanto rilevato, presentava un minor rischio idraulico. Nel 1152, si verificò un evento alluvionale violento che modificò in maniera drammatica il territorio della piana del Delta padano, "la rotta di Ficarolo". L'argine del fiume in piena cedette in un punto, vicino al paese di Ficarolo, dove c'era una curva. Da quel momento il corso principale del Po proseguì dritto, più a nord di Ferrara, con il conseguente decadimento della sua prosperità commerciale.

La piena del Tevere del 15 settembre 1557, a valle di Roma, nei pressi di Ostia Antica, provocò il taglio di un meandro che rettificò in quel tratto il corso del fiume. Il meandro fluviale abbandonato venne in seguito denominato fiume morto, a testimonianza della variabilità storica del paesaggio della pianura alluvionale.

5. EROSIONE MARINA E ARRETRAMENTO DELLE COSTE

Il Litorale è stato definito come "il territorio, che segna il confine fra la terra e il mare, ed un luogo di compromesso e di conflitto in continua evoluzione". In Italia, il 13% della superficie nazionale pari a 43.000 kmq si trova sulle coste marine. Lungo il litorale italiano, di 8.300 km, si sono sviluppati ben 646 comuni, con il maggior peso demografico dell'intero Mediterraneo. All'avvicinarsi della stagione estiva il fenomeno dell'erosione costiera dei litorali, torna ad interessare l'opinione pubblica, in quanto è possibile constatare i danni delle mareggiate e delle perturbazioni meteo invernali. Negli ultimi 30 anni, circa 1.170 km di coste italiane sono state esposte a intensi fenomeni erosivi, aumentati sensibilmente in frequenza e intensità, che hanno provocato effetti spesso catastrofici, con ingenti danni all'economia turistica e alle infrastrutture. Nel mese di novembre del 2022 nel litorale veneto si sono avuti oltre 3 milioni di euro di danni sulla costa con circa 100 mila metri cubi di spiaggia erosi. Fenomeni che sono ascrivibili anch'essi al dissesto idrogeologico. Le principali cause naturali dell'erosione sono imputabili a due potenti agenti geomorfici: l'azione esercitata da forti venti che creano mareggiate (intenso moto ondoso sotto costa) che provocano l'asportazione dei sedimenti costieri (*Fig.* 9) e producono modificazione della fisiografia costiera. Accanto alle cause naturali, anche le attività umane hanno influenzato notevolmente la stabilità della Costa. Il diminuito apporto di sedimenti fluviali e quindi l'erosione di fondo e laterale dei fiumi, legato ad opere antropiche lungo i corsi d'acqua concorrono ad aumentare i fenomeni erosivi che producono arretramenti della linea di costa, a cui vanno aggiunte quelle derivanti dalla presenza di opere portuali e opere di difesa litoranea, spesso mal progettate (Gisotti, 2020). Nei territori costieri possono manifestarsi anche accrescimenti della linea di costa con indesiderati o dannosi effetti di insabbiamento di opere portuali. Un caso significativo è rappresentato dalla città di Ravenna, che ora dista alcuni km dal mare ma che,

ai tempi dell'antica Roma, era affacciata sul mare con un importante porto. L'avanzamento naturale della linea di riva ha portato la città lontano dal mare.

Le coste calabresi hanno subito nel corso dei secoli numerose modificazioni dovute sia alla progradazione del litorale sia ad eventi erosivi che agli effetti di una risalita del livello del mare più o meno rapida. Le testimonianze bibliografiche fanno intravedere la presenza di siti archeologici realizzati in situazioni morfologiche ben diverse da quelle attuali, a testimonianza dello stretto rapporto fra mare e comunità umane. Strutture sepolte dagli accumuli sabbiosi o, al contrario, demolite da una energica azione erosiva sono da tempo svanite. Negli ultimi decenni le poche strutture conservate stanno subendo gli effetti delle azioni erosive marine al punto da correre il rischio che esse scompaiano per sempre. Situazione grave e il cui rimedio passa attraverso progetti pluridisciplinari redatti da geologi, ingegneri, architetti e archeologi (Lena & Bonomi, 2012).

6. LE MISURE PER MITIGARE I FENOMENI DI DISSESTO IDROGEOLOGICO E LE MODIFICHE DEL PAESAGGIO

Come intervenire sul territorio e sul paesaggio a rischio idrogeologico? Secondo gran parte dei geologi italiani è innanzi tutto necessario abbandonare il concetto dello sviluppo finalizzato alla sola crescita economica, e abbracciare l'idea della sicurezza e della bellezza. Vitruvio, sosteneva che i parametri fondamentali dell'architettura erano: la *firmitas*, cioè la struttura statica, ossia la valutazione di sicurezza; la *utilitas* la funzionalità; e la *venustas*, vale a dire l'estetica ossia la bellezza. Questi criteri sono, secondo gli scriventi, punto di partenza per progettare i Piani di intervento attraverso interventi strutturali e non strutturali atti a mitigare il rischio idrogeologico, per affrontare le future trasformazioni e le sfide innovative che attendono il nostro Paese. L'identificazione della probabile area di inondazione in un definito tempo di ritorno è una necessità cruciale per la razionale pianificazione dell'uso del suolo in una pianura alluvionale (Gisotti, 2007b). La Direttiva 2007/60/CE "relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni" dispone che, per ridurre i danni all'ambiente, al patrimonio culturale (anche al paesaggio) apportati dalle alluvioni, gli stati membri producano dei Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA). Questi prevedono l'utilizzo integrato di misure di prevenzione, protezione con sistemi di allertamento della popolazione.

Tra le misure strutturali per gestire il rischio di alluvioni e la protezione dei centri abitati, in passato venivano costruite opere rigide, come arginature in muratura e canali scolmatori, che anche se hanno messo in sicurezza i centri abitati hanno avuto un grosso impatto sul paesaggio naturale ed urbano, come la costruzione dei muraglioni del Tevere a Roma (Di Loreto e Gisotti, 1994). Questa grande operazione di ingegneria idraulica, costituì la fine di un continuo e periodico pericolo di alluvioni nella città, ma modificò il rapporto della città con il suo fiume, fino allora navigabile. Furono demolite le case disposte sulla riva e gli importanti Porti fluviali di Ripa Grande e di Ripetta, scomparvero gli antichi mulini attraccati all'Isola Tiberina. Fu così perso il caratteristico e suggestivo scenario di vita lungo il Tevere. Sono invece da preferire opere aventi lo scopo esclusivo di laminazione delle piene, come le casse d'espansione (*Fig.* 10).

Figura 10. La Cassa d'espansione è un'opera idraulica che viene realizzata per contenere e ridurre la portata durante le piene di un corso d'acqua. Si tratta di un intervento che è coerente con gli aspetti geomorfologici presenti, di solito non incide in modo negativo sui caratteri ambientali dell'unità di paesaggio di piana alluvionale

Quando la portata di piena supera un dato valore di progetto, una parte viene derivata dall'alveo e immessa nell'invaso limitrofo, dal quale viene scaricata gradualmente. Il resto rimane in alveo, proseguendo verso valle con portate minori. Al fine di ridurre il rischio idraulico e riqualificare un corso d'acqua, sono da favorire gli interventi di Ingegneria naturalistica e di rinaturazione degli alvei, in quanto poco impattanti sull'ecosistema fluviale, con costi assai minori rispetto a quelli delle opere rigide (Gisotti, 2007a).

Per quanto riguarda il rischio geomorfologico, negli anni '60 del secolo scorso, vennero realizzate alcune opere faraoniche per la stabilizzazione di pendii instabili. Emblematico è il muro di contenimento di una ripida scarpata instabile che circonda l'abitato di Villapiana (CS), nel bacino del torrente Satanasso (*Fig.* 11). L'opera progettata e realizzata dalla Cassa per il Mezzogiorno inorgogliva i progettisti e gli abitanti. Come ben visibile nella figura il muraglione che circonda la scarpata rocciosa con le sue rigide forme geometriche è un elemento detrattore del paesaggio. L'opera poi è sovradimensionata rispetto all'abitato che si vuole difendere. Per la sistemazione delle frane si può ricorrere a misure, di minore impatto sul paesaggio, che riguardano la stabilizzazione superficiale, la protezione dei pendii, il ripristino della rete di drenaggio superficiale delle acque, e la manutenzione ed il ripristino dei terrazzamenti agricoli (Gisotti, 1991). Questi ultimi, che sono spesso utilizzati per coltivare vigneti e oliveti, sono il frutto di un intervento secolare dei contadini che per contrastare l'erosione del suolo hanno realizzato affascinanti paesaggi artificiali con i muretti a secco, i cosiddetti "Paesaggi di Pietra", recentemente iscritti dall'UNESCO nella lista degli elementi immateriali dichiarati "Patrimonio dell'umanità" (Gisotti *et al.*, 2020). Tali interventi sono peculiari del paesaggio

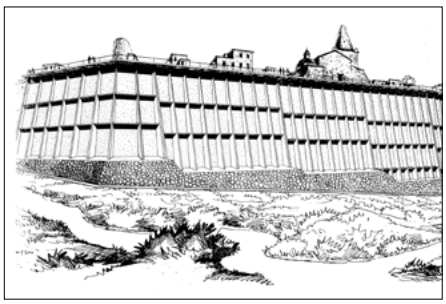


Figura 11. Villapiana, (CS). Intervento di stabilizzazione del pendio instabile per frana su un costone roccioso. L'enorme muraglione di sostegno, realizzato con rigide forme geometriche e sovradimensionato rispetto alle dimensioni del borgo che vuole difendere, ha un notevole impatto negativo sul paesaggio circostante

Figura 12. Paesaggio collinare delle sistemazioni agricole nella zona di Conegliano Valdobbiadene (TV). Il paesaggio dona un'impronta tipica per la sua bellezza e armonia, gli allineamenti di forme geometriche, adattate dall'uomo a cercare la miglior insolazione, danno sensazioni di pace e tranquillità che accolgono e distraggono le persone dalla frenesia di tutti i giorni

agrario tradizionale delle colline Venete, mirabile e ordinato, come nella zona di Conegliano Valdobbiadene dove si coltiva il vitigno del Prosecco (*Fig.* 12).

Per limitare la velocità di scorrimento delle acque superficiali e ridurre i fenomeni erosivi sono inoltre essenziali la tutela dei boschi e la riforestazione.

Gli interventi strutturali generalmente utilizzati per la difesa dei litorali dai fenomeni erosivi, sono: opere rigide; pennelli; barriere frangiflutti; ripascimento. Talvolta le stesse opere di difesa costiera hanno protetto la costa nel tratto interessato, ma hanno creato sensibili erosioni nei tratti di litorale limitrofi. Per una gestione sostenibile di questa unità geomorfologica e paesaggistica dei litorali sono da preferire interventi non strutturali (buone pratiche per la pulizia degli arenili, delimitazione di aree destinate alla ricostituzione delle dune costiere). Una conduzione delle zone costiere incentrata sulla sostenibilità può avere successo solo attraverso una ricerca di soluzioni tecnologiche adeguate per questo mutevole e fragile paesaggio.

7. CONCLUSIONI

Nel nostro Paese, negli ultimi dieci anni, registriamo un drastico aumento degli eventi meteorici estremi, piove sempre di più, in modo intenso e concentrato, con un aumento delle aree interessate da fenomeni di dissesto idrogeologico che modificano profondamente il paesaggio naturale e quello antropico.

Già mezzo secolo fa nel 1970, la Commissione De Marchi aveva ipotizzato uno scenario futuristico rispetto ai mutamenti climatici. Un campanello di allarme inascoltato che arrivava da una fonte istituzionale, in Italia la più autorevole. Nelle conclusioni della Relazione finale, la Commissione sottolineava: l'urgenza dei processi decisionali e la semplificazione nella fase autorizzativa dei progetti, con controlli rigorosi durante la realizzazione degli interventi e anzitutto indicava, come esigenza pregiudiziale, la periodica manutenzione delle opere per assicurare nel tempo la loro funzionalità. Tutti concetti di una straordinaria attualità. In linea generale i dissesti idrogeologici e le conseguenti alterazioni del paesaggio avvengono oltre che per fattori naturali soprattutto per cause antropiche (realizzazione di costruzioni in aree dichiarate a rischio idrogeologico dalle Autorità competenti; mancata o insufficiente manutenzione delle opere di difesa del suolo e degli alvei dei corsi d'acqua; abbandono delle zone montane), e gli incendi boschivi (la distruzione della copertura arborea infatti provoca il dilavamento del suolo da parte delle acque meteoriche che predispone il territorio ai fenomeni franosi). In tali contesti, si devono attuare misure atte a mitigare il rischio idrogeologico, che più volte scienziati e tecnici predicano, precisando nello stesso tempo che di fronte al cambiamento climatico e alla crescente urbanizzazione del territorio, sono necessarie le misure di adattamento ai cambiamenti climatici, ritirandosi dai territori a maggior rischio. Ad esempio quando è dimostrato che un'area costiera è destinata, a causa del crescente innalzamento del livello marino, ad essere lambita o sommersa dal mare in tempi medio-brevi, è illogico continuare a destinarla a qualsiasi uso abitativo, industriale o di servizi, ma prepararsi ad un suo uso utile per la difesa del suolo.

Lo stesso concetto vale per una determinata zona di pianura alluvionale, (soggetta, per la sua stessa morfologia pianeggiante e depressa, alle piene fluviali) che va destinata semmai a bacino di laminazione delle piene. Il geologo nell'esercizio della sua professione rispetta prima di tutto le normative vigenti, ma soprattutto valuta e conosce le leggi della natura che non prevedono amnistie o condoni. I problemi ambientali, sempre più delicati e tragici da affrontare nel nostro Paese, richiedono, la presenza costante del geologo in tutti i contesti sociali, culturali, economici e territoriali. La crisi economica non può e non deve diventare l'alibi per non affrontare un problema che non è più rimandabile e che si ripresenta, ormai con cadenza insopportabile, in ogni parte d'Italia. Dobbiamo ricordare che la gestione del territorio non è un costo ma un volano per l'economia, oltre che indicativo del grado di civiltà di una nazione. Per uscire dalla logica dell'emergenza, serve puntare sulla prevenzione andando a ridurre il rischio migliorando le competenze professionali degli operatori e aumentando la consapevolezza dei cittadini. È necessario agire con maggiore autorità e coinvolgere la società, rendendo il pubblico consapevole dello stato reale della terra in cui viviamo: in che modo comprendere che il territorio può essere fonte di rischio o risorsa (Lugeri, 2019). Nell'attuale scenario legato ai cambiamenti dei regimi climatici e all'innalzamento dei livelli marini, i geologi hanno il dovere geoetico di condividere conoscenze e strumenti interpretativi del paesaggio.

BIBLIOGRAFIA

Biondi F., Brondi A., Di Loreto E., Gisotti G., Marcolini L., Margottini C., Rossi R. (1994), *I paesaggi geologici italiani (4): I rilievi collinari sulle argille*. In: Materiali di Verde Ambiente, n. 5 settembre/ottobre, Roma.

CeNSU (2010), Atti della Commissione De Marchi del 1970 (Volumi I, II, III e IV) Ristampa digitale anastatica, a cura del CeNSU – Centro Nazionale di Studi Urbanistici" (https://www.censu.it/attivita/atti-della-commissione-de-marchi-1970/).

Di Loreto E. (2012), *"Ruolo della geologia nella redazione della Relazione Paesaggistica"*. Professione Geologo, Notiziario dell'Ordine dei Geologi del Lazio. N° 31, pp. 22-27.

Di Loreto E., Gisotti G. (1994), *Geologia e idrologia urbana di Roma*. In: Rivista Verde Ambiente, n. 6 novembre/dicembre, Roma.

Gisotti G. (1991), *Principi di geopedologia.* Calderini Ed., Bologna.

Gisotti G. (2007a), *Ambiente urbano. Introduzione all'ecologia urbana.* Flaccovio, Palermo. (Collana SIGEA di Geologia Ambientale).

Gisotti G. (2007b), *Acque, fiumi e paesaggi fluviali: una lettura in chiave idro-geomorfologica.* Geologia dell'Ambiente n. 4/2007, Roma.

Gisotti G. (2011), *"Le unità di paesaggio. Analisi geomorfologica per la pianificazione territoriale e urbanistica"*. Flaccovio, Palermo. (Collana SIGEA di Geologia Ambientale).

Gisotti G. (2012), *Il dissesto idrogeologico. Previsione, prevenzione e mitigazione del rischio*. Flaccovio, Palermo. (Collana SIGEA di Geologia Ambientale).

Gisotti G. (2016), *La Fondazione delle città. Da Uruk a New York*. Carrocci, Roma.

Gisotti G. (2020), *Geologia per archeologi*. Carrocci Ed., Roma.

Gisotti G. Giaccari E., Orifici M., (2020), "Atti dei Convegni sui: Paesaggi di Pietra". Pubblicato in Supplemento di Geologia dell'Ambiente, n. 3/2020.

Gisotti G. Zarlenga F. (2004), *Geologia ambientale. Principi e metodi*. Flaccovio, Palermo.

ISPRA, 2022 – *"Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio - Edizione 2021"*. https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/dissesto-idrogeologico-in-italia-pericolosita-e-indicatori-di-rischio-edizione-2021

Lena G. & Bonomi S. (2012), *Erosione costiera e monumenti archeologici in Calabria*. In: Atti del workshop Erosione costiera in siti di interesse archeologico. Isola del Lazzaretto Nuovo, Venezia, 2 - 3 ottobre 2010. Pubblicato in Supplementi di Geologia dell'Ambiente, n. 1/2012.

Lugeri F.R. (2019), *Lo studio del paesaggio per la prevenzione dei rischi naturali.* Rivista Prisma, Economia - Società - Lavoro. Fasc. 2018/3. Pagg. 97-112.

Piazza S. (2021), *"I laghi di frana nell'appennino romagnolo. Una prospettiva storico-geografica"*. Geo storie, XXIX, n. 1.

Un fenomeno di degassazione metanifera con fiamma libera nella perforazione di un pozzo artesiano (Provincia di Avellino, Campania, Italia)

A methane degassing with jet fire drilling an artesian well (Guardia Lombardi, Province Of Avellino, Campania Region, Italy)

Michele Sisto
Fondazione Sistema Irpinia, Avellino;
Sigea Campania-Molise
E-mail: sisto.cs@fondazionesistemairpinia.it

Antonio Di Lisio
Sigea Campania-Molise
E-mail: antoniodilisio@gmail.com

Parole chiave: Irpinia, Guardia Lombardi, emissioni metanifere, rischi naturali
Keywords: Irpinia, Guardia Lombardi, methane emissions, natural hazards

RIASSUNTO

A seguito di una perforazione finalizzata al condizionamento di un pozzo artesiano si è verificata la fuoriuscita di gas dal sottosuolo, con innesco di fiamma libera. L'area di terebrazione del citato pozzo è situata nel territorio del Comune di Guardia Lombardi, in Provincia di Avellino, in un settore dell'Appennino Campano ben noto per altre singolari manifestazioni geologico-strutturali, oggetto di numerosi e secolari studi scientifici, nonché per gli acclarati rischi emissivi di CO_2, H_2S, CH_4, IPA liquidi e gassosi. L'immediato intervento dei Vigili del Fuoco sul posto in esame è stato seguito da un sopralluogo degli scriventi, che hanno effettuato misurazioni finalizzate alla valutazione qualitativa dei gas emessi. Una apposita relazione ha poi illustrato la natura degli eventi occorsi in relazione al contesto geologico e, soprattutto, ha suggerito la realizzazione di interventi di messa in sicurezza, prontamente attuati sino allo spegnimento della fiamma libera e alla cessazione macroscopica delle emissioni gassose.

ABSTRACT

During the drilling of an artesian well, gas escaped from underground, triggering an open flame. The area of terebration of this well is located in the territory of the municipality of Guardia Lombardi, in the Province of Avellino (Campania Region), in a territory of the southern Apennine well known for other singular geological-structural manifestations, as well as known emission risks of CO_2, H_2S, CH_4, liquid and gaseous PAHs. The immediate intervention of the Firefighters at the site under investigation was followed by several inspection visits and the sampling of emitted gases aimed at the qualitative assessment. A technical report then illustrated the nature of the events that occurred in relation to the geological context. It also suggested the implementation of safety measures, which were promptly performed until the open flame was extinguished and the macroscopic cessation of gaseous emissions.

1. INTRODUZIONE

In Irpinia (Provincia di Avellino, Regione Campania), nel territorio del Comune di Guardia Lombardi, presso un'azienda privata della zona è stato terebrato un perforo da condizionare a pozzo per acque sotterranee, a soddisfazione dei bisogni idrici della citata azienda.

Nel corso delle operazioni di perforazione nulla lasciava presagire gli eventi successivamente descritti, tanto che a conclusione dei lavori – con installazione di pompa di sollevamento – iniziava anche una prova di pompaggio, protrattasi per alcune ore.

Secondo le testimonianze orali raccolte, la prova veniva interrotta a causa di un improvviso boato, cui seguiva l'innesco di un incendio a fiamma libera, con una colonna di fuoco emessa dall'interno del pozzo per un'altezza non inferiore ai 2 metri dal boccaforo.

Nell'immediato venivano predisposte le prime opere provvisorie di messa in sicurezza dell'area, oggetto di attività lavorativa e perciò altamente suscettibili di rischi per gli operatori presenti; ad esse seguiva un costante monitoraggio, condotto per le intere 24h da parte dei Vigili del Fuoco, fino al sollecito di intervento per una messa in sicurezza definitiva, con spegnimento della fiamma, recupero della pompa di sollevamento e successiva chiusura definitiva del pozzo.

