

# Geologia dell'Ambiente

Periodico trimestrale della SIGEA  
Società Italiana di Geologia Ambientale - APS



2/2022

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





Società Italiana di Geologia Ambientale - APS

## AVVISO DI CONVOCAZIONE ASSEMBLEA ORDINARIA DEI SOCI SOCIETÀ ITALIANA DI GEOLOGIA AMBIENTALE (SIGEA) - APS AI SENSI DELL'ART. 16 DELLO STATUTO

Come stabilito nel corso del **Consiglio Direttivo dell'8 aprile 2022**, è indetta l'Assemblea ordinaria della Società Italiana di Geologia Ambientale (SIGEA) - APS, in prima convocazione per il giorno 9 giugno 2022 alle ore 19.00, e in seconda convocazione per il giorno venerdì **10 giugno 2022 alle ore 10.30** presso la sede legale di Via Livenza 6, Roma.

L'ordine del giorno dell'Assemblea è il seguente:

- Lettura e approvazione del verbale dell'Assemblea del 26/04/2022
- Discussione e approvazione Regolamento SIGEA-APS
- Relazione del Presidente sull'attività della SIGEA-APS
- Relazione dei Presidenti di Sezione e Referenti regionali sull'attuazione del programma
- Elezioni rinnovo Consiglio direttivo 2022-2027

**Tutti i Soci che intendono presentare la propria candidatura sono invitati a inviarla entro il 4/06/2022 all'indirizzo e-mail [segreteria@sigeaweb.it](mailto:segreteria@sigeaweb.it) specificando nell'oggetto: "Candidatura rinnovo CDN SIGEA-APS 2022-2027 di Nome e Cognome".**

Si ricorda che ai sensi dell'Art. 19 dello Statuto *"È in facoltà di ogni socio avente diritto di voto e di farsi rappresentare in assemblea da altro socio con pari diritto di voto, mediante delega scritta"*.

Si rappresenta che ai sensi dell'Art. 15 dello Statuto *"In tutte le cariche direttive dell'Associazione deve essere prevista la riserva di un ragionevole numero minimo di cariche direttive a componenti di sesso femminile, in ossequio al principio costituzionale (art. 51 della Costituzione) dell'uguaglianza di genere di cui al "Codice delle pari opportunità tra uomo e donna, a norma dell'Art. 6 della legge 28 novembre 2005, n. 246 d.lgs. 198/2006"*.

[www.sigeaweb.it](http://www.sigeaweb.it)

Insieme da 30 anni per promuovere  
la cultura geologica  
e la tutela dell'ambiente

**SOSTIENI  
LA TUTELA DELL'AMBIENTE**

**DESTINA  
IL CINQUE X MILLE**

**A SOCIETÀ ITALIANA DI GEOLOGIA AMBIENTALE (SIGEA) - APS**

**C.F. 04336801008**



## Società Italiana di Geologia Ambientale - APS

Associazione di protezione ambientale a carattere nazionale riconosciuta dal Ministero dell'ambiente, della tutela del territorio e del mare con D.M. 24/5/2007 e con successivo D.M. 11/10/2017

**PRESIDENTE**  
**Antonello Fiore**

**CONSIGLIO DIRETTIVO NAZIONALE**  
Lorenzo Cadrobbi, Franco D'Anastasio (*Segretario*),  
Daria Duranti (*Tesoriere*), Iliaria Falconi,  
Antonello Fiore (*Presidente*), Sara Frumento,  
Fabio Garbin, Enrico Gennari, Giuseppe Gisotti  
(*Presidente onorario*), Luciano Masciocco, Fabio Oliva,  
Michele Orifici (*Vicepresidente*), Vincent Ottaviani  
(*Vicepresidente*), Paola Pino d'Astore, Livia Soliani

**Geologia dell'Ambiente**  
**Periodico trimestrale della SIGEA - APS**

**N. 2/2022**  
Anno XXX • aprile-giugno 2022

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

**DIRETTORE RESPONSABILE**  
**Giuseppe Gisotti**

**VICE DIRETTORE RESPONSABILE**  
**Eugenio Di Loreto**

**COMITATO SCIENTIFICO**  
Mario Bentivenga, Aldino Bondesan, Giovanni Bruno,  
Francesco Cancellieri, Rachele Castro, Maria Di Nezza,  
Massimiliano Fazzini, Giuseppe Gisotti,  
Giancarlo Guado, Endro Martini, Luciano Masciocco,  
Davide Mastroianni, Mario Parise, Giacomo Prosser,  
Giuseppe Spilotto, Vito Uricchio, Gianluca Valensise