L'evento in sé e l'ambito geologico in cui esso si è manifestato risultano di particolare interesse per i fenomeni che in esso si rilevano, che spaziano da quelli sismologici a quelli idrotermali e idrocarburici, fino ai risvolti storico-archeologico-religiosi che appaiono in strettissima connessione con quelli geologici (Sisto *et al.*, 2020). L'ambito, infatti, è quello della Valle d'Ansanto, collocabile in Irpinia centrale, che gli scritti di epoca romana (Virgilio, Seneca, Cicerone e numerosi altri autori classici) assegnano ai dintorni del geoarcheosito della Mefite, situata a pochi km di distanza dal sito in esame, nel territorio del confinante Comune di Rocca San Felice. Più recentemente, però, la delimitazione della Valle d'Ansanto, mai codificata in termini amministrativi, ha assunto una connotazione di senso più esteso sino a coinvolgere i territori di vari Comuni confinanti, nell'ottica di un recupero della memoria dei luoghi, delle sue notevoli emergenze e della valorizzazione in chiave turistica ed enogastronomica.

Nel corso del presente lavoro si forniranno un adeguato inquadramento geologico-strutturale dell'area, una sintesi delle manifestazioni più singolari che in essa emergono ed una descrizione particolareggiata degli interventi di messa in sicurezza del pozzo ad acqua dal quale si è generata l'emissione me-

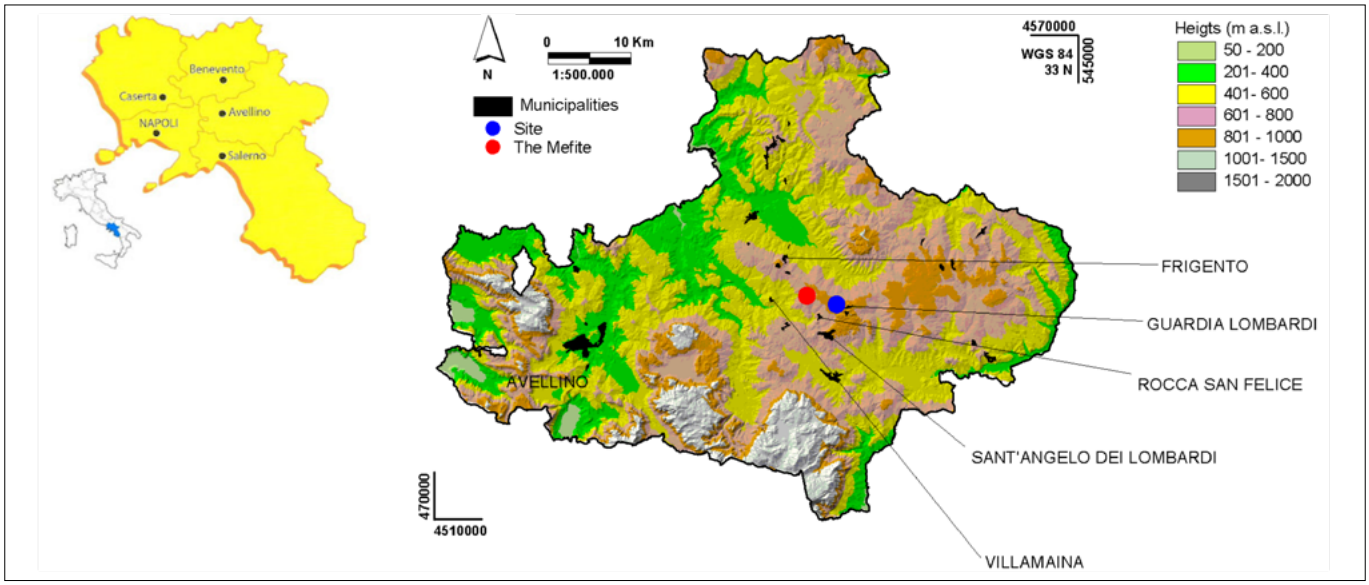


Figura 1. La Provincia di Avellino in un modello digitale del terreno (DEM), con la posizione del Comune di Guardia Lombardi

tanifera con sviluppo di incendio a fiamma libera.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO-STRUTTURALE DELL'AREA

La natura dei terreni presenti nel territorio comunale di Guardia Lombardi e la loro evoluzione stratigrafica e tettonica risultano collegate alla dinamica tettogenetica dell'Appennino Campano-Lucano. Esso, come parte dell'Appennino Meridionale, viene considerato una catena a falde di ricoprimento, con vergenza nell'insieme adriatica, derivata dalla deformazione dell'articolato bordo settentrionale del continente Africano e messasi in posto dal Miocene all'attuale.

Nell'area in esame, come si rileva dal dettaglio proposto in seguito, alcune dinamiche geologico-strutturali determinano condizioni di estremo interesse e non solo in termini strettamente scientifici.

2.1 Inquadramento geografico del sito

Il Comune di Guardia Lombardi è situato nel settore centro-orientale della Provincia di Avellino (*Fig.* 1) e si distende in un territorio caratterizzato da forme alquanto differenti in relazione all'altimetria, alla pendenza e all'esposizione dei versanti.

La Contrada Lagoni si trova in prossimità dello spartiacque tra i bacini idrografici del Fiume Ufita e quello del Fiume Fredane, volgendo verso N nel primo bacino indicato (*Fig.* 2). Il sito è individuabile alle coordinate geografiche: Lat. 40.961855, Long 15.195213 UTM 33T WGS84).

2.2 Gli aspetti geologico-strutturali

L'area in esame, dal punto di vista geologico, appartiene ad un contesto

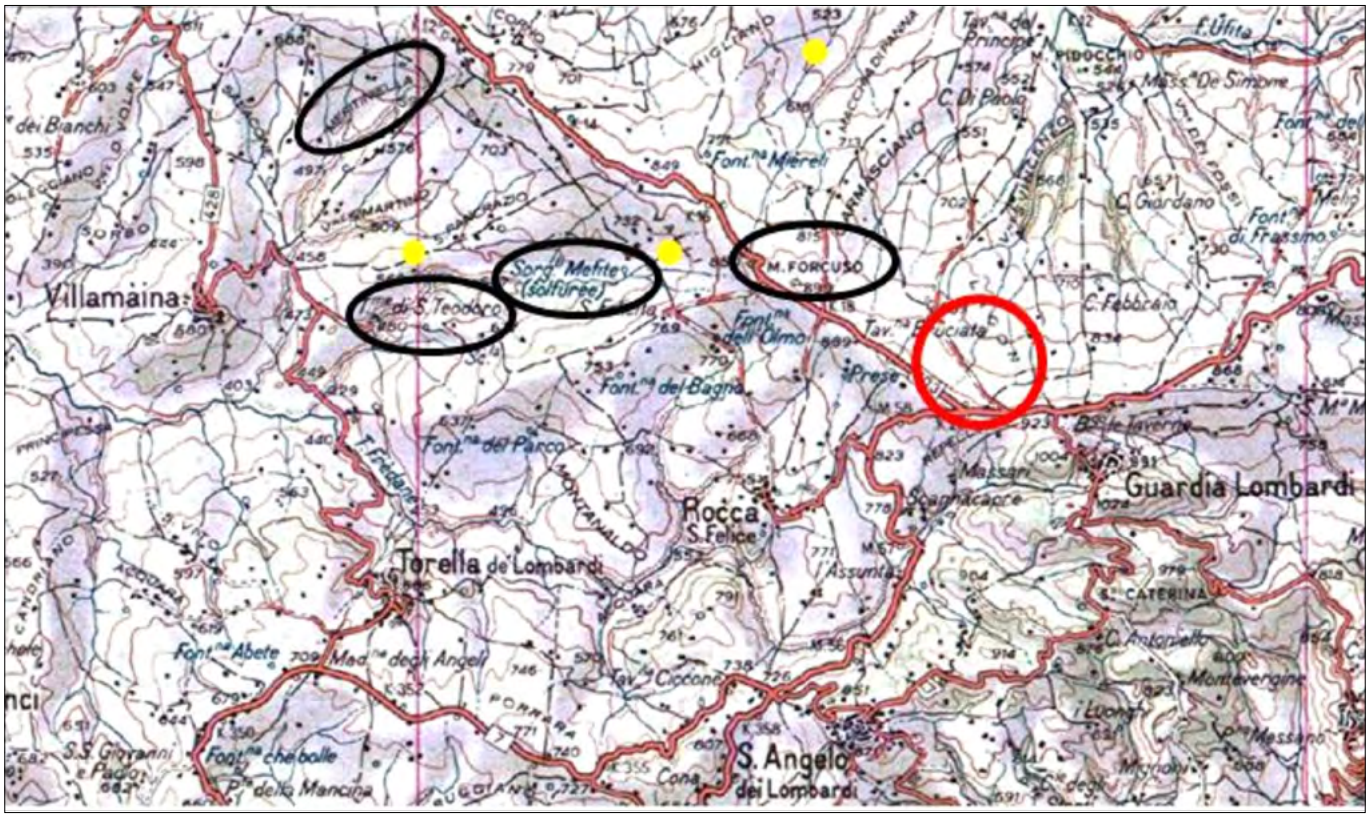


Figura 2. Stralcio dal Foglio 450 "Sant'Angelo dei Lombardi" (scala 1:50.000), per l'area di contrada Lagoni e alcuni dei luoghi di emissione gassosa e/o idrocarburica liquida citati nel testo, entro un raggio di circa 10 km dal sito in esame (alcuni pozzi con acque sulfuree o ribollenti sono indicati nei cerchi in giallo)

ascrivibile alla cosiddetta "Formazione di Corleto Perticara" (Selli, 1962) e un tempo identificata con la "Formazione di Frigento", così come confermato dalla Carta Geologica d'Italia, Progetto CARG, Foglio 450 "Sant'Angelo dei Lombardi" (simbolo CPA_a, scala 1:50.000). Fa anche parte delle c.d. Unità del Fortore (Pescatore *et al.*, 2008), unità litostratigrafiche di bacino pelagico meso-cenozoico, che dal Miocene medio è stato sottoposto ad una fase di passaggio da dominio di avampaese ad un settore di avanfossa subsidente.

In particolare, i materiali appartengono alla litofacies arenaceo-marnosa che costituisce la parte superiore della Formazione e sono costituiti da alternanze di calcari litoclastici, calcari marnosi grigiastri, marne calcaree policrome, calcareniti grigio-avana in strati sottili e medi, ai quali talora si alternano argille marnose verdastre e più rare arenarie torbiditiche (*Fig*. 3).

L'età della Formazione di Corleto Perticara è riferita all'Eocene – Miocene inferiore. Le facies sono di ambiente marino più o meno profondo, con apporti torbiditici e la loro messa in posto è di natura tettonica. Gli spessori sono valutati intorno ai 600 metri e già a ridotta profondità, tali depositi di substrato si incontrano al di sotto degli orizzonti di alterazione che li ricoprono.

Molto prossimo al sito in esame fu terebrato, nel 1961 a cura dell'AGIP, il pozzo profondo, a scopo esplorativo, denominato Monte Forcuso 1, fino alla profondità di 1.800 m dal p.c.. Nei primi 100 m di profondità di questa trivellazione profonda vennero individuati materiali prevalentemente argillosi, intercalati da depositi calcarei e calcareo-marnosi, con noduli di selce (*Fig*. 3 c).

3. IL SITO DI CONTRADA LAGONI E LE PRINCIPALI MANIFESTAZIONI GEOLOGICHE NELL'AREA

Il substrato geologico del sito in esame ed i processi di modellamento dei versanti e di erosione ad opera degli agenti esogeni hanno conferito al paesaggio l'attuale aspetto.

Tale paesaggio è noto nella letteratura specialistica per essere caratterizzato in più punti da interessanti manifestazioni della dinamica endogena. In esso, infatti, si registrano:

1. una notevole attività tettonica, esplicatasi con movimenti verticali che hanno provocato un cospicuo sollevamento della fascia orientale di catena lungo la quale è ubicata questa parte dell'Irpinia. Essa non si è ancora completamente esaurita, come testimoniano i vari sismi che periodicamente interessano l'intera area, ma accanto alla componente compressiva ritenuta un tempo la sola presente, ormai è acclarato un regime tettonico distensivo;
2. possibili risorse geotermiche a medio-bassa entalpia, tra le più significative di questa parte dell'Appennino Meridionale in area non vulcanica (Inversi *et al.*, 2013; Niederau *et al.*, 2015); Lombardo *et al.*, 2015);
3. tracce di possibili giacimenti di idrocarburi liquidi, diffusi in tutto l'areale compreso tra il Comune di Gesualdo e quello di Guardia Lombardi, lungo l'asse della Catena occupato dallo spartiacque Ufita-Fredane, peraltro già noti da oltre un secolo (Galdi, 1931);
4. diffuse e talora cospicue emissioni gassose di vario tipo e genesi differente (Duchi *et al.*, 1994; Italiano *et al.*, 2000; Minissale, 2004; Chiodini *et al.*, 2010); EDISON GAS, 1994 per la stratigrafia del pozzo Monte Forcuso1.

3.1 L'elevata sismicità dell'area

Il settore dell'Appennino su cui insistono i luoghi citati nel presente lavoro è attraversato da importanti faglie orientate SW-NE, quali ad esempio la Benevento-Buonalbergo, la Parolisi-Grottaminarda, la Bagnoli Irpino-Torrente Calaggio e la San Fele-Vulture, che interrompono in vario modo la continuità delle strutture principali orientate SE-NW. Queste faglie trasversali, quindi, hanno determinato diverse evoluzioni recenti dei vari settori di catena da esse delimitati; in corrispondenza di queste strutture superficiali, inoltre, si possono riconoscere faglie profonde che a cui è associabile una sismogenesi secondaria, mentre la micro-sismicità si localizza in particolare nei primi 15 km di profondità (*Fig*. 4).

In ogni caso, la gran parte dei terremoti che hanno interessato l'area nel corso degli ultimi secoli rientra nell'ambito della zona 927 della zonazione sismogenetica ZS9 (Stucchi *et al.*, 2004), laddove si è riscontrato il massimo rilascio di energia legata alla distensione generalizzata che ha interessato l'Appennino meridionale a partire da ca. 0.7 Ma (Patacca *et al.*, 1990).

Decisivo è anche il ruolo delle trappole crostali, che ormai sembra essere strettamente correlato alla degassazione da CO_2 di origine tettonica rispetto agli scuotimenti sismici, sia nel numero che nella magnitudo dei terremoti, così come testimoniano le registrazioni in molti settori dell'Appennino (Chiodini *et al.*, 2020). Tali fenomeni di degassa-

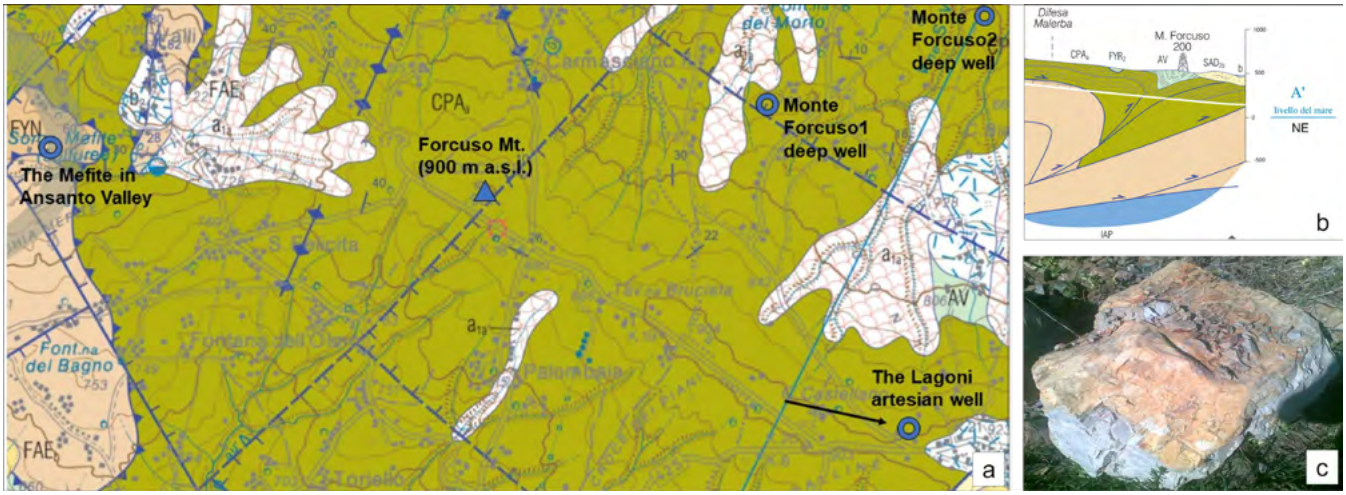


Figura 3. a) stralcio dalla Carta Geologica d'Italia (progetto CARG, scala 1:50.000, Foglio 450, con indicazione dell'area in esame); b) dalla stessa Carta, la sezione geologica relativa ai dintorni dell'area; c) i materiali calcareo-marnosi grigio-avana della Formazione di Corleto Perticara

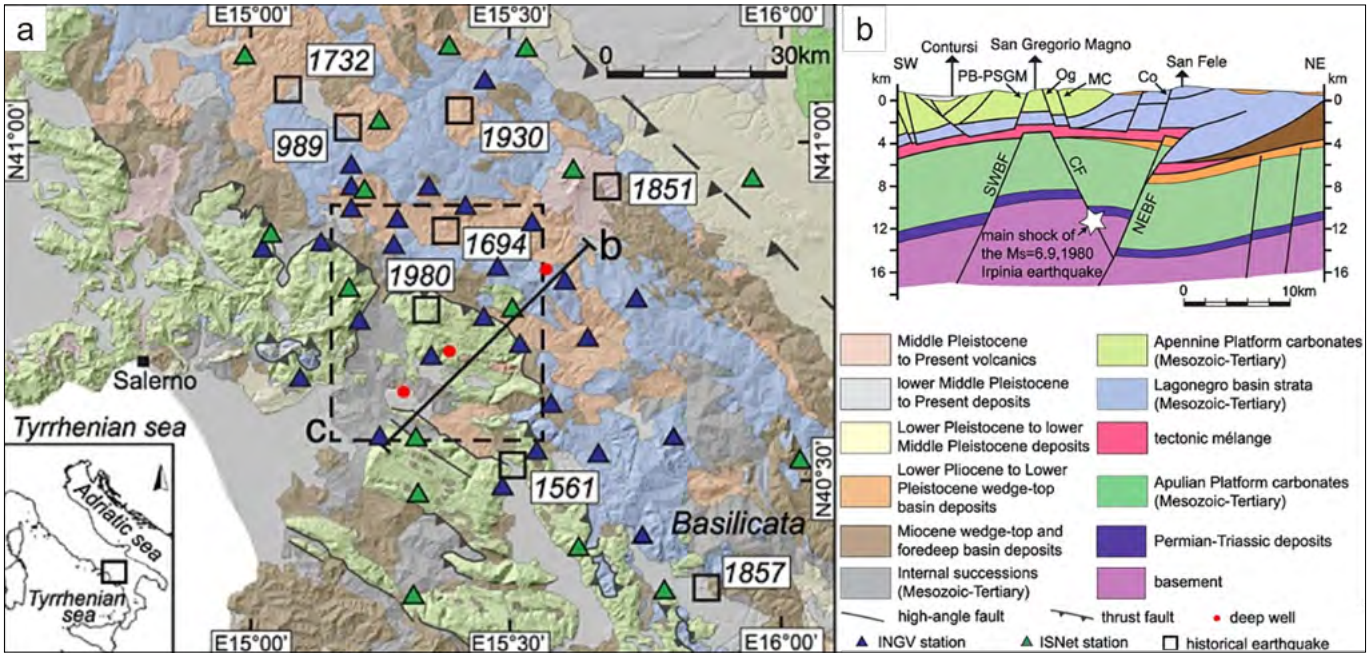


Figura 4. a) carta geologica schematica dell'Appennino meridionale, con indicazione delle stazioni sismiche e dei principali terremoti storici e recenti; b) sezione trasversale alla Catena, con indicazione dell'ipocentro del sisma irpino del 1980 (da Amoroso et al.*, 2014)*

zione, molto attivi nell'area di studio, sono riconducibili alla subduzione di strutture carbonatiche proprie della Placca Adriatica all'interno del mantello in area tirrenica.

3. Le prospettive geotermiche e il termalismo locale

In relazione al primo punto del precedente elenco, si può affermare che l'area presenta notevole interesse per le risorse di tipo geotermico (l'area è caratterizzata infatti da un flusso termico locale massimo di 90 mW/m, secondo Egigbo *et al.*, 2014), che allo stato non appaiono ancora soggette ad un adeguato sfruttamento.

Le stime di temperature effettuate con geotermometri che documentano temperature nel serbatoio geotermico sino ad almeno 124 °C (Duchi *et al.*, 1995) e già da tempo, come si rilevava nell'immediato post-sisma del 1980 (il massimo scuotimento dell'area negli ultimi 5 secoli), potrebbero offrire interessanti prospettive per la geotermia locale (Ortolani *et al.*, 1981). Del resto, la presenza di sorgenti termali ha consentito già forme di sfruttamento di superficie, come accade presso le sorgenti ipotermali di San Teodoro nel Comune di Villamaina, ove si praticano diverse forme di cura e la balneazione, utilizzando acque a temperature di 27-28°C (Macchia, 1838; Budetta *et al.*, 1988). Queste ultime presentano una composizione chimica che indica una circolazione lenta in terreni a prevalente matrice carbonatica, sono differenti per chimismo rispetto a quelle della Mefite e la loro origine è stata associata, secondo differenti ipotesi, all'acquifero carbonatico dei Monti Picentini (Ortolani *et al.*, 1981), ai monti della Daunia (Di Nocera *et al.*, 1999), ai termini carbonatici affioranti del "Flysch Rosso" con un probabile contributo di acque e gas da parte della piattaforma carbonatica Apula.

In studi più recenti come quelli del progetto VIGOR (Lombardo *et al.*, 2015) si sottolinea il ruolo di serbatoio geotermico profondo costituito dai depositi carbonatici fratturati cretacico-eocenici della Piattaforma Apula, con anomalie geotermiche nell'area di Guardia Lombardi che raggiungono regimi di pressione idrostatici e T = 125 °C tra i 1.100 m e i 2.300 m al di sotto del p.c., perfettamente in accordo con quelle stimate attraverso i geotermometri (Lombardo *et al.*, 2015). Tutto ciò rende credibile il potenziale di estrazione, con costi che sarebbero compensati dalla produzione di energia elettrica verso una rete di teleriscaldamento.

3.3 Le manifestazioni di idrocarburi

In merito al secondo punto, è nota da tempo l'esistenza di numerose manifestazioni di olio e gas in tutta l'area circostante Guardia Lombardi e Frigento (*Fig.* 5): ben 11 pozzi perforati nel biennio 1935-37 dall'AGIP nel territorio di Sant'Angelo tra da 286 e 1.364 metri di profondità; Nusco 1-2 (1955-57), Irpinia 1 (1954), Serroni 1 (1958, il più profondo, a 2.846 metri) e Serroni 2 (1959); Ciccone 1 (1982, a profondità di 2.673 metri) a cura della Edison Gas, dopo che Agip aveva già perforato nel 1979 il pozzo Bonito 1d (a profondità di 3.008 metri). La stessa Edison Gas annota: «*la società scrivente è attualmente fortemente convinta delle possibilità minerarie offerte da questo settore dell'Appennino campano, a tutt'oggi non comprese nella loro interezza. […] Ad esempio, infatti, si può ricordare la presenza di forti concentrazioni di manifestazioni più o meno superficiali di idrocarburi liquidi e gassosi nella zona di Sant'Angelo dei Lombardi. Questo dato ha consentito di focalizzare la ricerca nell'area in tempi passati e, una serie di sondaggi a bassa profondità, hanno rinvenuto abbondanti manifestazioni di oli*». (dal sito www.videpi.com).

Infine, i lavori non conclusi per la realizzazione della Strada a scorrimento veloce Lioni-Grottaminarda, posizionata a qualche km di distanza, hanno evidenziato, nei numerosi sondaggi geognostici trivellati per gli studi preliminari, sia la venuta di gas nei perfori terebrati, sia l'esistenza di vari tipi di idrocarburi che interessano i sedimenti di substrato, rilevati anche nelle analisi di laboratorio chimico a carico di campioni prelevati in foro.

Nonostante l'interesse delle compagnie petrolifere per tutto questo settore dell'Irpinia, è stato evidenziato che il rischio associato dalla presenza di serbatoi di CO_2 pressurizzati sotto e/o entro le sequenze determina un'implicazione negativa per l'industria degli idrocarburi. Infatti, tali sacche (*Fig.* 5) rendono pericolose le perforazioni (come accadde già nella terebrazione del Monte Forcuso 1) e, inoltre, i giacimenti fortemente contaminati dal biossido possono risultare problematici (Improta *et al.*, 2014).

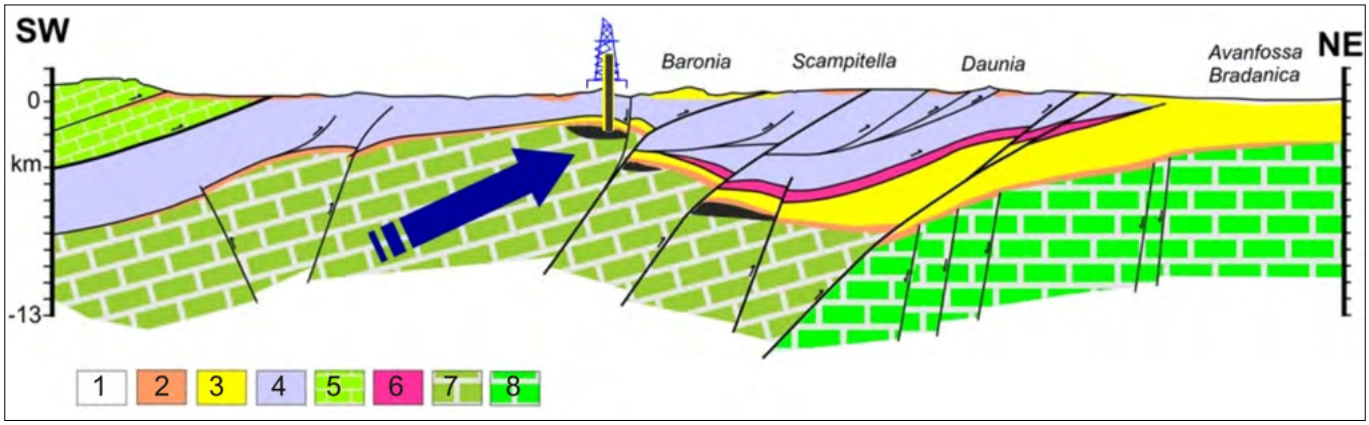


Figura 5. Sezione attraverso l'Appennino irpino e i probabili reservoir idrocarburici (da Ciarcia & Vitale, 2013)

3.4 Le emissioni gassose

Nel vasto areale dell'Irpinia centrale, a brevissima distanza dall'area di contrada Lagoni, è presente il geoarcheosito della Mefite in Valle d'Ansanto, che rappresenta la massima emissione di gas naturale ricchi di CO_2 a bassa temperatura, da ambiente non-vulcanico, mai misurata sulla Terra!

Tale emissione è alimentata da un serbatoio interrato, costituito da calcari permeabili e ricoperta da sedimenti argillosi, che produce un flusso di gas totale di circa 2.000 tonnellate al giorno (Mörner & Etiope, 2002; Chiodini *et al.*, 2010; Chiodini, 2014).

Difatti, l'emissione gassosa della Mefite d'Ansanto è costituita prevalentemente da CO_2 (circa 98%), con percentuali inferiori al 2% di N_2 e allo 0,2% di idrocarburi (C1-C4); il rapporto N2/Ar è pari a circa 1.000 (Chiodini *et al.*, 2010).

La composizione isotopica del carbonio della CO_2 indica che essa deriva principalmente dalla decarbonatazione di rocce carbonatiche con contributo minore di origine mantellica/magmatica e una percentuale ancora più piccola derivante da ossidazione di materia organica (Chiodini *et al.*, 2010).

Tra i gas emessi va notata la presenza di metano, pur se con una percentuale fortemente minoritaria (intorno allo 0,22-0,25%, *Tab.* 1), come è stato rilevato nelle misure di precisione effettuate nelle emanazioni gassose in situ (Duchi *et al.*, 1995; Minissale *et al.*, 1997; Minissale, 2004), non paragonabile minimamente a quella che si rileva, ad esempio, presso il geosito delle Bolle della Malvizza di Montecalvo Irpino, in altro contesto geologico-strutturale (Duchi *et al.*, 1995; Martinelli & Judd, 2004). Il TM^{13}C del metano e le concentrazioni degli idrocarburi (C1-C4) indicano comunque un'origine termogenica-geotermica per la scarsa aliquota metanifera che viene emessa alla Mefite (Lombardo *et al.*, 2015).

D'altro canto, di particolare importanza è l'emissione gassosa di H_2S (0.33 vol%), che conferisce al luogo la ben nota fama di sito maleodorante e mefitico (aggettivo che dal sito trae origine): il rapporto $H_2S/CO_2 \cong 0.0035$ è molto significativo, per cui, supponendo soglie di CO_2 del 5%, 10% e 15% si avrebbero concentrazioni di H_2S nell'aria rispettivamente di 165 ppm, 350 ppm e 525 ppm. Stando alle indicazioni dell'OMS, superato il valore di 300 ppm in H_2S, si rischia l'irritazione respiratoria ma alla soglia di 500 ppm si può giungere ad iperpnea seguita da arresto respiratorio (Chiodini *et al.*, 2010).

Vi è da dire, inoltre, che negli immediati dintorni del geoarcheosito (Di Lisio *et al.*, 2014) sono numerosi i punti di emissione di gas sotterranei, anche se le manifestazioni sono di gran lunga inferiori sia nella quantità che nella estensione. I fenomeni pseudo-vulcanici della zona hanno da sempre colpito l'immaginario delle popolazioni locali e non, tanto da rappresentare per una moltitudine di sommi autori latini un'antonomasia di sito pestilenziale e maleodorante e uno degli ingressi agli Inferi (una sintesi storica si trova in Sisto *et al.*, 2020 e in Sisto & Di Lisio, 2022).

Superata da diversi decenni l'ipotesi vulcanica, la risalita lungo fratture di fluidi profondi è ormai la spiegazione più condivisa (Ortolani *et al.*, 1981). Gli studi del nuovo Millennio correlano tale risalita alla presenza degassante della Piattaforma Apula come substrato profondo (Pischiutta *et al.*, 2013) e/o alla subduzione della Placca Adriatica (Chiodini *et al.*, 2004; Improta *et al.*, 2014), vedi *Fig.* 6.

Tabella 1. Emanazioni gassose alla Mefite di Ansanto

Gas (%)	Duchi *et al.*, 1995	Minissale, 2004
CO_2	97,4	98,236
N_2	2,02	1,163
CH_4	0,248	0,2228
H_2S	0,324	0,3167
Rn	---	0,4
O_2 + Ar	0,008	0,0528 + 0,0007
CO	---	< 0.001
H_2	---	0,0026
C_2H_6	---	0,0021
C_3H_8	---	0,0006
C_4H_{10}	---	< 0,0005
d^{13}C	---	0,73
Idrocarburi aromatici.	tracce	Tracce

4. Gli eventi del novembre 2020 e le misurazioni dei gas effondenti dal pozzo

In data 1 novembre 2020, per necessità connesse alle attività di una azienda locale, si dava inizio a lavori di perforazione per il condizionamento di un pozzo ad acqua, mediante carotaggio a distruzione di nucleo.

Le operazioni potevano ritenersi concluse nel tardo pomeriggio, tanto

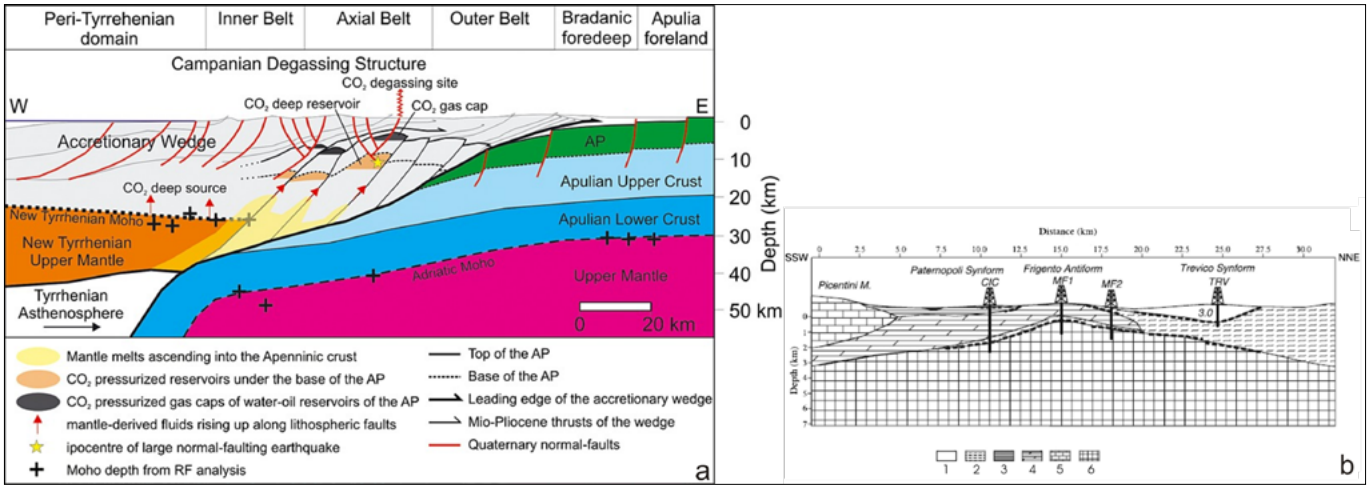


Figura 6. Sezione attraverso la Catena (da Improta et al.*, 2014)*

Figura 7. Immagine ravvicinata della fiamma libera al boccaforo, nelle ore successive all'evento esplosivo (Foto: Vigili del Fuoco di Avellino) e alcune fasi del campionamento del gas emesso dal pozzo in fiamme. Il gas è stato prelevato prima che a contatto con l'ossigeno presente in aria potesse bruciare modificando la sua composizione

che veniva posizionata all'interno del perforo una elettropompa ad immersione di notevole capacità.

Durante il giorno successivo iniziavano i pompaggi, che mostravano una discreta disponibilità di acque sotterranee e si protraevano per circa 2 ore.

Stando alle testimonianze orali, si udiva all'improvviso un forte boato, seguito da un getto a fiamma libera da gas infiammabile, che si innalzava dal boccaforo per almeno 2 m (*Fig.* 7).

Dopo l'immediata comunicazione alle Autorità locali e ai Vigili del Fuoco, si provvedeva ad una iniziale messa in sicurezza del pozzo, dove la fiamma continuava ad essere attiva, predisponendo l'isolamento dell'area e la posa in opera provvisoria di un pozzetto di cemento di protezione.

A pochi giorni di distanza dall'evento, il 6 novembre, utilizzando i dispositivi di protezione individuali e tutte le possibili precauzioni del caso (considerando l'eccezionalità dell'attività effettuata), è stato eseguito il campionamento dei gas emessi (*Fig.* 7), a cura del Dr. Stefano Caliro (responsabile del Laboratorio di Geochimica dei Fluidi, della sezione di Napoli "Osservatorio Vesuviano") e del Dr. Rosario Alvino, dell'INGV.

La linea di linea di campionamento utilizzata è consistita in un tubo in acciaio inox (circa 2.5 m di lunghezza e 2 cm di diametro), che è stato inserito all'interno del foro a una profondità di circa 50 cm; ad esso è stato collegato a tenuta un tubo flessibile in teflon di circa 2 m, raccordato con un tubo in silicone di diametro adatto a collegare le ampolle per il campionamento.

In tal modo è stato possibile prelevare il fluido emesso prima che, entrando in contatto con l'ossigeno dell'aria, potesse bruciare. Dopo aver fatto fluire un volume di gas sufficiente a lavare la linea, pompandolo con l'ausilio di una siringa e un rubinetto a tre vie, sono state prelevate tre aliquote di gas in ampolle di vetro a due rubinetti.

Con l'ausilio di un detector è stata misurata la concentrazione di CO_2 nel gas emesso, che è risultata bassa circa 0.5% (5.000 ppm); pertanto, non sono state prelevate aliquote di gas con un campionamento a soda.

Le prime analisi chimico-isotopiche sono state eseguite il giorno stesso del prelievo presso il Laboratorio di Geochimica dei Fluidi dell'INGV, i cui risultati sono riportati in Tabella 2.

Considerando i risultati analitici, è stato possibile rilevare che il gas prelevato è costituito per la quasi totalità (oltre il 91%) da metano e da idrocarburi C2 (etano, ~4%) e C3 (propano, ~0.7%).

Tabella 2. Composizione del campione di gas prelevato dal pozzo in data 06-11-2020. Le concentrazioni sono espresse in percento, la composizione isotopica del carbonio del metano è espressa in notazione delta ‰ vs. V-PDB

Sample	data	Ar	O_2	N_2	CH_4	CO_2	C_2	C_3	δ^{13}CCH4 ‰
Guardia Lombardi	06/11/20	0.0376	0.633	3.08	91.2	0.57	3.9	0.7	-43.5

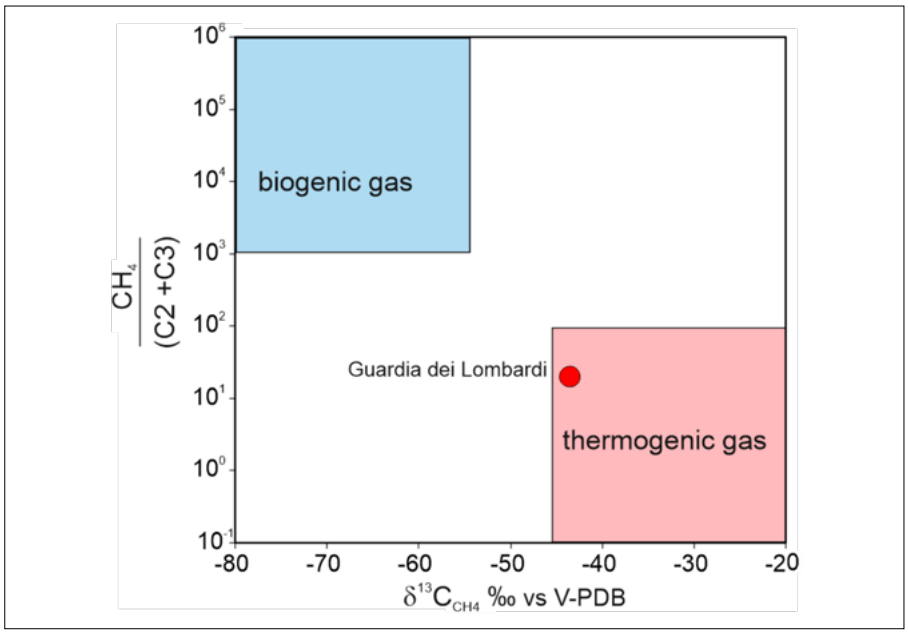


Figura 8. Diagramma $\delta 1^3C$ CH_4 vs. CH_4/(C2+C3), utilizzato per la classificazione dell'origine degli idrocarburi nei gas naturali (Bernard et al., *1976). La composizione del gas prelevato dal pozzo sito nel comune di Guardia Lombardi suggerisce un'origine termogenetica*

La concentrazione di CO_2 conferma le misure eseguite in situ con una bassa concentrazione di 5.700 ppm; minori quantità di N_2, O_2 e Ar presenti sono legate a possibili contaminazioni di aria durante il campionamento.

Da ciò si deduce che la composizione risulta essere decisamente diversa da quella delle manifestazioni note presenti nell'area (ad esempio presso la Mefite d'Ansanto, già illustrata in precedenza). La composizione isotopica del carbonio del CH_4 mostra un valore di -43.5‰ espresso in notazione delta riferito allo standard V-PDB.

Com'è noto, la degradazione microbica produce gas con rapporti degli idrocarburi C1 / (C2 + C3) maggiori di 1000, cioè quasi esclusivamente metano, con una composizione isotopica povera in ^{13}C caratterizzata da valori di $\delta^{13}CCH_4$ minori di -60 ‰. Processi petrogenetici producono un ampio spettro di idrocarburi a basso peso molecolare con rapporti C1 / (C2 + C3) minori di 100, e una miscela altamente complessa idrocarburi a peso molecolare superiore.

La composizione isotopica del metano prodotto da processi petrogenetici è normalmente arricchita in ^{13}C con valori di $\delta^{13}CCH_4$ più positivi di -50 ‰.

Utilizzando questi due parametri, per la classificazione dell'origine degli idrocarburi nei gas naturali, la composizione del gas prelevato dal pozzo in esame suggerisce un'origine termogenetica degli idrocarburi (*Fig*. 8).

In fase di post-monitoraggio, ci si propone di effettuare ulteriori analisi in situ, al fine di approfondire le conoscenze del particolare assetto geodinamico dell'area.

5. LA MESSA IN SICUREZZA DEL POZZO

In accordo con le indicazioni fornite dai Vigili del Fuoco e nel rispetto delle prescrizioni curate dagli scriventi, nei primi giorni seguiti all'evento combustivo si è provveduto ad un monitoraggio continuo del pozzo. Sono stati sollecitati, da più parti, interventi immediati a favore della incolumità di persone e cose, e pertanto gli scriventi hanno suggerito come prima misura cautelativa quella di allontanare gli operai e macchinari che potessero essere coinvolti, avendo tuttavia escluso la natura tossica dei gas emessi.

Di seguito sono descritte le modalità del fenomeno e sono indicate le misure e operazioni di intervento da attuare:

- il fenomeno occorso a carico del pozzo terebrato in contrada Lagoni è da relazionarsi al contenuto in oli e gas tipici delle formazioni geologiche affioranti nella dorsale Frigento-Guardia Lombardi, come ben noto alla letteratura geologica da diversi decenni;
- l'emissione gassosa liberata dalla perforazione è di certa origine metanifera o, al più, di una miscela gassosa di idrocarburi alifatici, a bassi punti di ebollizione, senza escludere percentuali di aromatici rilevati in tracce nei sondaggi per la realizzazione della Strada Lioni-Grottaminarda. Le temperature di ebollizione possono aver concorso all'accensione della fiamma libera, con caratteri simili al c.d *jet fire*;
- le operazioni di spegnimento, in accordo con i Vigili del Fuoco, sono state condotte attraverso l'iniziale immissione nel pozzo di acqua a gravità, seguita immediatamente da un fluido ad alta densità (miscela di bentonite e di materiali a grana finissima), evitando pezzature di dimensioni maggiori, al fine di evitare perdite di gas negli interstizi dei clasti. Si è posta particolare attenzione, inoltre, alla proibizione di utilizzo di schiume o materiali chimici che potessero interagire coi gas sotterranei e/o produrre fenomeni di inquinamento altrettanto deleteri. Visto, poi, che il pozzo presentava condizionamento, era assicurata la sua sigillatura laterale, per cui l'iniezione di bentonite è stata seguita, al termine dell'intervento, da una colata di cemento in foro tale da completare la chiusura omogenea del perforo, anche tenendo conto della sismicità dell'area. Tale chiusura è indirizzata altresì a contrastare la pressione esercitata dal gas sotterraneo, un tempo contenuta dalla pressione litostatica degli strati naturali di terreno;
- tutte le operazioni si sono svolte nel pieno rispetto della normativa riguardante la sicurezza dei lavori;
- le misure suggerite ed adottate hanno avuto al contempo i caratteri della rapida esecuzione e della definitività dell'intervento, senza però escludere il monitoraggio futuro del pozzo e dei luoghi circostanti.