**COMITATO DI REDAZIONE**  
Fatima Alagna, Giorgio Boccalaro, Valeria De Gennaro,  
Eugenio Di Loreto, Sara Frumento, Fabio Garbin,  
Michele Orifici, Vincent Ottaviani, Maurizio Scardella

**REDAZIONE**  
SIGEA - APS c/o Fidaf - Via Livenza, 6 00198 Roma  
tel. 06 5943344  
[info@sigeaweb.it](mailto: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 ad un giudizio di uno o più referees

**UFFICIO GRAFICO**  
**Pino Zarbo** (Fraserighe Book Farm)  
[www.fraserighe.it](http://www.fraserighe.it)

**PUBBLICITÀ**  
SIGEA - APS

**STAMPA**  
Industria grafica Sagraf Srl, Capurso (BA)

La quota di iscrizione alla SIGEA-APS per il 2022  
è di € 30 e da diritto a ricevere la rivista  
"Geologia dell'Ambiente".

Per ulteriori informazioni consulta il sito web  
all'indirizzo [www.sigeaweb.it](http://www.sigeaweb.it)

# Sommario

Caratteristiche geo-ambientali dei "relitti floristici terziari"  
nella evoluzione recente dell'isola d'Ischia. Proposta di tutela  
e valorizzazione

GIULIANA BALESTRIERE, LUCIA MONTI,  
ROMEO TOCCACELI

2

Montiferru, Sardegna: aspetti antropologici,  
geologico-ambientali e inquadramento di sintesi  
a seguito degli incendi dell'estate 2021

LAURA CAEDDU, ANNA CORBI,  
GIANCARLO GUADO

10

Le risposte adattive dei sistemi costieri alle variazioni  
temporanee del livello del mare

GIOVANNI SCARDINO, ANGELA RIZZO,  
GIOVANNI SCICCHITANO

22

## Geological Day Coste

Una giornata di escursione e di approfondimento  
geologico ambientale

31



In copertina: Francesco Russo, *Parco nazionale dei Monti Sibillini* (Umbria, Marche), particolare della foto vincitrice della menzione "Patrimonio geologico e geodiversità" del Concorso fotografico "Obiettivo Terra 2022", organizzato da Fondazione UniVerde, in collaborazione con SIGEA APS.

# Caratteristiche geo-ambientali dei “relitti floristici terziari” nella evoluzione recente dell’Isola d’Ischia. Proposta di tutela e valorizzazione

Geo-environmental characteristics of the “tertiary floristic wrecks” in the recent evolution of the Island of Ischia. Proposal for protection and enhancement

Parole chiave: Isola d’Ischia, relitto terziario, geosito, evoluzione recente, geologia ambientale

Keywords: Ischia Island, tertiary wreck, geosite, recent evolution, environmental geology

**Balestriere Julianna**  
Botanica, CAI Ischia  
E-mail: [gbalestriere@gmail.com](mailto:gbalestriere@gmail.com)

**Monti Lucia**  
Geologo Regione Campania,  
SIT e Cartografia, CAI Ischia  
E-mail: [lucia.monti@regione.campania.it](mailto:lucia.monti@regione.campania.it)

**Toccaceli Romeo**  
Geologo libero professionista,  
Assegnista CNR-IGAG progetto CARG  
E-mail: [romeo.toccaceli@gmail.com](mailto:romeo.toccaceli@gmail.com)