6. CONCLUSIONI

Gli eventi occorsi in data 02 novembre 2020 alla Contrada Lagoni di Guardia Lombardi, a seguito della perforazione di un pozzo profondo da condizionarsi per il pompaggio di acque

sotterranee da parte di azienda privata, sono da relazionarsi alle complesse strutture geologiche che si rilevano in situ.

In particolare, il substrato geologico dell'area, costituito dai depositi della Formazione di Corleto Perticara, è da molto tempo indicato come ricco in idrocarburi, come testimoniano le numerose perforazioni effettuate nell'area.

Le prime misurazioni speditive effettuate in situ hanno evidenziano l'elevata componente metanifera dei gas emessi dal perforo, poiché in contesti geologici simili essa è ampiamente diffusa, come ad esempio a Tempa Rossa in Basilicata, nei pressi del Comune di Corleto Perticara (PZ), che ha dato il nome alla Formazione geologica. Pertanto, è da attribuire a queste ultime l'origine della combustione, mentre si esclude una diretta connessione con i fenomeni del famoso geoarcheosito della Mefite in Valle d'Ansanto, dove le emissioni gassose vedono la quasi totale prevalenza di biossido di carbonio e il raro metano emesso non deriva da azione di microorganismi ma esclusivamente da azione termica.

Restano tuttavia problematiche sia la definizione spaziale della sacca metanifera che la quantificazione di questi eventuali depositi sotterranei.

BIBLIOGRAFIA

Amoroso O., Ascione A., Mazzoli S., Virieux J. & Zollo A. (2014), *Seismic imaging of a fluid sto-rage in the actively extending Apennine mountain belt, southern Italy*.Geophysical Research Letters,41(11), 3802-3809.

Bernard B.B., Brooks J.M. & Sackett W.M. (1976), *Natural Gas Seepage in The Gulf of Mexico*. Earth and Planetary Science Letters, 31, 48–54.

Budetta P., Celico P., Corniello A., De Riso R., Ducci D. & Nicotera P. (1988), *Carta idrogeologica del F. 186 (S. Angelo dei Lombardi). Memoria illustrativa*. Mem. Soc. Geol. It., Vol. 41, 1029-1038.

Chiodini G. (2014), *Emanazioni gassose e pericolosità territoriale*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., XCVI (2014), 189-194.

Chiodini G., C. Cardellini C., Di Luccio F., Selva J., Frondini F., Caliro S., Rosiello A., Beddini G., Ventura G. (2020), *Correlation between tectonic CO2 Earth degassing and seismicity is revealed by a 10-year record in the Apennines, Italy.* Science Advances, Vol. 6, no. 35, DOI: 10.1126/sciadv.abc2938.

Chiodini G., Granieri D., Avino R., Caliro S., Costa A., Minopoli G., Vilardo G. (2010), *Non-volcanic CO2 Earth degassing: Case of Mefite d'Ansanto (Southern Apennines)*. Italy Geophys. Res. Lett., 37, L11303, doi: 10.1029/2010GL042858, 2010.

Chiodini G., Cardellini C., Amato A., Boschi E., Caliro S., Frondini F., Ventura G. (2004), *Degassamento e sismogenesi della terra dell'anidride carbonica nell'Italia centrale e meridionale*. *Geophys. Ris. Lett.*, 31, L07615, doi: 10.1029 / 2004GL019480.

Ciarcia S. & Vitale S. (2013), *Sedimentology, stratigraphy and tectonics of evolving wedge-top depozone: Ariano Basin, southern Apennines, Italy*. Sedimentary Geology, vol. 290, 27–46.

Di Lisio A., Russo F., Sisto M. (2014), *La Mefite nella Valle d'Ansanto (Irpinia, Campania): il valore paradigmatico di un geoarcheosito*. Geologia dell'Ambiente, 3/2014, 2-7.

Di Nocera S., Imperato M., Matano F., Stanzione D. & Valentino G.M. (1999), *Caratteri geologici e idrogeochimici della Valle di Ansanto (Irpinia Centrale, Appennino Campano-Lucano)*. Boll. Soc. Geol. It., 118, 395-406.

Duchi V., Minissale A., Vaselli O., Ancillotti M. (1995), *Hydrogeochemistry of the Campania region in southern Italy*. Elsevier, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol. 67, Issue 4, 313-328.

Galdi B. (1931), *La valle d'Ansanto nella leggenda e nella storia ed il petrolio di Frigento*, in *Atti e Mem. R. Acc. Sc., Lett. ed Arti in Modena*, ser. IV, vol. 3, pp. 24.

Improta L., De Gori P. & Chiarabba C. (2014), *New insights into crustal structure, Cenozoic magmatism, CO2 degassing and seismogenesis in the southern Apennines and Irpinia region from local earthquake tomography*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 119. 10.1002/2013JB010890.

Inversi B., Scrocca D., Montegrossi G., Livani M., Petracchini L., Brandano M., Brilli M., Giustini F., Recanati R., Gola G., Polemio M., Romi A., De Franco R., Caielli Gr., Testa B. (2013), *3D geological modelling of a fractured carbonate reservoir for the study of medium enthalpy geothermal resource in the Southern Apennines (Campania Region, Italy)*. 1-5.

Lombardo G., Amoresano A., Angelino A., Anselmi M., Bianchi B., Botteghi S., Brandano M., Brilli M., Bruno P., Caielli, G., Caputi A., Cardellicchio N., Carotenuto A., Cavuoto G., Chiarabba C., Chiesa S., Ciccolella M., Corniello A., Cuoco E., Varriale F. (2015), *VIGOR: Sviluppo geotermico nella regione Campania Studio di fattibilità a Guardia Lombardi Studio di fattibilità a Mondragone*. Edizioni CNR – IGG Area della Ricerca di Pisa.

Macchia P. (1838), *Sulla valle di Ansanto e sulle acque termo-minerali di Villamaina in Principato Ultra.* Napoli, Tipografia del Filiatre-Sebezio, pp. 54.

Martinelli G. & Judd A. (2004), *Mud volcanoes of Italy*. Geological Journal, 39, 49-61.

Minissale A., Evans W.C., Magro G., Vaselli O. (1997), *Multiple source components in gas manifestations from north-central Italy*. Chem. Geol., 142: 175–192.

Minissale A. (2004), *Origin, transport and discharge of CO2 in central Italy*. Earth-Science Reviews, 66, 89-141.

Mörner N-A & Etiope G. (2002), *Carbon degassing from the lithosphere.* Elsevier, Global and Planetary Change, vol. 33, 1-2, 185-203.

Niederau J., Ebigbo A., Marquart G., Gomez Mendoza S., Inversi B., Gola G., Scrocca D., Manzella A., Montegrossi G., Clauser C. (2015), *Assessment and simulation of various utilization scenarios of a medium-enthalpy reservoir in southern Italy (Guardia Lombardi).* Proceedings world geothermal congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.

Ortolani F., De Gennaro M., Ferreri M., Ghiara M. R., Stanzione D., Zenone F. (1981), *Prospettive geotermiche dell'Irpinia centrale (Appennino meridionale); studio geologico-strutturale e geochimico*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 100, 139-159.

Patacca E., Sartori R. & Scandone P. (1990), *Tyrrhenian basin and apenninic arcs: kinematic relations since Late Tortonian times*. Mem. Soc. Geol. It., 45, 425-451.

Pescatore T.S. & Pinto F. (2106), *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio 450 "Sant'Angelo dei Lombardi"*, a cura di Pescatore T.S. & Pinto F., edizione 2016.

Pescatore T.S., Di Nocera S., Matano F., Pinto F., Quarantiello R., Amore O., Boiano U., Civile D., Fiorillo L., Martino C. (2008), *Geologia del settore centrale dei monti del Sannio:nuovi dati stratigrafici e strutturali*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., LXXVII (2008), 77-94.

Pischiutta M., Anselmi M., Cianfarra P., Rovelli A., Salvini F. (2013), *Directional site effects in a non-volcanic gas emission area (Mefite d'Ansanto, southern Italy): Evidence of a local transfer fault transversal to large NW–SE extensional faults?* Elsevier, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 63, 116-123.

Selli R. (1962), *Il Paleogene nel quadro della Geologia dell'Italia Meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., 3, 737-790.

Sisto M (2013), *Il Vesuvio di Marciano Di Leo e l'eruzione del 1779. Saperi, iconemi, scritture geopoetiche.* Il Terebinto, Avellino, pp. 160. ISBN 978-88-97489-13-9.

Sisto M. & Di Lisio A. (2022), *Three centuries of geological observations by local and foreign intellectuals. The case of Central Irpinia in the Travels of Grand Tour (Southern Italy).* ROL, vol 56/2022, 11-20, DOI: 10.13140/RG.2.2.11114.03528.

SITOGRAFIA

EDISON GAS (1994), "Relazione geomineraria allegata all'istanza di permesso Atripalda". www.videpi.com/deposito/videpi/relazioni/356.pdf

Sisto M., Di Lisio A. & Russo F. (2020), *The Mefite in the Ansanto Valley (Southern Italy): a Geoarchaeosite to Promote the Geotourism and Geoconservation of the Irpinian Cultural Landscape*. Geoheritage, 12, 29. https://doi.org/10.1007/s12371-020-00450-x

Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Akinci A., Faccioli E., Gasperini P., Malagnini L., Valensise G. (2004), *Valori di Mmax, di b, completezze. Dati di ingresso per la redazione di MPS04 [Data set].* Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). https://doi.org/10.13127/SH/MPS04/INPUTDATA

Pseudo-carsismo e carsismo di Punta Solanto nella penisola di Capo San Vito (Sicilia Nord – Occidentale)

Roberto Grammatico
Geologo
E-mail: grammarob@gmail.com

Pseudo-karst and karst of Punta Solanto in the peninsula of Capo San Vito (Northern - Western Sicily)

Parole chiave: carsismo, stalattiti, neotettonica, terrazzi marini
Keywords: karst, stalactites, neotectonics, marine terraces

INTRODUZIONE

Il presente studio propone una correlazione tra gli eventi paleo-ambientali e geomorfologici con la formazione di cavità ipogee nel settore Est della piana di Capo San Vito (Sicilia nord - occidentale), dove è stato possibile studiare sia un carsismo tardo pleistocenico – attuale caratterizzato da fenomeni di dissoluzione "freshwater-seawater mixing lens" sia una cavità pseudo-carsica per vuoti interconnessi su corpo di frana dove si è attivata una fase di percolazione tale da formare concrezioni e speleotemi anche di notevole dimensione.

1. CARATTERI GEOGRAFICI

L'area di studio ricade nell'estremità nord-occidentale della penisola di Capo San Vito, tra le località Torre dell'Usciere e Seno del Secco (33S UC 044827475). È delimitata a Nord ed ad Est dal mare Tirreno, a sud dal rilievo di Monte Monaco e ad ovest dall'abitato di San Vito lo Capo. Altimetricamente risulta compresa tra lo 0 ed i 25 m s.l.m.

2. ASPETTI OROGENETICI, TETTONICI E GEOLOGICI

Il complesso orogenico dei Monti di San Vito è il risultato di una serie di eventi deformativi che si sono succeduti dal Giurassico all'attuale, interessando prevalentemente successioni sedimentarie deposte nel settore siciliano dell'antico margine continentale africano tra il Triassico ed il Pleistocene (Catalano *et al.*, 1995). I processi tettonici principali sono avvenuti nel Giurassico e nell'Eocene, deformando e portando a fasi di temporanea emersione la piattaforma carbonatica, seguita, tra il tardo Miocene ed il Pliocene, da deformazioni importanti che hanno portato all'emersione dei depositi di piattaforma in sistemi strutturati a trhust (Catalano *et al.* 1995); nel Pleistocene inferiore una fase tettonica distensiva ha smembrato i depositi in blocchi lungo piani di faglia ad andamento N-S, NE-SW, E-W, NW-SE proseguendo, nel Pleistocene medio, con una costante fase di sollevamento (Di Maggio *et al.*, 1999). L'edificio tettonico evidenzia la sovrapposizione di tre unità stratigrafico-strutturali derivanti dalle deformazioni dei domini Prepanormide, Panormide e Trapanese (Catalano *et al.*, 2002). L'unità geometricamente più alta risulta rappresentata dai terreni giurassico-miocenici Prepanormidi sovrapposti ai terreni in posizione intermedia Panormidi, a loro volta sovrapposti ai terreni Trapanesi. Su questi tre livelli strutturali carbonatici mesozoico-miocenici, poggiano in discordanza regionale le successioni clastico-terrigene dell'avanfossa miocenica ed i depositi terrigeni sintettonici pliocenici (Catalano *et al.*, 2002). L'area in oggetto rientra nell'unità stratigrafico-strutturale "Monte Monaco-Monte Sparagio" (*Fig.* 2) caratterizzata da una geometria ramp-flat con vergenza S-E e sistemi di faglie principali NE-SW ed E-W a componente compressiva e NW-SE a componente trascorrente destra (Catalano *et al.*, 2011) ed è costituita da depositi appartenenti al dominio panormide ed i litotipi affioranti nell'area di studio (progetto Carg - foglio 593 - Castellammare del Golfo) sono:

- sintema di Barcarello (Pleistocene sup.)
- calcilutiti della formazione Amerillo (Cretaceo sup. - Eocene)
- calcari di Piano Battaglia (Titonico sup. – Valanginiano)
- calcari della formazione Buccheri (Dogger – Malm)
- calcari dolomitici della formazione di Capo Rama (Trias sup. – Lias inf)

Figura 1. Localizzazione geografica

3. NEOTETTONICA DELL'AREA

L'evoluzione strutturale della Sicilia nord-occidentale post-pliocenica è stata caratterizzata, tra l'Emiliano ed il Siciliano, da fasi di subsidenza che hanno coinvolto i margini settentrionali dei rilievi montuosi con dislocazioni in blocchi lungo faglie distensive sub-verticali, seguite nel Milaziano da una fase di sollevamento costante ed ancora in atto: questi aspetti strutturali hanno fortemente delineato le attuali morfologie dei versanti montuosi (Di Maggio *et al.*, 2014). La penisola di Capo San Vito è stata oggetto di approfondite analisi macro e meso-strutturali individuando una recente tettonica tipo strike-slip sempre legata allo scontro tra la placca africana e quella europea con direzioni NNW-SSE e NW-SE che tagliano i depositi del primo Pleistocene nel settore di Castelluzzo, Piana di Sopra e Tonnara del Secco (Tondi *et al.*, 2006). Nel contesto di questo studio l'esecuzione di un'analisi strutturale dell'area ha evidenziato un deposito calcarenitico con paleo-fauna costituita da clamys, ostrea e pecten (*Fig.* 3e, 3f, 3g), riconducibile al sintema di Tommaso Natale quindi del Pleistocene medio: detto deposito risulta essere stato deformato da una

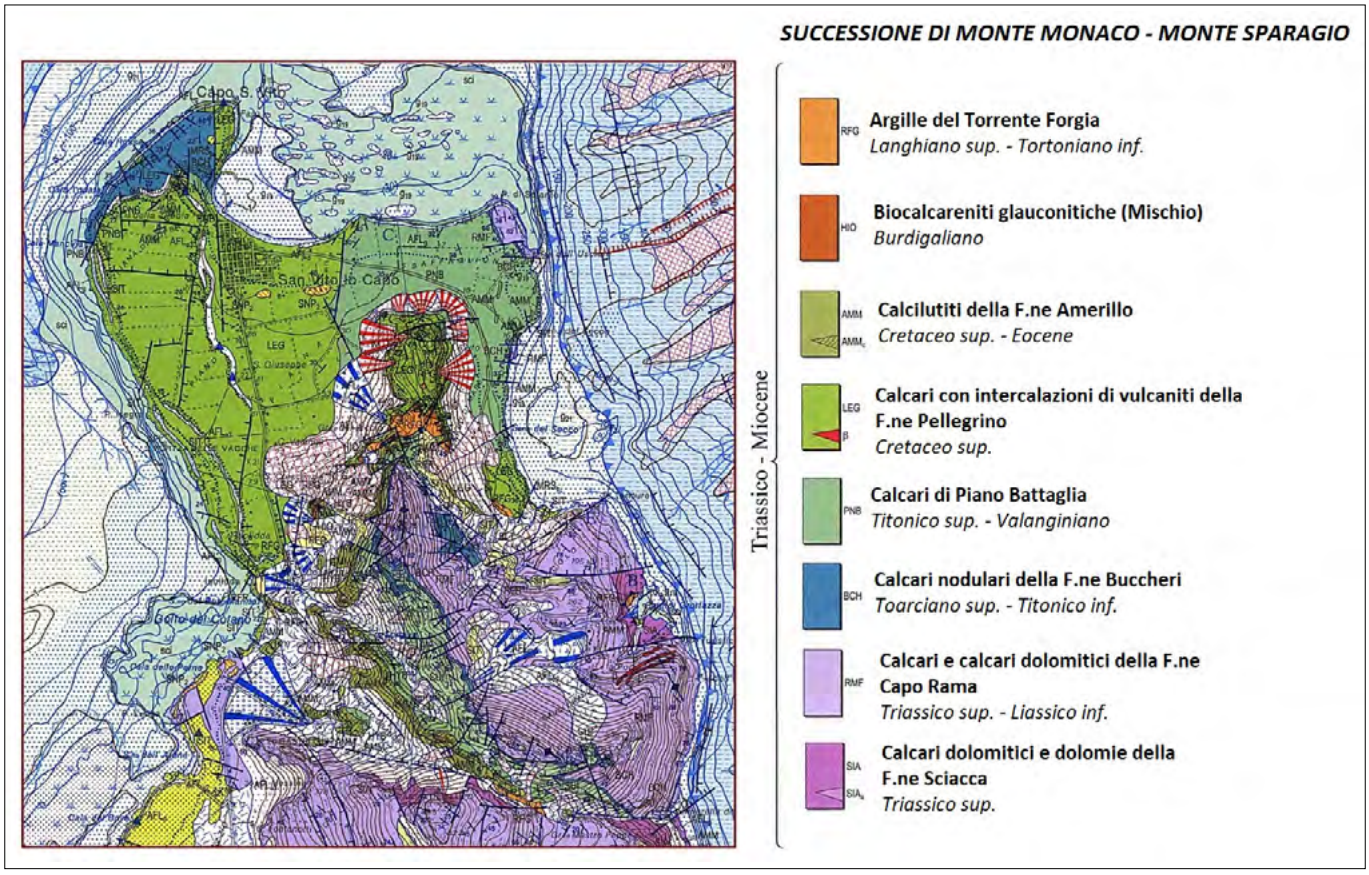


Figura 2. Stralcio carta geologica San Vito Lo Capo (TP) – Carta geologica d'Italia, Foglio 593, Castellammare del Golfo

fase neo-tettonica compressiva (*Fig.* 3c, 3d). Poco più in basso è presente una profonda faglia (circa 4 m) percorribile internamente per circa 100 m che ha letteralmente sganciato una porzione di costa facendola scivolare verso il mare (*Fig.* 3b). Al suo interno sono sprofondati alcuni blocchi di roccia coperti da uno strato rossastro ricco di resti fossili di grossi mammiferi e gasteropodi polmonati (*Fig.* 4), il chè evidenzia una tettonica distensiva risalente alla fine del Pleistocene.

4. ASPETTI GEOMORFOLOGICI ED IDROGRAFICI

La topografia dell'area è contraddistinta dalla dorsale dei Monti di San Vito con sviluppo N-S, contrapposta alle ampie pianure di abrasione marina terrazzate dei settori costieri che delimitano a nord e ad ovest la penisola di Capo San Vito. L'idrografia risente principalmente della configurazione orografica ed in parte dell'assetto strutturale: si hanno dunque sistemi di corsi d'acqua con asse principale E-W, trasversi all'asse della dorsale e corsi d'acqua con asse principale NW-SE coincidenti con le lineazioni tettoniche ed i contatti litologici (Catalano *et al.,* 2011). Sulla dorsale dei Monti di San Vito, dove affiorano rocce carbonatiche di piattaforma, oltre alla presenza di cavità carsiche sub-verticali sono presenti più ordini di superfici di spianamento, delimitate da scarpate legate agli stessi processi di spianamento oppure a scarpate di faglia, con ampie depressioni carsiche di tipo

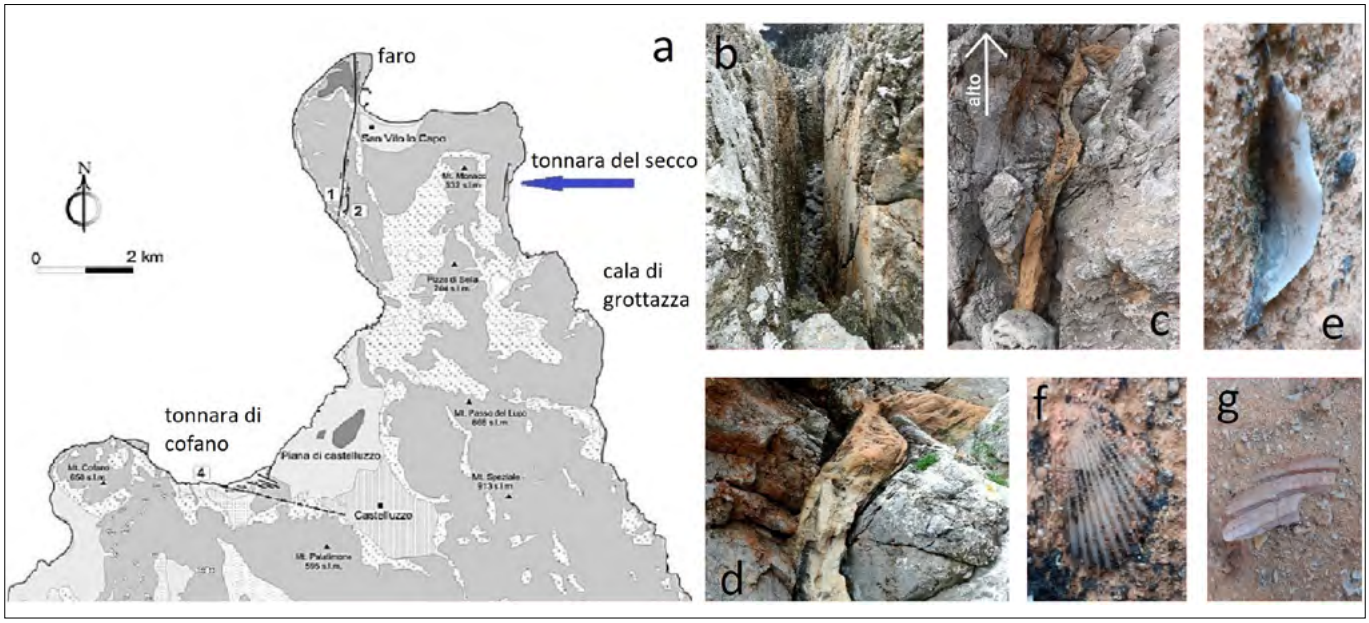


Figura 3. a) carta delle faglie attive della Sicilia NW (Abate et al., *1993); b) faglia attiva in località Tonnara del Secco; c) d) calcareniti coinvolte nei processi neotettonici; e) f) g) fossili presenti nelle calcareniti*

Figura 4. a) resto fossile di cervidae; b) associazione fossile di mammiferi e di gasteropodi polmonati; c) resto fossile di cervidae; d) gasteropodi polmonati

Figura 5. Ordini dei terrazzi marini della penisola di Capo San Vito

Ordine terrazzi	Datazione MIS	Quota m s.l.m.
VII	5a-c	1-5
VI	5e	7-18
V	7-9	15-40
IV	9-11	28-50
III	11-13	45-50
II	15-17	43-76
I	17-21	95-105

uvala allungate lungo l'asse N-S. Sono presenti diversi e profondi canyon fluvio-carsici che disseccano le ampie superfici di spianamento (Catalano *et al.*, 2011). Lungo i versanti dei rilievi si evidenziano diversi fenomeni franosi anche di dimensioni imponenti legati, sul versante occidentale, a fenomeni di deformazione gravitativa profonda o disgaggio per profonda deformazione tettonica (Nicoletti *et al.*, 1995) mentre, sul versante orientale, risulta legata a fenomeni di scalzamento e arretramento delle falesie o per sollecitazioni neotettoniche. La fascia costiera è caratterizzata da 7 ordini di terrazzi di abrasione marina (*Fig.* 5), ampiamente studiati su base biocronologica (Di Maggio *et al.*, 1999) (*Fig.* 6) e correlando le oscillazioni eustatiche alla neotettonica (Agnesi *et al.*, 2017), evidenziandone i diversi cicli di stazionamento del livello del mare (*Fig.* 5)

5. IL CARSISMO

La penisola di Capo San Vito, costituita prevalentemente da calcari di piattaforma, presenta diverse morfologie carsiche ipogee, differenziate dal punto di vista speleogenetico in base alla posizione all'interno dell'orografia del territorio: il rilevo montuoso presenta principalmente cavità carsiche con andamento prettamente verticale compreso trai i 10 ed i 60 m di dislivello e sviluppate su faglie strutturali mentre sui versanti esterni sono presenti cavità legate all'abrasione marina anche a quote elevate; le piane di abrasione marina e

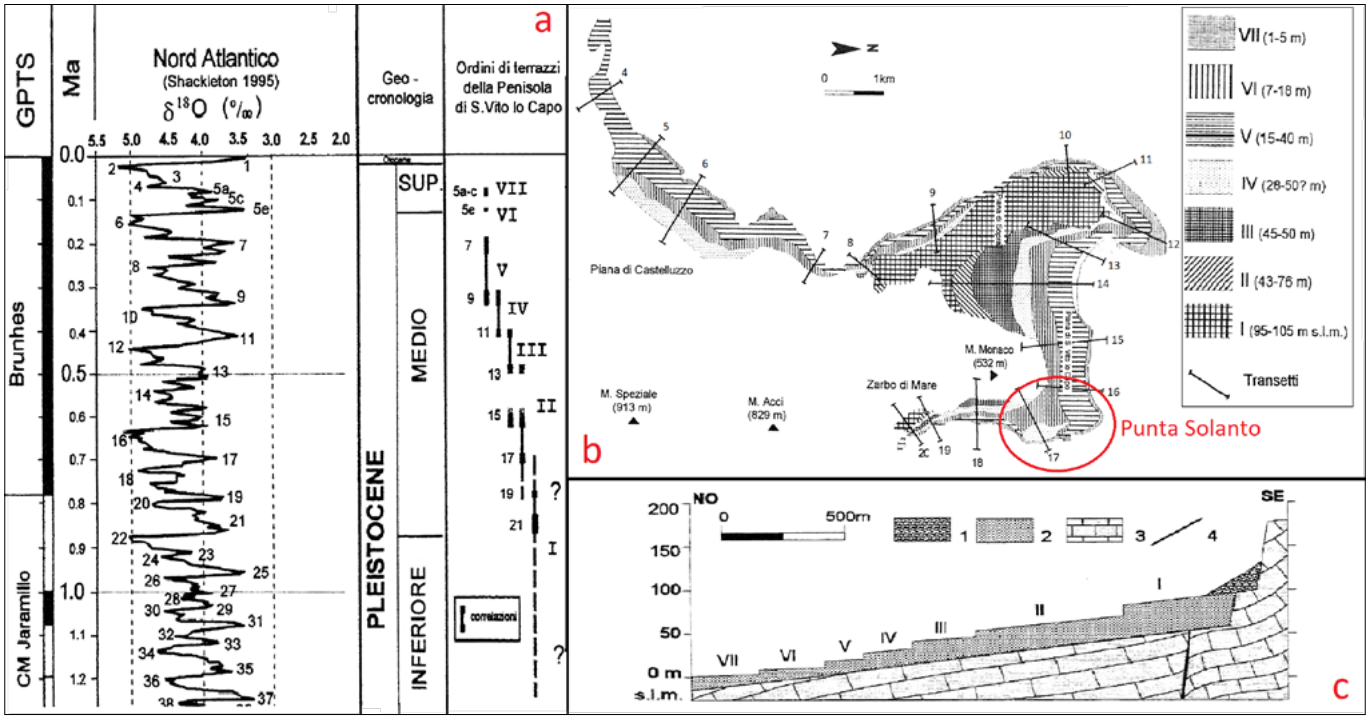
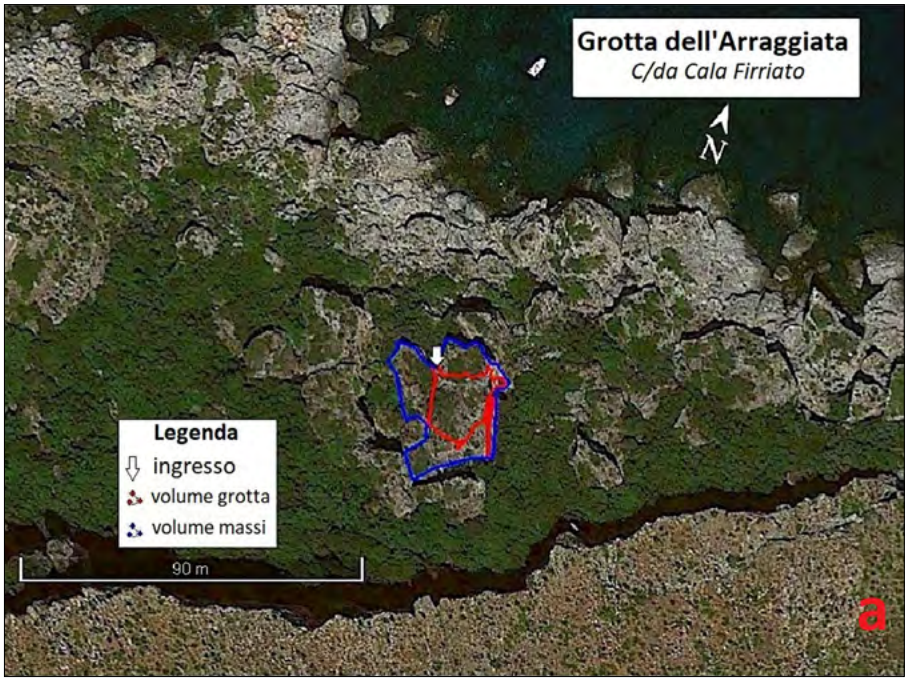


Figura 6. Schema dei terrazzi di abrasione marina della penisola di Capo San Vito da Di Maggio et al., 1999: a) schema di correlazione cronologico; b) sezione geologica schematica della successione dei terrazzi; c) distribuzione dei terrazzi marini di Capo San Vito



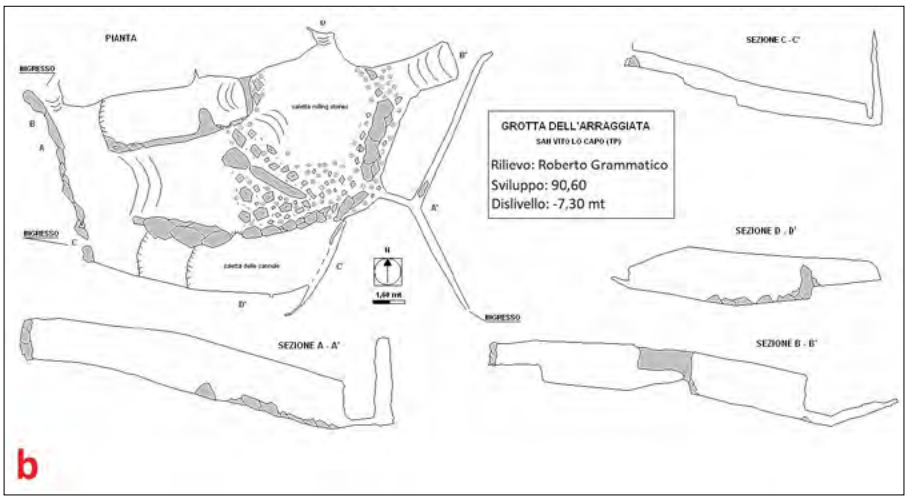


Figura 7. Grotta dell'Arraggiata a) immagine satellitare con traccia della cavità pseudo-carsica b) rilievo topografico e sezioni

le paleo-falesie presentano grotte marine, cavità di tipo "flank margine cave" e cavità per vuoti interconnessi da crollo.

6. FORME PSEUDO-CARSICHE

In località Case Firriato, nella porzione meridionale della cala "Seno del Secco" è riconoscibile una frana lungo la paleo-falesia con distacco di elementi clastici di dimensioni intorno ai 90/120 mc, accumulatisi fino all'attuale linea di costa. Il distacco è avvenuto lungo un piano di faglia NE-SW con accumulo clastico che ha coperto una superficie pari a 2.721 ha; questo evento ha anche interessato i depositi del sintema Capo Plaia ed evidenzia un interessamento della paleo - falesia fino alle porzioni modellate dal più recente terrazzo di abrasione neo-Tirreniano mentre tra alcuni blocchi è stato possibile riconoscere un trattoir a vermetidi (*Fig.* 8a) che in area limitrofa è stato datato a 200/400 anni; questi elementi fanno rientrare il fenomeno franoso di distacco e ribaltamento all'Olocene. L'accatastarsi ed incastrarsi di questi imponenti blocchi ha creato due cavità a vuoto unico interconnesso: la prima è la grotta "Pirtuso di Venere" il cui vuoto interconnesso risulta pari a 41 mc con uno sviluppo lineare di 23 m ed un dislivello di 6 m; la seconda è la "Grotta dell'Arraggiata" (*Fig.* 7) il cui vuoto interconnesso è pari a 567 mc per uno sviluppo lineare di 102 m ed un dislivello di 7 m. In entrambe le cavità l'infiltrazione delle acque è tale da permettere il concrezionamento e la formazione di speleotemi anche di notevoli dimensioni (*Fig.* 8b, 8c, 8d).

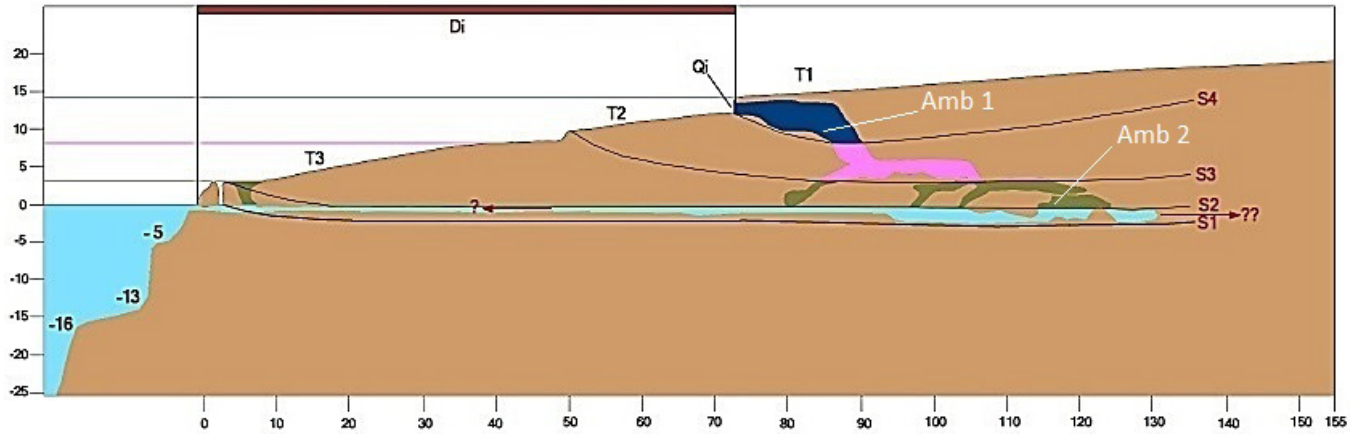
7. FORME CARSICHE

Nei pressi della Tonnara del Secco, a quota 12,90 m s.l.m. si trova l'ingresso della omonima grotta, già inserita nei siti di interesse geologico per la Regione Sicilia NAT-9SV-0015. Si tratta di una "flank margine cave" attualmente attiva nelle sue porzioni più profonde dove, attraverso passaggi piuttosto angusti, è possibile raggiungere le sale sommerse da acqua di mare, che si introduce attraverso le fratture che collegano la cavità all'attuale linea di costa (*Fig.* 9).

La cavità si sviluppa su quattro livelli di cui i primi tre fossili ed il quarto attivo. Il primo livello, subito dopo l'ingresso, presenta le caratteristiche forme di dissoluzione alveolare (*Fig.* 14c) legate all'azione di miscela acqua dolce/acqua salata, riconducibile allo stazionamento del livello del mare ad una quota > 15 m

Figura 8. a) trattoir a vermetidi; b) cannule con stillicidio; c) concrezioni calcitiche; d) speleotemi calcitici

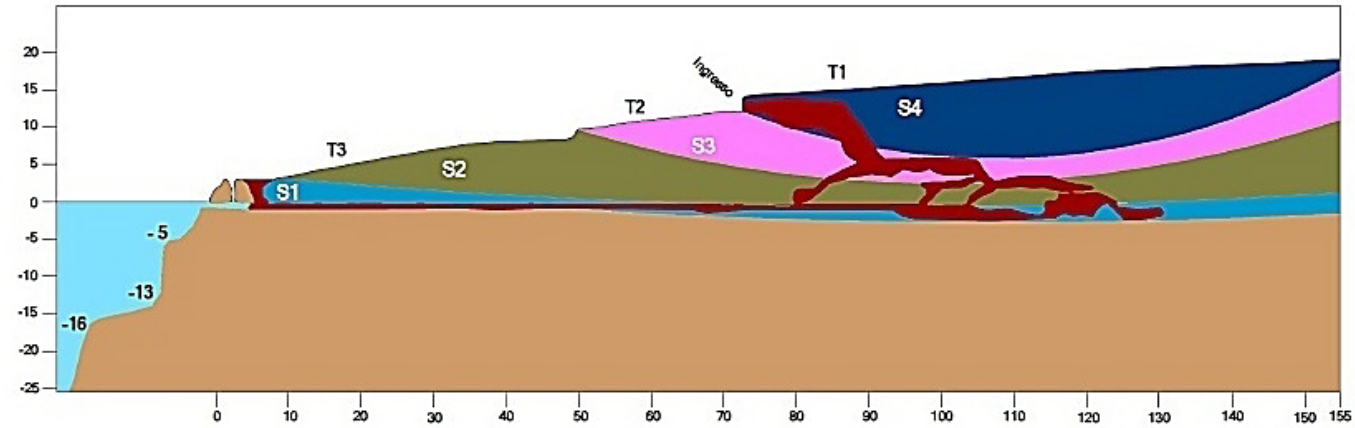
Figura 9. Immagine satellitare con traccia della cavità carsica e direzione di intrusione marina



Di: distanza linea di costa/ingresso grotta 72 m
Qi: quota ingresso grotta 12,90 m
Quota terrazzi marini: T3 3 - 9 m s.l.m.
T2 9 - 15 m s.l.m.
T1 > 15 m s.l.m.
Regressione "seawater-freshwater lens"
S4, S3, S2, S1

Amb 1: temperatura 25,6 °C umidità 69%
Amb 2: temperatura 21,5 °C umidità 98%
? tratto sommerso non percorribile
?? tratto sommerso non esplorato

Figura 10. Linea di costa con evidenza dei terrazzi di abrasione marina



Terrazzi marini	mixing water lens	MIS	datazione Ka
T3 3-9 m s.l.m.	S2-S1	5a	71-82
T2 9-15 m s.l.m.	S3-S2	5e	123-109
T1 > 15 m s.l.m.	S4-S3	7-9	243-337

Figura 11. Sezione della grotta e parametri caratteristici

Figura 12. Schema delle fasi di regressione marina

	Ciclo marino	Ka	MIS	Evento	Quota di superficie	Quota in grotta
Olocene	pre-boreale	7,9 ?		Regressione marina e genesi della stalattite sommersa		- 0,3 m s.l.m.
Pleistocene medio-sup.	Tirreniano III	71-82	5a	Abrasione terrazzo T3	1 - 3 m s.l.m.	1 m s.l.m.
	Tirreniano II - Tirreniano III	82-109	5e - 5a	Depositi Sintema Barcarello	4 - 12 m s.l.m.	5,8 m s.l.m.
	Tirreniano II	123-109	5e	Abrasione terrazzo T2	3 - 8 m s.l.m.	3,2 m s.l.m.
	Tirreniano I	243-337	7	Abrasione terrazzo T1	8 - 13 m s.l.m.	8,1 s.l.m.

s.l.m. (terrazzo T1 – V ordine); nei primi metri dopo l'ingresso si notano tracce di organismi litofagi che evidenziano l'apertura della cavità quando il livello del mare lambiva la quota dell'ingresso introducendosi all'interno della grotta.

Il secondo livello mostra ancora morfologie di dissoluzione alveolare e la sua formazione è riconducibile allo stazionamento del livello marino a quota 9-15 m s.l.m. (terrazzo T2 – VI ordine); in questo livello, a quota -5,8 m dall'ingresso è presente un accumulo di taglia arenitica con fossili polmonati (*Fig.* 14f), legato ad un apporto esterno presumibilmente riconducibile ai depositi prossimi all'ingresso appartenenti al sintema Barcarello (MIS 5a-5e). Il terzo livello è riconducibile allo stazionamento del livello del mare tra le quote 3 e 9 m s.l.m. (terrazzo T3 – VII ordine) ed è collegato alle porzioni attualmente sommerse della grotta dall'acqua marina che si infiltra dalla linea di costa attuale attraverso fratture strutturali con direzione ESE-WNW. Il quarto ed ultimo livello presenta 5 punti di affioramento dell'acqua marina, di cui 2 sufficientemente ampi da essere percorribili in modo semi sommerso (*Fig.* 14a). Nella sala sommersa più distante dall'ingresso si notano diverse stalattiti sommerse di circa 30 cm sotto il pelo d'acqua (*Fig.* 14d, 14e) il che evidenzia una fase di regressione marina che ha coinvolto questa fascia costiera.

Queste regressioni sono state studiate dall'Istituto Enea ed in particolare in una grotta costiera sommersa nella stessa area è stata analizzata una stalagmite sommersa sotto il pelo d'acqua di 30 cm, datandola a 7,9 - 7,2 Ka (Antonioli *et al.,* 2003); un'ipotesi alternativa potrebbe ricollegare questa fase di emersione della grotta al LIA (little ice age), con un temporaneo abbassamento del livello del mare di 40 cm, avendo testimonianza in aree costiere limitrofe alla grotta di trattoir a vermetidi posti a 0,3 m s.l.m. con datazione assoluta compresa tra i 0,45 e i 0,1 Ka (Antonioli *et al.,* 2002). Lo studio geomorfologico di superficie ha evidenziato la presenza di tre terrazzi di abrasione marina (*Fig.* 10), corrispondenti ai primi tre livelli interni di sviluppo della grotta a testimonianza che quest'ultima, nella sua evoluzione, ha seguito le fasi di regressione marina (*Fig.* 12). Inoltre, in allineamento con il piano di sviluppo della cavità, a circa 60 m dall'ingresso e 15 m dalla linea di costa è stata individuata una cavità di collasso anch'essa legata a dissoluzione acqua dolce/acqua salata. Infine a quota 5 m s.l.m. e quota 12 m s.l.m. sono stati individuati depositi del sintema Barcarello con presenza di resti fossili di gasteropodi polmonati equivalenti a quelli presenti all'interno della grotta.

8. CONCLUSIONI

La penisola di Capo San Vito è stata oggetto di svariati studi finalizzati all'interpretazione di peculiarità geologiche integrate e correlate alla geologia della Sicilia nord-occidentale, essendo particolarmente rappresentativa di tutti quegli eventi che hanno strutturato e modellato le fasce costiere nel Quaternario. Di particolare rilevanza sono gli studi sulla neotettonica per le evidenze di elementi sia strutturali che morfologici e gli studi sull'eustatismo quaternario che hanno delineato le morfologie

Figura 13. Schema degli eventi geologici che hanno caratterizzato le morfologie di superficie ed in grotta

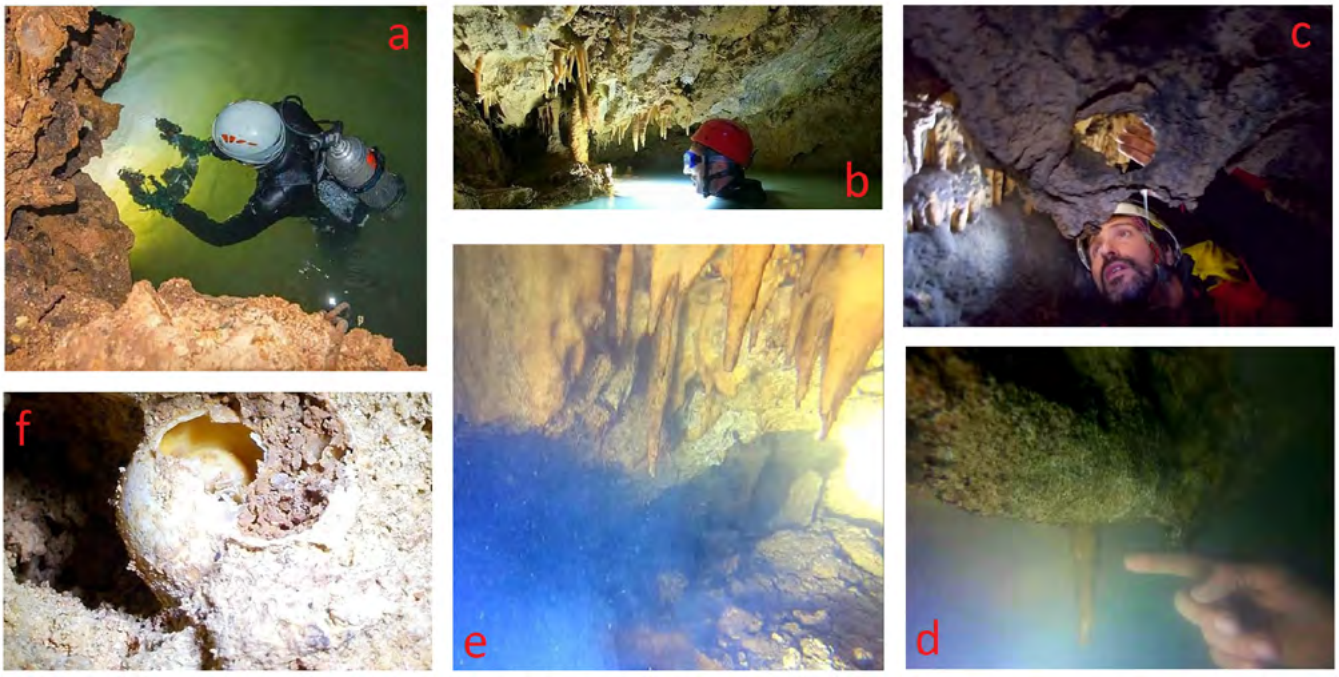


Figura 14. a) porzione sommersa della cavità; b) stalattiti sopra il livello attuale del mare; c) morfologie di dissoluzione alveolare; d) stalattite sommersa; e) stalattiti sommerse; f) fossili di gasteropodi polmonati

terrazzate sia costiere che sommerse con datazioni sia su base paleofaunistica che cronoradiometrica. L'eustatismo è proprio il fattore predominante costiero agendo progressivamente sulla paleo-falesia di Case Firriato, nella porzione più meridionale di Punta Solanto, scalzando alla base il fronte roccioso ed innescando il fenomeno franoso che ha accumulato voluminosi blocchi di roccia che nel loro particolare e casuale accumulo ha dato origine alle cavità pseudo-carsiche e modellando in senso verticale la cavità tipo "flank margine cave" il cui sviluppo, legato chiaramente all'intrusione di acqua marina, ha seguito le variazioni altimetriche dello zero marino a partire dal Pleistocene medio (*Fig.* 13), mostrando nelle attuali porzioni sommerse degli speleotemi che testimoniano fasi di allontanamento dello zero marino e per i quali auspichiamo degli approfondimenti quantitativi per la determinazione cronologica assoluta della fase di regressione marina.

BIBLIOGRAFIA

Abate B. *et al.* (1993), *Carta Geologica dei Monti di Capo San Vito*. Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Universita` di Palermo.

Agnesi V. *et al.* (2017), *Geomorphology of the Capo San Vito Peninsula (NW Sicily): An Example of Tectonically and Climatically Controlled Landscape*. Landscapes and Landforms of Italy (pp.455-465) DOI: 10.1007/978-3-319-26194-2 - 39.

Antonioli F. *et al.* (1994), *Evoluzione geomorfologica pleistocenica del settore costiero di S. Vito lo Capo (Sicilia): rapporti tra neotettonica, eustatismo ecomunità preistoriche*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It. LII (1994), pp 337-360.

Antonioli F. *et al.* (2002), *New data on the Holocenic sea-level rise in NW Sicily (Central Mediterranean Sea)*. Global and Planetary Change 34 (2002) 121–140.

Antonioli F. (2003), *Variazioni del livello del mare nell'ultimo semiciclo glaciale ottenute da speleotemi in grotte sommerse di aree costiere italiane* - Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol., 80 (2003): 49-53.

Arriolabengoa M. *et al.* (2013), *Flank Margin Caves In Telogenetic Limestones In Italy* - 17th International Congress of Speleology Sydney, NSW, Australia July 22–28, 2017 Proceedings VOLUME 2 pp 289 – 292.

Bonfiglio L. *et al.* (2003), *Bio-chronology of pleistocene vertebrate faunas of sicily and correlation of vertebrate bearing deposits with marine deposits*. Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences 16(1Bis), 2003, 107-114.

Catalano R. *et al.* (1974), *I ciclotemi triassici di Capo Rama*, Geol. Rom., 13: 125-145, 27 f., 1 tavola, Roma.

Catalano R. *et al.*. (1995), *Evoluzione paleogeografia e strutturale della Sicilia e dei mari adiacenti*. Naturalista sicil., S. IV, Vol. XIX (3-4), pp. 143-187.

Catalano R. *et al.* (2002), *Geology of Sicily: an introduction*. 6th International Symposium on the Jurassic System, General Field Trip Guidebook, Palermo, Italy, 12-22 September 2002, pp.5-20.

Catalano R. *et al.* (2011), *Note illustrative della carta geologica d'Italia foglio 593, Castellammare del Golfo*. ISPRA Ser. Geolo. d'It.

Cottignoli A.*et al.* (2002), *Pedostratigraphic notes on the middle – late pleistocene of Capo San Vito peninsula (nw sicily)*. Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences 15(1), 2002, 121-130.

Di Maggio C. *et al.* (1999), *Oscillazioni eustatiche, biocronologia dei depositi continentali quaternari e neotettonica nella Sicilia nord-occidentale (Penisola di San Vito lo Capo – Trapani)*. Il Quaternario, 12(1), 25-49.

Di Maggio C. *et al.* (2014), *Evoluzione geomorfologica della Sicilia occidentale - Evoluzione geomorfologica di lungo termine del paesaggio nell'Italia meridionale,* pp. 187-202.

Grammatico R. *et al.* (2018), *Grotta zubbia della Piana di Capo San Vito (Tp), studio sulla carsogenesi di una seawater/freshwater mixing dissolution cave.* Riv. Spel. it. della SSI 07/2018 n° 79, pp 43-45

Mylroie J.E. *et al.* (1989), *The flank margine cave model for dissolution cave development in carbonate platforms*. Earth surface processes and landform, vo, 15 413-424 (1990).

Nicoletti P.G. *et al.* (1995), Geomorphology and kinematics of the Conturrana rockslide-debris flow (NW Sicily). Earth surface processes and landform, vol. 21 875-892 (1996).

Ruggieri R.*et al.* (2012), *Lower to Middle Pleistocene flank margin caves at Custonaci (Trapani, NW Sicil y) and their relation with past sea levels*. Acta carsologica 43/1, 11-22, Postonia 2014.

Tondi E. *et al.* (2006), *Active faults and inferred seismic sources in the San Vito lo Capo peninsula, northwestern Sicily, Italy*. Geological Society London Special Publications · January 2006 DOI: 10.1144/GSL.SP.2006.262.01.22.

Todaro S. *et al.* (2012), *Karstic overprint of Upper Triassic peritidal cycles: the example of the Panormide Carbonate Platform at San Vito lo Capo (Sicily)*. Rend. Online Soc. Geol. It., Vol. 21 (2012), pp. 1020-1022, 4 figs.

Waterstrat W.J. *et al.* (2010), *Coastal caves in Bahamian eolian calcarenites: differentiating between sea caves and flank margin caves using quantitative morphology*. Journal of Cave and Karst Studies, v. 72, no. 2, p. 61–74. DOI: 10.4311/ jcks2009es0086

Gli *hornito*, particolari morfosculture vulcaniche: alcuni esempi etnei

Pietro Carveni
Geologo
E-mail: pietro.carveni@yahoo.it

Hornitos, particular volcanic morphosculptures: some examples from Etna volcano

Parole chiave: Vulcano Etna, hornito
Keywords: Etna Volcano, hornitos

PREMESSA

Agli escursionisti che si inoltrano lungo i versanti dell'Etna, specialmente alle quote superiori a quelle delle zone abitate e/o coltivate, può accadere di imbattersi in caratteristiche morfosculture, che spesso sfuggono all'attenzione dei non addetti ai lavori: gli *hornito*.

Si tratta di caratteristici accumuli di scorie e bombe saldate, con forma di cono irregolare, di guglie o di torri; essi si formano in corrispondenza di bocche ubicate lungo fratture eruttive o lungo gallerie di scorrimento lavico, in corrispondenza dei punti in cui è crollata parte della volta (Rittmann, 1967, pag. 98); vengono indicati nella letteratura geologica col termine spagnolo *hornito*, cioè "piccolo forno" (Von Humboldt, 1823).

Negli *hornito* di recente formazione si osserva un foro sommitale, tramite il quale le scorie incandescenti sono state espulse verticalmente e, con una parabola molto stretta, sono ricadute nelle immediate vicinanze dell'orifizio, saldandosi, e costruendo la morfoscultura. Le parti sommitali sono instabili, e possono crollare durante intensi fenomeni meteorici, a causa di sismi o semplicemente per effetto dell'accelerazione di gravità; molto di frequente, di un *hornito* si rinviene solo la parte basale.

1. GLI *HORNITO*: ESEMPI NELLA LETTERATURA

Sulla base delle ricerche sinora effettuate, la prima segnalazione di una morfoscultura assimilabile ad un *hornito* si deve a Bory de Saint Vincent (1804), il quale descrive la formazione rocciosa denominata *"La Chapelle de Rosemond"* (*Fig.* 1), ubicata ai piedi del versante occidentale del cono eruttivo principale dell'edificio vulcanico Piton de la Fournaise, sull'Ile de la Réunion, e la *"Grotte de Rosemond"* (una galleria di scorrimento lavico), alla cui sommità si trovava un *hornito*; purtroppo tutta la zona è stata sconvolta da un'eruzione iniziata il 13 luglio 2018.

Morfologie analoghe sono state osservate sul vulcano Jorullo, nello stato messicano di Michoacàn (Von Humboldt, 1823; Sapper, 1919; Bullard, 1978) e sulla Montaña de Fuego dell'Isola di Lanzarote (Sapper, 1919). Un'altra testimonianza di morfosculture assimilabili a *hornito* ci è stata lasciata da Darwin (1845; 1860) che ha notato, sull'Isola di San Cristobal (da lui chiamata Chatham), nell'Arcipelago delle Galapagos, sessanta edifici neri a tronco di cono, formati da scorie saldate e sormontati da crateri più o meno

Figura 1. La Chapelle de Rosemond con l'hornito alla sommità e l'ingresso della galleria di scorrimento lavico alla base (da Bory de Saint Vincent, 1804)

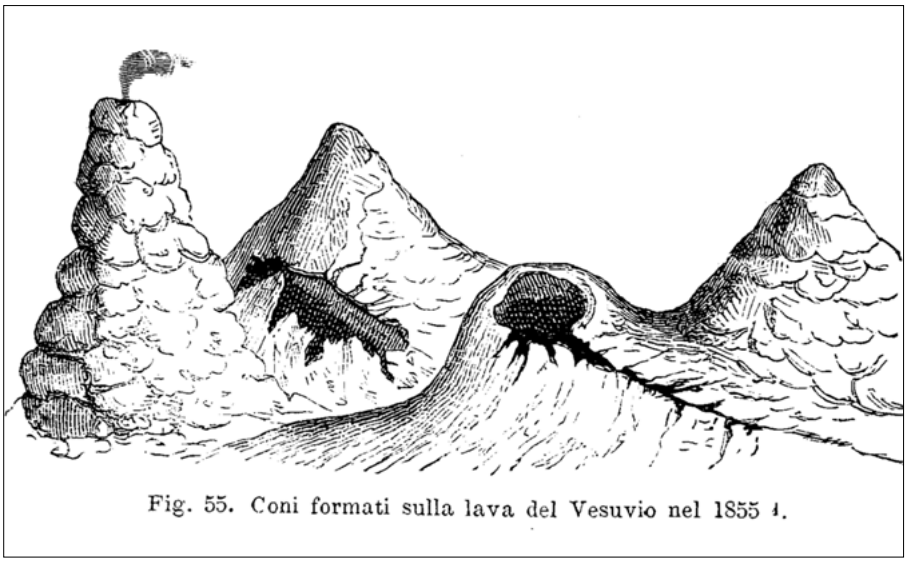


Figura 2. Alcuni presumibili hornito formatisi lungo una colata lavica del Vesuvio, nel corso dell'eruzione del 1855 (da STOPPANI, 1871-1873)

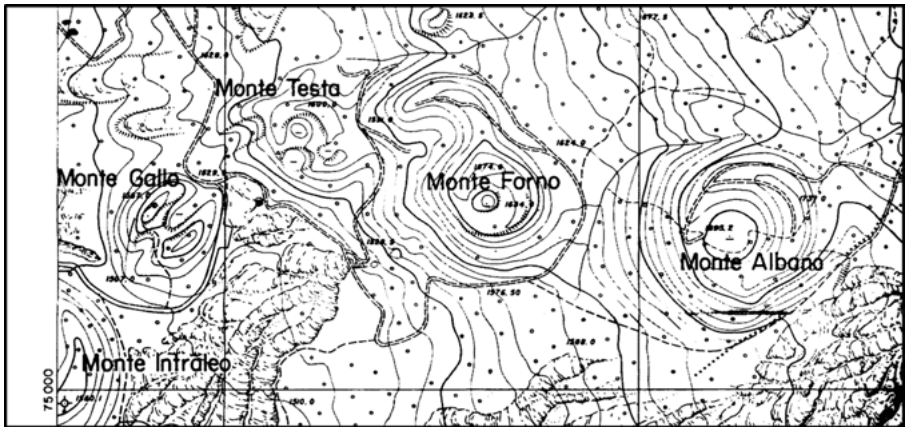


Figura 3. Ubicazione della zona di Monte Testa (stralcio della Carta Tecnica, Sezione N. 624080 Monte Frumento Supino (Regione Siciliana, Assessorato del Territorio e dell'Ambiente)

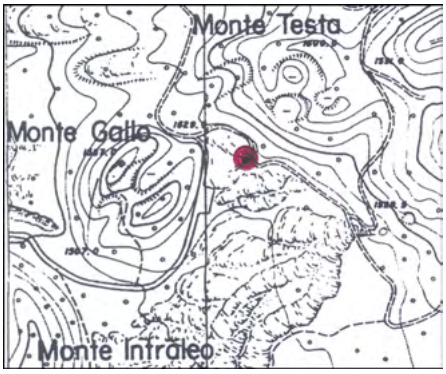


Figura 4. Ubicazione dell'hornito di Monte Testa (stralcio della Carta Tecnica, Sezione N. 624080 Monte Frumento Supino, Regione Siciliana, Assessorato del Territorio e dell'Ambiente)

Figura 5. L'hornito di Monte Testa, visto da SW

Figura 6. L'hornito di Monte Testa, visto da oriente

Figura 7. Particolare dell'hornito di Monte Testa

perfetti, con altezza compresa tra i 15 e i 30 metri. Per quanto riguarda il territorio italiano, la prime segnalazioni sono state fatte sul Vesuvio: Scacchi (1850) testimonia la formazione di "molti piccoli coni di breve durata" durante un'eruzione; Stoppani (1871-1873), pur senza farne un preciso riferimento, nella figura 55 del primo volume del *Corso di Geologia* (pag. 329) rappresenta alcuni edifici assimilabili a *hornito* formatisi sulle lave del Vesuvio nel corso dell'eruzione del 1855 (*Fig.* 2).

Sull'edificio vulcanico etneo ci sono le testimonianze di Imbò (1928), relative all'eruzione del 1928, durante la quale si formarono alcuni conetti soffianti ("voccolilli", cioè *piccole bocche*) che "… raramente esplodevano dando fumate azzurrognole…"; Ponte (1948), riferisce che un trabocco di lava da una frattura eruttiva provocò la formazione di "conetti mammillari disposti a bottoniera" (eruzione del febbraio-marzo 1917); nel descrivere i modesti conetti formatisi nel corso dell'eruzione del 1780, Di Re (1961) li paragona a "*hornitos*".

2. L'*HORNITO* DI MONTE TESTA

Sul versante occidentale dell'edificio vulcanico etneo, alla base meridionale del cono piroclastico di Monte Testa (*Figg.* 3 e 4; coordinate sferiche N 37°43'35", E 14°55'17"), lungo una strada a fondo naturale, sorge un *hornito* con circonferenza basale di 47 metri (*Fig.* 5 e 6), altezza massima di 4,50 metri, con una depressione sommitale di 2 metri di diametro (Carveni, 2016; 2017). Esso si è formato, presumibilmente, nel corso dell'eruzione del 1595, la quale ha dato luogo agli edifici piroclastici di Monte Gallo, Monte Testa e Monte Forno (Sartorius von Waltershausen, 1880).

Le bombe e le scorie vulcaniche saldate che formano il piccolo edificio hanno dimensioni variabili, con lunghezza massima di 70 centimetri; ognuna, cadendo ancora incandescente e quindi plastica sulle sottostanti, ha adattato la propria forma (*Fig.* 7).

Il diametro di base di circa 15 metri fa ipotizzare per questo *hornito* dimensioni notevoli.

La zona in cui si trova il geo-morfosito è caratterizzata, durante l'inverno, da abbondanti precipitazioni nevose, cui si alternano periodi di insolazione, con

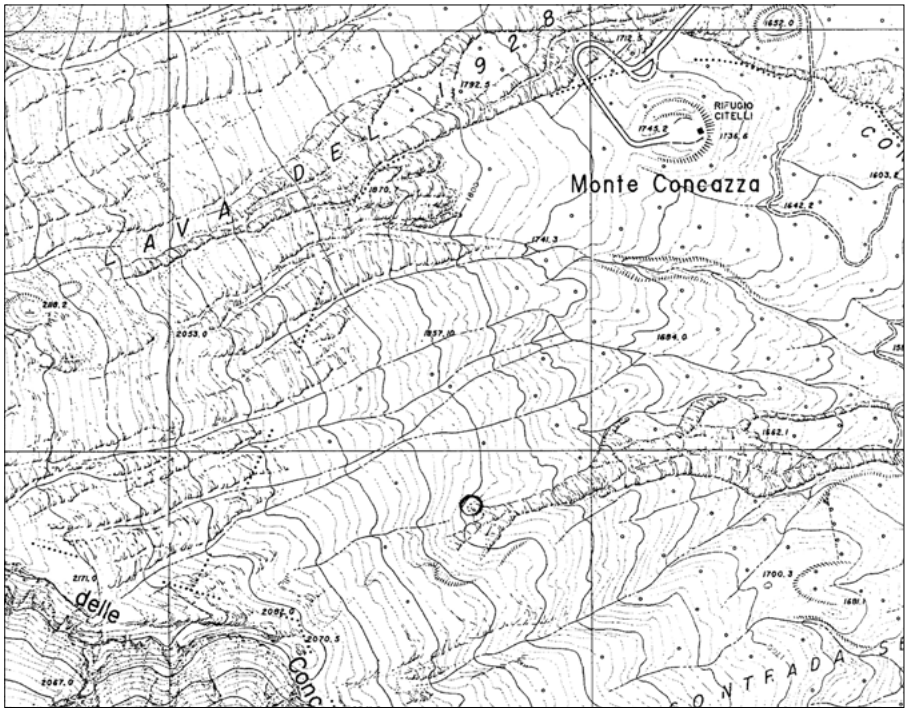


Figura 8. Stralcio della Carta Tecnica, Sezione N. 625010 Pizzi Deneri (Regione Siciliana, Assessorato del Territorio e dell'Ambiente). Il cerchio indica l'ubicazione degli hornito di Contrada Serracozzo, descritti in seguito

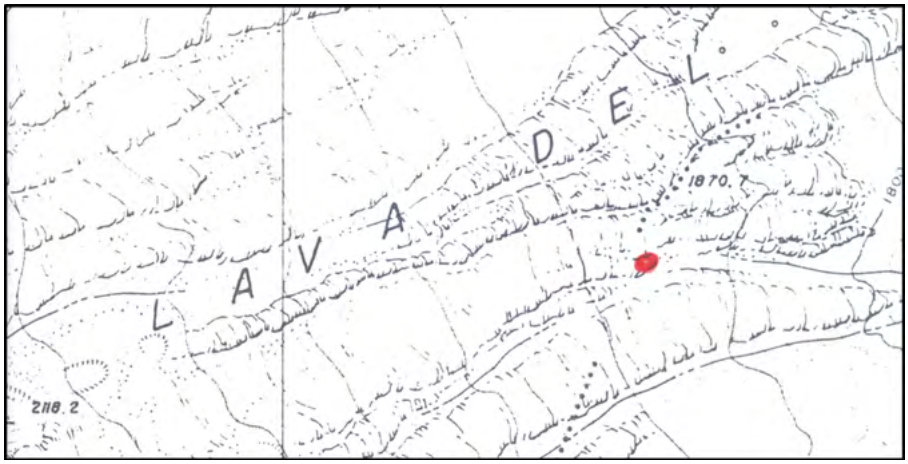


Figura 9. Ubicazione dell'hornito di Monte Concazza. Stralcio della Carta Tecnica, Sezione N. 625010 Pizzi Deneri (Regione Siciliana, Assessorato del Territorio e dell'Ambiente)

conseguenti fenomeni di crioclastismo, mentre nel periodo estivo si verificano ampie escursioni termiche tra il giorno e la notte; tutto ciò porta a fenomeni di esfoliazione della superficie rocciosa, che mettono in evidenza la struttura interna della roccia, formata da una massa cripto-cristallina, nella quale si distinguono rari fenocristalli. Se ne desume che la massa rocciosa aveva subito un iniziale raffreddamento in fase magmatica, con la conseguente formazione dei fenocristalli; quindi, una volta eruttata sotto forma di bombe, è avvenuto il raffreddamento veloce con la formazione di microcristalli.

3. UN *HORNITO* A SW DI MONTE CONCAZZA (COORDINATE SFERICHE N 37°45'51", E 15°03'08").

Lungo il versante che sale da Monte Concazza (Rifugio Citelli) verso le bocche eruttive relative all'eruzione del 1928 e verso l'orlo settentrionale della Valle del Bove (*Figg.* 8 e 9), si incontra, intorno a quota 1.880 metri, un ammasso di scorie saldate, non attribuibile ad alcuna eruzione recente (*Fig.* 10); esso poggia su lave attribuite da Romano *et al.* (1979) ai *Centri Eruttivi dell'Ellittico* e da Branca *et al.* (2011; 2015) alla *Pietracannone formation*.

L'affioramento, già descritto da Carveni (2014) si presenta come un ammasso irregolare di bombe e scorie che si sono saldate le une sulle altre, deformandosi al momento dell'impatto, e adattandosi le nuove alla forma delle sottostanti (*Fig.* 11); esso ha altezza massima di 3 metri e sviluppo orizzontale di 12 metri;

Figura 10. Hornito di Monte Concazza

Figura 11. Particolare dell'hornito di Monte Concazza

superiormente è coperto da piroclastici ed epiclastiti poggianti su un'omogenea superficie quasi orizzontale, di forma grossolanamente circolare, con diametro di 7,5 metri. L'alterazione della superficie, agevolata da fenomeni di termoclastismo e crioclastismo, mette in evidenza la struttura interna della roccia, formata da una massa cripto-cristallina, con rari fenocristalli.

L'importanza di questo *hornito* è di fornire la posizione di una bocca eruttiva preistorica, ubicata lungo una frattura eruttiva di cui non si hanno altre informazioni.

Confrontando le dimensioni basali di questi due *hornito* con altri formatisi nel corso dell'eruzione del 1983 (*Fig.* 12), si può stimare uno sviluppo verticale iniziale tra 10 e 15 metri.

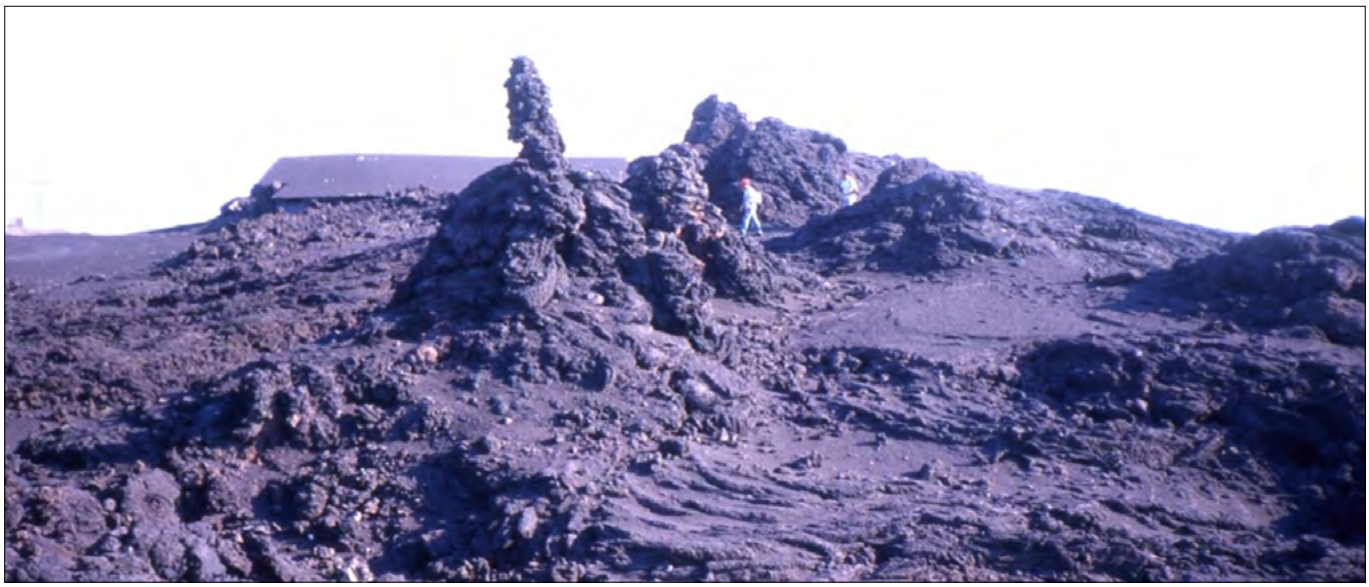


Figura 12. Alcuni hornito formatisi nel corso dell'eruzione del 1983; sullo sfondo si vede il tetto del Piccolo Rifugio, sotto il quale si è aperta una frattura

Figura 13. Un piccolo hornito formatosi sul tetto della galleria di scorrimento lavico della colata del 1971, tramite l'accumulo di alcune scorie incandescenti emesse attraverso un buco (Contrada Serracozzo)

4. DUE PICCOLI *HORNITO* IN CONTRADA SERRACOZZO (COORDINATE SFERICHE N 37°45'29", E 15°03'15").

Piccoli crolli della volta della galleria di scorrimento relativa ad una delle colate laviche emesse in Contrada Serracozzo nel corso dell'eruzione del 1971, hanno consentito la fuoriuscita di brandelli lavici che hanno formato piccoli *hornito*; due esempi sono presentati nelle *Figg.* 13 e 14.

Come si può facilmente notare, entrambi sono formati da pochi brandelli di lava ricaduti nelle immediate vicinanze delle bocche di emissione, e saldatisi tra loro; la *Fig.* 15 mostra un crollo della parte superiore della galleria di scorrimento lavico, attraverso il quale sono state emesse le scorie che hanno formato un piccolo *hornito*.

Figura 14. Un secondo hornito poggiante sul tetto della colata del 1971 (Contrada Serracozzo)

Figura 15. Galleria di scorrimento lavico di Contrada Serracozzo: un'apertura sul soffitto attraverso la quale sono state emesse le scorie incandescenti che hanno formato un piccolo hornito

Malgrado le piccole dimensioni, gli *hornito* rivestono una particolare importanza, in quanto testimoniano il fenomeno descritto da Rittmann (1967, pag. 98).

5. CONCLUSIONI

Considerata l'importanza della testimonianza geologica che rivestono gli *hornito* descritti nel presente articolo, si propone di dichiararli geomorfositi di interesse nazionale; l'*hornito* di Monte Testa, facilmente raggiungibile senza un particolare sforzo fisico, potrebbe essere utilizzato per fini didattici.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Bory de Saint Vincens J.B.G.M. (1804), *Voyage dans les quatre principales îles des mers d'Afrique*. Vol. 3, 473 pp.

Branc A. S., Coltelli M., Groppelli G. (2015), *Carta geologica del Vulcano Etna*. Mem. Descr. Carta Geol. d'Italia, 98, 292 pp.

Branca S., Coltelli M., Groppelli G., Lentini F. (2011), *Geological Map of Etna Volcano, 1:50,000 scale.* INGV, ISPRA, CNR, Università di Catania.

Bullard F.M. (1978), *I vulcani della Terra*. Newton Compton, 638 pp.

Carveni P. (2014), *Gli hornitos, particolari morfosculture dei vulcani basici*. Associazione Italiana di Geologia e Turismo, notiziario n° 7, 5-6.

Carveni P. (2015), *L'edificio vulcanico etneo: un laboratorio geomorfologico alla portata di tutti*. Geologia dell'Ambiente. Supplemento al n. 2/2015, 7-11.

Carveni P. (2016), *L'edificio vulcanico etneo: un laboratorio geomorfologico alla portata di tutti*, in: Bruno G. & Carveni P. (a cura di): Atti del Convegno Nazionale *Geositi, Geomorfositi e Geoarcheositi patrimonio geologico-ambientale del Mediterraneo*, Portopalo di Capo Passero (SR), 4-5 settembre 2015. Supplemento al n. 3/2016 di Geologia dell'Ambiente, SIGEA, Roma.

Carveni P. (2017), *L'Etna e i suoi dintorni: un laboratorio geomorfologico in continuo divenire,* in: Aldighieri B., Caffo S., Paganoni A., Testa B. (Eds): Atti del Convegno Nazionale di Turismo geologico, Nicolosi (CT), 23-24 settembre 2016, 27-32.

Darwin C. (1845), *Viaggio di un naturalista intorno al mondo*. Giunti Martello, 602 pp.

Darwin C. (1860), *Journal of researches into the natural history and geology of the countries visited during the voyage of H.M.S. Beagle.* R.N., 519 pp.

Di Re M. (1961), *L'eruzione dell'Etna del 1780 e i suoi prodotti.* Boll. Sed. Acc. Gioenia Sci. Nat., Catania, S. IV, Vol. VI, Fasc. 5°, 283-304.

Imbò G. (1928), *Osservazioni e ricerche in relazione all'eruzione etnea 2-20 novembre 1928*. Bulletin Volcanologique, 5(1), p. 177-185.

Ponte A. (1948), *L'eruzione etnea del febbraio-marzo 1947*. Ann. Geofisica, I, 1, 56-68.

Regione Siciliana, Assessorato del Territorio e dell'Ambiente (1988), *Carta Tecnica, Sezione N. 624080 Monte Frumento Supino.*

Regione Siciliana, Assessorato del Territorio e dell'Ambiente (1988), *Carta Tecnica, Sezione N. 625010 Pizzi Deneri.*

Rittmann A. (1967), *I vulcani e la loro attività.* Cappelli Editore, 360 pp.

Romano R., Lentini F., Sturiale C., Amore C., Atzori P., Carter S.R., Cristofolini R., Di Geronimo I., Di Grande A., Duncan A.M., Ferrara V., Ghisetti F., Guest J.E., Hamill H., Patanè G., Pezzino A., Puglisi D., Schilirò F., Torre G., Vezzani L. (1979), *Carta geologica del Monte Etna, scala 1:50.000,* C.N.R., Prog. Final. Geodinamica, Ist. Intern. Vulcanologia, Catania.

Sapper K. (1919), *Uber Hornitos und verwandte Gebilde*. Zeitschrift für Vulkanologie, 5, 39 pp.

Sartorius von Waltershausen W. (1880), *Der Aetna.* 2 voll. 371 + 548 pp, Leipzig.

Scacchi A. (1850), *Relazione dell'incendio accaduto al Vesuvio nel mese di febbraio 1850.* Rend. Acc. Sci. Fis. Matem., Napoli, IX, 5-38.

Stoppani A. (1871-1873), *Corso di Geologia*, 3 voll., Milano, G. Bernardoni e G. Bricola.

Von Humboldt A. (1823), *Essai géognostique sur le gisement des roches dans les deux hémisphères*. F.G. Levrault, 370 pp.

Consapevolezza storica dei terremoti e prevenzione: l'atlante del Consiglio Nazionale degli Ingegneri su *L'azzardo sismico delle città italiane*

Marco Stefani
Docente di Geologia Urbana - Facoltà di Architettura di Ferrara

E-mail: marco.stefani@unife.it

Fra le miriadi di articoli frammentari, ingenerate dall'ansia di pubblicare molto e in fretta, si ha talvolta la fortuna di incontrare un'opera di organica sintesi, che porta a maturazione decenni di ricerche, come *L'Italia dei Terremoti: L'azzardo sismico delle città*, di Emanuela Guidoboni e Gianluca Valensise, in due volumi (*Il Sud*, pubblicato nel 2022, di 452 pagine; e *Il Centro e il Nord*, 2023, 668 pp.). Questi volumi, risultato di un progetto dei due Autori (un'esperta storica dei terremoti e un altrettanto esperto geologo sismotettonico, entrambi dell'INGV) è stato finanziato e pubblicato dal Consiglio Nazionale degli Ingegneri – Fondazione. I due volumi meritano di essere studiati da geologi, geofisici, ingegneri, architetti, storici, oltre che da un più vasto pubblico attento alla storia e ai pericoli incombenti sulle nostre città. Lo stile dell'opera e il copioso apparato iconografico – ricco di planimetrie urbane sia antiche che attuali, vedute storiche, rilievi di edifici e fotografie, mappe scientifiche tematiche, oltre che di grafici e di carte moderne – ne rendono coinvolgente la lettura, anche se le imponenti dimensioni dei volumi e la rilegatura in brossura ne consigliano una rispettosa lettura su un buon tavolo. Una versione digitale, associata ad uno strumento di ricerca, potrebbe utilmente affiancare l'opera editoriale cartacea e forse renderla anche più avvicinabile e fruibile a un largo pubblico.

I volumi si aprono con due diverse *Introduzioni*, con contributi di alcuni noti esperti del settore sismico, riguardanti l'origine e i meccanismi dell'attività sismica, la complicata storia della classificazione sismica, la microzonazione, l'impatto dei terremoti sulla storia urbana, la storia delle ricostruzioni e della prevenzione sismica, nonché considerazioni sul 'rischio accettabile'.

Dopo le *Introduzioni*, si entra nel cuore dell'opera: la sintesi storica è organizzata per regioni. Per ogni città selezionata ci si addentra negli effetti sismici subiti. Ogni scheda si chiude con dati statistici riguardanti l'andamento della popolazione, l'entità, la tipologia e lo stato conservativo dell'edificato attuale (da dati ISTAT) e due grafici che sintetizzano la pericolosità sismica di base, espressa in termini di Peak Ground Acceleration (PGA) e di spettri a pericolosità uniforme, sulla base di dati ufficiali INGV-NTC08.

Ciascuna regione amministrativa è introdotta da mappe tematiche a scala, appunto, regionale (si veda un esempio nella *Fig.* 1). Le città, intese come territori comunali, sono state selezionate sulla base di due criteri: un numero di abitanti non inferiore ai 30.000 (salve qualche caso particolare) e almeno una distruzione sismica già subita in passato, ossia a partire dal grado VIII grado MCS di intensità degli effetti.

Gli effetti dei terremoti sono descritti in modo sintetico ma completo, sulla base di fonti autorevoli. Entrano quindi in questo Atlante 117 città fra grandi e piccole: da capoluoghi con oltre un milione di abitanti, come Napoli, a più piccoli centri storici preziosi, come la siciliana Noto, che deve la sua configurazione barocca alla ricostruzione seguita alla catastrofe sismica del 1693, all'emiliana Sassuolo, danneggiata estesamente nel 1501. Sono illustrati anche danni subiti da centinaia di singoli edifici monumentali.

L'ultima sezione di ciascun volume descrive i più forti terremoti storici, ossia quasi tutti da Magnitudo 6,0 in su, organizzati in ordine cronologico: il più antico è il terremoto del 62 d.C. nell'area vesuviana (*Fig.* 2), di cui Pompei portava ancora i segni durante l'eruzione del 79; il più recente è quello del 18 gennaio 2017, in Appennino Centrale, i cui non riparati danni ancora dominano molti borghi spopolati, non ancora toccati da

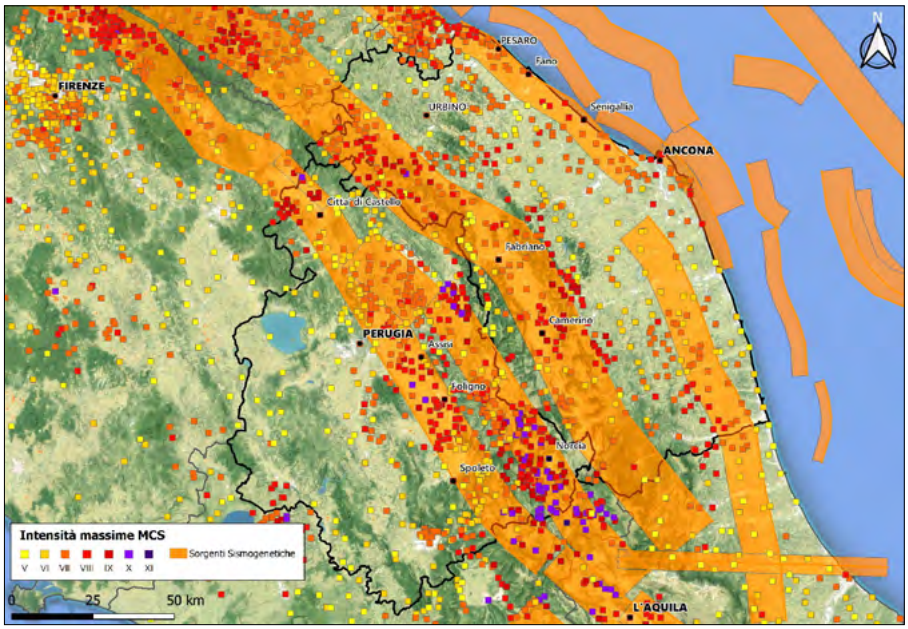


*Figura 1. Esempio della cartografia tematica a scala regionale: sorgenti sismogenetiche e massime intensità macrosismiche registrate in Umbria e Marche (*Atlante, Il Centro e il Nord, *p. 184)*

*Figura 2. Bassorilievi rappresentati crolli di edifici e spavento di animali e persone, durante il terremoto del 62 d.C. a Pompei, sepolti dalle ceneri dell'eruzione del 79 d.C. (*Atlante, Il Sud*, 2022, p. 332)*

una ricostruzione definita dagli Autori complessivamente "lenta e dispendiosa, fra molti dubbi".

La storia dell'Italia è stata segnata da molti gravi disastri sismici, che hanno indotto enormi perdite umane e materiali, seguite da vaste ricostruzioni, quali, ad esempio, quelle dell'Appennino Centro-Meridionale (1456, *Fig.* 3), della Sicilia sud-orientale (1693), della Calabria (1783), della Val d'Agri (1857), dello Stretto di Messina (1908). Ma i volumi forniscono anche copiosa documentazione di sequenze sismiche di minore intensità e violenza, ancor più dimenticate nella memoria collettiva, benché non di meno abbiano sconvolto la vita di molte citta: ad esempio, Bologna nel 1505 o Ancona durante i lunghi mesi di scosse del 1972.

Dovrebbe poi fare particolarmente riflettere la copiosa documentazione storica di danni in aree tradizionalmente considerate a basso rischio, come gran parte della Puglia, in cui si documentano invece importanti terremoti, da Taranto a Foggia. Altri esempi di diffusi danni registrati in città frequentemente considerate poco sismiche sono forniti, ad esempio, da Firenze, fortemente danneggiata nel 1453 e nel 1895, o Venezia, in cui tante chiese e campanili furono danneggiati dai risentimenti di terremoti relativamente lontani, come quelli della Carinzia (1348) e della Slovenia (1511), amplificati da fattori locali.

Il dettaglio raggiunto permette talvolta di mettere in evidenza dei controlli geologici locali sulla distribuzione del danno e di potere quindi effettuare un confronto diretto con gli studi di microzonazione sismica. Particolarmente evidente è il caso di Palermo, dove la ripartizione areale dei danni del grado VIII dei terremoti del 1726 e 1823 e di VII del 1940 segue fedelmente la distribuzione dei corpi di riempimento del porto d'età greco-romana e dei due fiumi che vi sfociavano (*Fig.* 4). Fra gli altri casi di una simile correlazione, si possono citare Ancona, nel 1972, e Bologna, dove i più gravi danni delle sequenze sismiche del 1505 e 1779-1780 furono confinati nella parte nord-occidentale della città (*Fig.* 5), caratterizzata da un progressivo ispessimento del Quaternario medio-superiore. Molto interessante anche il caso di Ferrara, in cui, durante il sisma del 17 novembre 1570, è documentata storicamente la liquefazione cosismica delle sabbie di alvei medievali del Po, dove oggi l'analisi dei dati penetrometrici mostra elevati indici di liquefazione. I terremoti hanno anche fornito prova sperimentale della validità delle architetture antisismiche di epoca contemporanea, a partire dalla famosa 'Casa Palazzi', pioniere in Italia del cemento armato, sola sopravvissuta in Avezzano al catastrofico terremoto del 1915, nel contempo dimostrando quanto fragile sia la maggior parte del costruito.

Questo Atlante è un'opera destinata a rimanere a lungo come punto di riferimento non solo per la sismologia storica (come lo furono, a suo tempo, gli studi di Mario Baratta, a partire dal 1901) ma anche per valutare il rischio a cui sono oggi esposte le nostre preziose città, aprendo nel contempo la porta a future ricerche e approfondimenti. Molti archivi storici italiani sono stati per anni sedi di estese ricerche riguardanti i terremoti, ma nuovi approfondimenti potrebbe apportare ancora dettagli e precisazioni sugli effetti, anche se è poco probabile che si possano scoprire grandi eventi sismici ancora sconosciuti. Un campo che meriterebbe di essere meglio sviluppato con altre competenze disciplinari è la correlazione fra la documentazione storica scritta riguardante i danni e le evidenze di danni e restauri ancora preservate nella con-

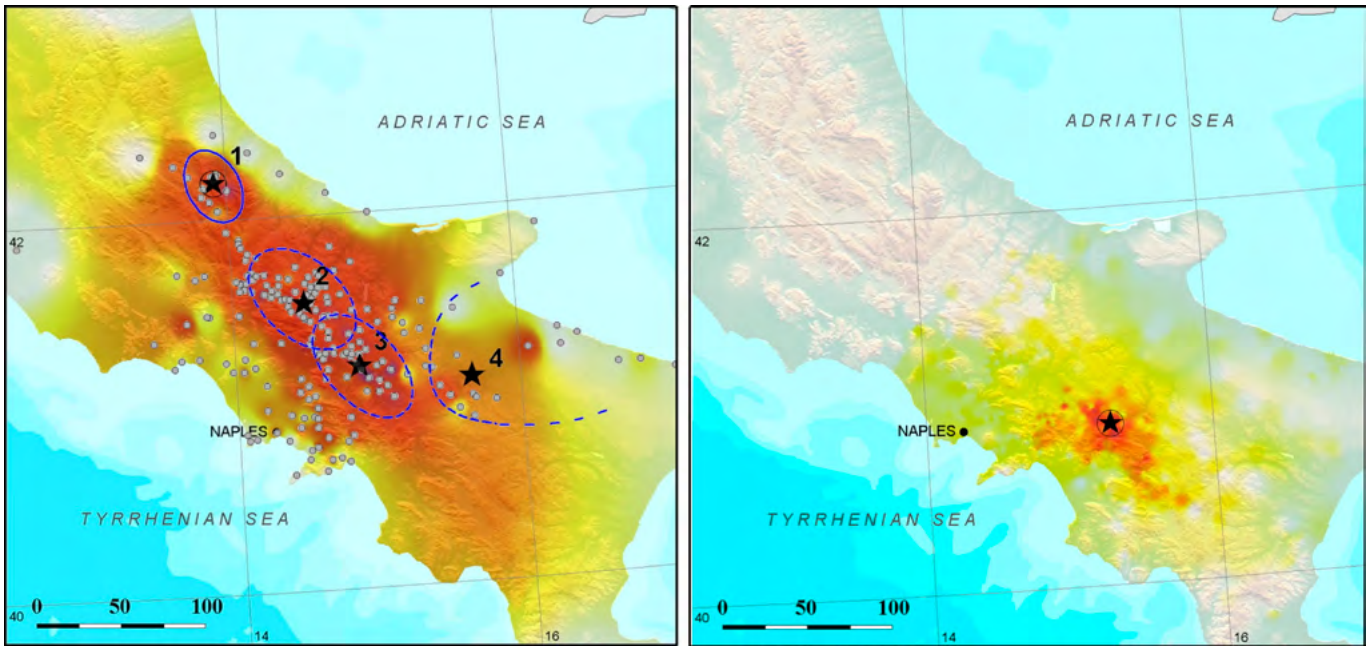


*Figura 3. A sinistra, aree gravemente colpite dagli eventi sismici del 1456 in Appennino Centro-Meridionale. Nuove e più dettagliate conoscenze hanno permesso di individuare quattro distinte aree epicentrali, indicate dai numeri. La forte intensità registrata nell'area vulcanica del Vulture potrebbe essere dovuta a fattori locali di amplificazione. Per confronto, a destra è mostrata l'area più colpita dal terremoto della Campania e della Basilicata del 23 novembre 1980 (*Atlante, Il Sud*, 2022, p. 344)*

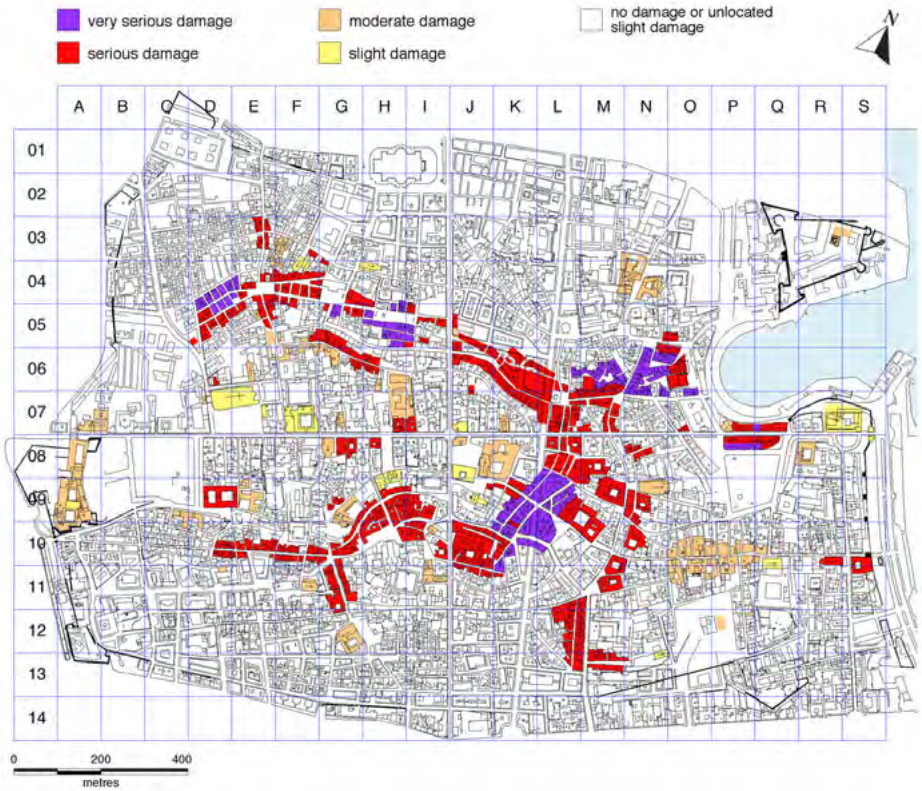


*Figura 4. Distribuzione dei danni prodotti dall'attività sismica del 1726 a Palermo, che si concentrano nelle aree di riporto e di riempimento dell'antico porto e dei due torrenti interrati; la stessa risposta si ebbe anche a seguito dei terremoti del 1823 e del 1940 (*Atlante, Il Sud*, 2022, p. 248)*

cretezza muraria di tante architetture storiche. Molto c'è ancora da fare per correlare i terremoti storici con l'attività di specifiche strutture sismogenetiche.

Ma il più importante frutto di questa sintesi – questo Atlante – dovrebbe essere un'accresciuta consapevolezza che la storia d'Italia è stata profondamente marcata dall'attività sismica, attività che anche oggi genera un incombente pericolo. Gli Autori, fin dal titolo, hanno deciso di utilizzare il termine "azzardo sismico", in luogo del più consolidato termine di 'pericolosità', per porci con maggiore evidenza di fronte alla realtà della minaccia sismica, unita all'impossibilità di una sua precisa previsione deterministica. Questa accresciuta consapevolezza dovrebbe spronarci ad una capillare opera di mitigazione del danno atteso, ma sappiamo quanto la realtà italiana sia troppo spesso dimentica di questi pericoli e quale sia il drammatico risultato di questo oblio, che paga poi l'intero Paese. Ci si può augurare che questa imponente pubblicazione, voluta dal CNI e dalla sua Fondazione (per ordini info@fondazionecni.it), possa spronare le istituzioni e i privati ad una concreta azione di prevenzione, nella speranza di poter finalmente dire un giorno: *terrae motuum historia magistra vitae*. La storia degli impatti dei terremoti nelle aree urbane ci insegna infatti come sarà il nostro futuro se non sapremo utilizzare le conoscenze di cui già disponiamo per limitare i danni.

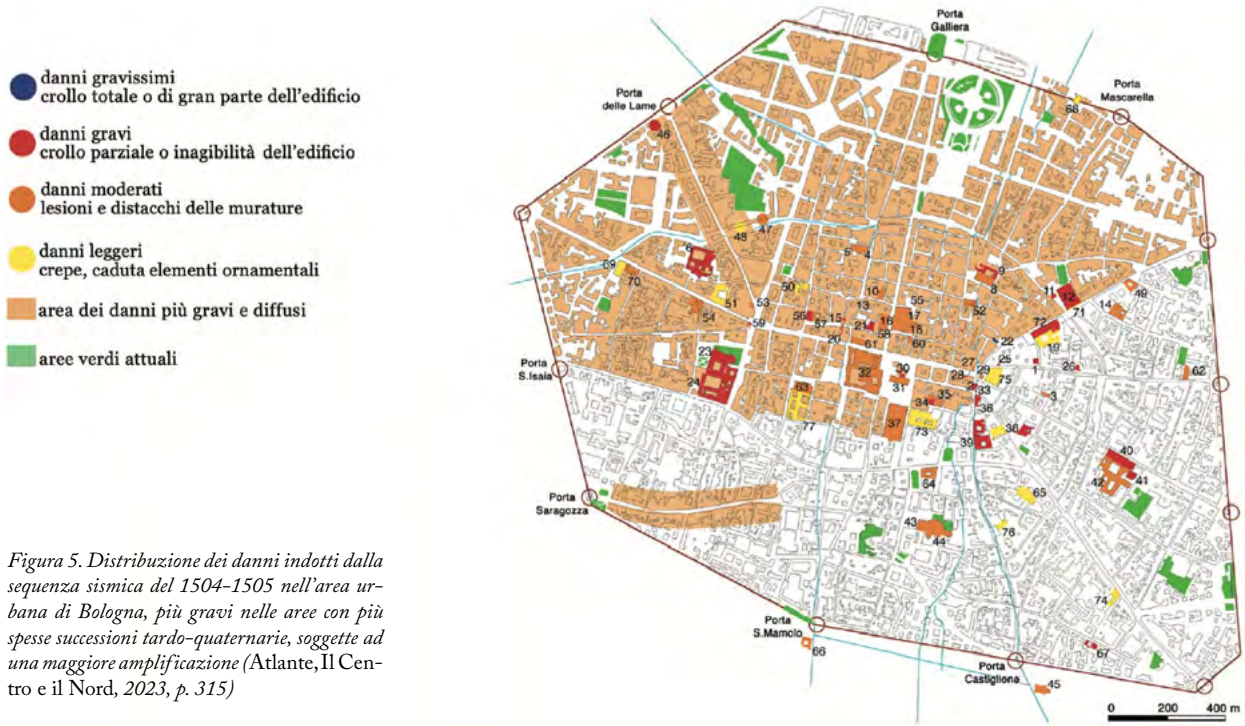


*Figura 5. Distribuzione dei danni indotti dalla sequenza sismica del 1504-1505 nell'area urbana di Bologna, più gravi nelle aree con più spesse successioni tardo-quaternarie, soggette ad una maggiore amplificazione (*Atlante, Il Centro e il Nord, *2023, p. 315)*

in collaborazione con

COMUNE DI SALVE

CONVEGNO NAZIONALE

I PAESAGGI E BENI GEOLOGICI, PATRIMONIO CULTURALE E PATRIMONIO IMMATERIALE

Salve (LE), 14, 15 e 16 Giugno 2024

I CIRCOLARE

PRESENTAZIONE

La tutela del patrimonio geologico, dei paesaggi geologici e della geodiversità non è esercizio fine a sé stesso ma costituisce elemento essenziale per una corretta gestione del territorio e la pianificazione delle attività, che in esso si possono svolgere rispettando l'ambiente, del sistema economico e del benessere delle popolazioni locali.
La conoscenza della natura dei terreni, affioranti e non, è importante perché permette di capire dove trovare le fonti di approvvigionamento di minerali e materiali da costruzione. Nel tempo, queste georisorse hanno favorito lo sviluppo di numerose attività contribuendo fortemente al benessere delle popolazioni.
I paesaggi, legati all'evoluzione geologica di un'area, da sempre sono fonte di ispirazione per opere artistiche siano esse dipinti, sculture, architetture, rappresentazioni teatrali e cinematografiche, opere letterarie, musicali e di danza. Tutte queste forme di rappresentazioni artistiche legate al paesaggio, possono essere un mezzo per la diffusione della cultura geologica.
La ricchezza dell'offerta enogastronomica e dei paesaggi geologici costituisce elemento di forte attrattività di qualunque territorio. Evidenziare come i paesaggi e la geodiversità influenzino le caratteristiche dei prodotti della tavola ci permette di capire quanto è importante tutelarli e valorizzarli per mantenere elevare la qualità dell'offerta enogastronomica nel tempo.
Gli argomenti che verranno trattati durante il Convegno, permetteranno di ampliare le conoscenze di come lo sviluppo delle civiltà e delle tradizioni locali si sono sempre intrecciate con le risorse geologiche e con la geodiversità.
I contributi potranno essere proposti da tutti coloro che si occupano delle tematiche individuate nelle sessioni proposte.

www.sagraf.eu

RICHIESTA DI MEMORIE – SCADENZE

Sessioni

Potranno essere proposte memorie scientifiche e tecniche relative alle seguenti tematiche:
- La gestione del territorio per la tutela del patrimonio geologico
- Il patrimonio geologico degli ipogei naturali e antropici
- I paesaggi geologici e la loro evoluzione
- I paesaggi e le diverse espressioni artistiche
- I paesaggi geologici e percorsi enogastronomici

Volume dei riassunti

I riassunti dei contributi (**massimo 3 pagine comprese tabelle e figure**) dovranno essere inviati **entro il 30 aprile 2024** all'indirizzo e-mail salve2024@sigeaweb.it seguendo le norme per gli autori reperibili sul sito **https://sigea-aps.it/wp-content/uploads/2023/07/istruzioni-rivista-1.pdf**
I riassunti saranno pubblicati in occasione del convegno

Volume degli atti

I partecipanti al convegno che avranno inviato i riassunti potranno inviare i contributi estesi (**massimo 10 pagine comprese tabelle e figure**) per gli atti del convegno, pubblicati come supplemento alla rivista Geologia dell'Ambiente, entro il 31 dicembre 2024 all'indirizzo e-mail salve2024@sigeaweb.it seguendo sempre le norme per gli autori reperibili sul sito **https://sigea-aps.it/wp-content/uploads/2023/07/istruzioni-rivista-1.pdf**
Gli autori riceveranno le valutazioni dei *referee* **entro il 31 gennaio 2025** e dovranno restituire il testo corretto **entro il 28 febbraio 2025**.

Il Volume dei riassunti e il volume degli atti del Convegno (presentazioni a invito e memorie accettate) saranno pubblicati su un supplemento della rivista ufficiale della SIGEA-APS: "Geologia dell'Ambiente".

COMITATO PROMOTORE: Mario Bentivenga, Davide Bonora, Antonello Fiore, Vincenzo Iurilli, Stefano Margiotta, Oronzo Simone, Caterina Stasi, Salvatore Valletta.

LA SCIENZA E LA TECNICA RACCONTATE

La scienza e la tecnica raccontate.
Rassegna culturale della SIGEA-APS
a cura di Giacomo Milazzo

È il momento di allargare lo sguardo verso nuovi territori, ricosrtruire la storia geologica, carpirne le ricchezza, per riuscire a vivere insieme in un mondo migliore.

Per segnalare e consigliare un libro scrivi una e-mail a
recensioni@sigeaweb.it

Roma sotto sotto. Una guida geologica della capitale
di Lorenzo Manni
Momo Edizioni, 2023

Il grande Ardito Desio diceva che il geologo dev'essere anche alpinista ma, senza arrivare a tanto, a volte basterebbe percorrere i sentieri del parco di Monte Mario a Roma, 139 metri di altezza, per scoprire nuovi orizzonti. E se c'è qualcosa che ci permette di conoscere ed individuare le bellezze, gli equilibri e le fragilità di un territorio questa è proprio la Geologia. E sul Monte Mario è proprio il primo luogo dove l'Autore ci accompagnerà.
Lorenzo Manni dedica idealmente questo libro ai romani, e non solo, ma soprattutto ai camminatori perché camminare, oltre ad essere salutare e benefico, è un ottimo sistema per impiegare il tempo di cui disponiamo se vogliamo accorgerci di quanto Roma può regalarci scavando un po' di più oltre quello strato che da secoli ci restituisce le meraviglie archeologiche che l'hanno resa eterna attraverso le sue continue trasformazioni.
In questo libro l'Autore ci accompagna, con semplicità e chiarezza espositiva, spaziando dalla geologia alla sismologia, dalla vulcanologia all'idrogeologia, in un viaggio attraverso il tempo profondo, quello geologico, alla scoperta della storia che lega la geologia alle vicende umane, passando agli albori della presenza dei primi ominidi sul territorio che ospita oggi Roma. In un attraente viaggio attraverso la storia geologica di Roma, narrata attraverso le sue rocce ed i depositi alluvionali questi antichi testimoni ci parlano del mare che milioni di anni fa ricopriva l'area su cui sarebbe sorta la città, di apparati vulcanici imponenti e che raccontando delle fasi più recenti della storia geologica hanno plasmato gradualmente il paesaggio, creando colline separate da valli scavate a più riprese dai fiumi. Il Tevere e l'acqua occupano un posto di rilievo in questa storia, con i suoi tanti corsi d'acqua affluenti, spesso incanalati per vie sotterranee fin dall'età repubblicana. Senza trascurare dettagli sulla scelta felice del territorio, che così tanti materiali da costruzione ha messo a disposizione dei primi Romani, della localizzazione dei primi insediamenti sulle colline a ridosso del Tevere, risorsa preziosa ma anche minaccia da cui difendersi con opere di bonifica.
A titolo di esempio e di monito, un capitolo è dedicato all'urbanizzazione avvenuta alla fine del XIX secolo e dopo la Seconda Guerra Mondiale, con i problemi ed i rischi derivanti spesso dalla mancata conoscenza del sottosuolo, laddove lo sviluppo veloce e spesso quasi improvvisato ha portato a frequenti dissesti e problemi. E con un lago a sorpresa: quello della ex SNIA-Viscosa, situato nel Parco delle Energie nell'area di Pigneto-Prenestino. Unico lago naturale di Roma, dall'incredibile storia. Ma ciò che rende davvero speciale questo libro è la presenza di 10 percorsi urbani, da esplorare a piedi o in bicicletta, inclusi alcuni itinerari che permettono di esplorare il territorio sotterraneo, catacombe, cunicoli, condotte, acquedotti. In questi percorsi l'Autore ci affianca raccontandone ogni dettaglio, a chiudere il cerchio di quanto anticipato nella premessa: comprenderne gli equilibri, individuare le fragilità e apprezzarne la bellezza.
Siamo certi che dopo la lettura di questo libro guarderete a Roma con occhi diversi così, per tornare ad Ardito Desio, come si guarda una montagna quando se ne conosce la storia geologica.

ARPACAL

Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Calabria

Agisce per la tutela dell'ambiente in Calabria

"L'ambiente è un trattato di pace: richiede conoscenza, cooperazione e azioni sostenibili"