## 1. PREMESSA

L’obiettivo dell’articolo, sviluppo di un lavoro di tesi di laurea (Balestriere, 2016) in relazione alle ricerche eseguite nell’ambito del rilevamento geologico del foglio n° 464 “Isola d’Ischia” (Progetto CARG, 2011) è stato quello di analizzare in maniera specifica e con approccio integrato, la presenza e lo stato di conservazione di tre cosiddetti “relitti del Terziario” nell’ambito della distribuzione della flora sull’Isola d’Ischia: il *Pycreus polystachyos* (Rottb.) P. Beauv., la *Pteris vittata* L. e la *Woodwardia radicans* (L.) Sm., entità floristiche protette della regione Campania secondo la Legge Regionale n. 40 del 25 novembre 1994. Il termine specie relitta (o semplicemente relitto) sta ad indicare una specie che è stata presente in un territorio più ampio di quello attuale, confinata in quest’ultimo a seguito di eventi che ne hanno causato l’estinzione altrove. Molto spesso le specie relitte sono endemiche di aree ristrette oppure hanno un areale fortemente frammentato. A volte il relitto è costituito da una specie limitata a un areale ristretto, affine a un’altra geograficamente distante e distribuita su un areale più ampio. Esempi di specie relitte sono il larice alpino, strettamente imparentato con i “larici” che formano estesissime foreste in Siberia e in Canada; la *Zelkova sicula* Di Pasq., Garfi & Quézel “zelkova siciliana” e la *Zelkova abelicea* (Lam.) Boiss. “zelkova cretese”, ultimi rappresentanti europei del genere “Zelkova”; la “betulla” dell’Etna, giunta in Sicilia dal Nord con le glaciazioni; la falsa sanicola “*Petagnaea gussonei* (Spreng.) Rauschert”,

l’albero di Giuda (*Cercis siliquastrum* L.) e anche il Ginkgo biloba L.. A volte, il termine “relitto” viene usato anche come sinonimo di “fossile vivente”, per indicare specie, generi o famiglie che sono sopravvissuti all’estinzione della maggior parte degli organismi affini. Lo studio floristico dei siti individuati è stato condotto, in modo innovativo, effettuando rilievi di dettaglio presso le principali stazioni sulla base delle indicazioni dei siti di ritrovamento dei tre relitti del Terziario o Cenozoico (Chronostratigraphic chart, 2014; Gradstein F. M. *et alii*, 2014) richiamati in lavori pregressi sulla flora dell’isola d’Ischia (Gussone, 1885; Merola, 1957; Ricciardi M. *et alii*, 2004). La loro ricomparsa e presenza sull’Isola sono state inquadrare cronologicamente nel quadro morfoevolutivo che ha caratterizzato la recente storia geologica del territorio dell’Isola d’Ischia, definendo la particolarità del contesto geo-ambientale ed ecologico, evidenziandone l’estremo valore naturalistico e paesaggistico. Durante le attività di rilevamento sono state esaminate le caratteristiche ecologiche, il contesto ambientale e paesaggistico delle stazioni in cui attualmente vivono il *Pycreus polystachyos* (Rottb.) P. Beauv., la *Pteris vittata* L. e la *Woodwardia radicans* (L.) Sm.. In tal senso, la ricerca ha permesso di ottenere un quadro aggiornato sulla distribuzione delle stazioni dei tre cosiddetti “relitti del terziario” e di delineare le correlazioni dei popolamenti con le caratteristiche evolutive e geo-ambientali dell’Isola d’Ischia anche in termini di proposta di salvaguardia e valorizzazione.

## 2. INTRODUZIONE

L’isola d’Ischia, l’antica Pithecusa, è la maggiore delle isole nel Golfo di Napoli. La sua vicinanza alla città di Napoli, seppur separata dal mare, ha fatto sì che, fin dagli inizi dell’800, i floristi della scuola napoletana fondata da Michele Tenore si siano interessati a questo territorio insulare. Intorno alla metà del secolo XIX, infatti, in un periodo particolarmente felice per gli studi floristici, il popolamento vegetale di *Pycreus polystachyos* (Rottb.) P. Beauv. si sviluppa presso i campi fumarolici dell’isola, dove si è adattato perché ha trovato un terreno riscaldato dal vapore acqueo delle fumarole. La *Pteris vittata* L. è una felce di rilevante interesse fitogeografico, presente in Campania nella Penisola Sorrentina e sull’Isola d’Ischia in ambienti umidi e caldi, colonizzando rocce e pareti. In particolare ad Ischia cresce in prossimità di una bocca fumarolica in associazione con il *Pycreus polystachyos* (Rottb.) P. Beauv.. La *Woodwardia radicans* (L.) Sm. è una felce bulbifera che in Italia è presente nelle tre regioni meridionali, Sicilia, Calabria e Campania. Sull’isola è stata ritrovata in uno dei profondi impluvi che caratterizzano il versante sud-occidentali del Monte Epomeo. Recenti ricerche sulla flora dell’Isola di Ischia (Ricciardi M. *et alii*, 2004) hanno consentito, direttamente sul campo e da studi bibliografici, di rilevare un totale di 668 *taxa*, comprensivi di 150 nuovi *taxa*, riscontrando, purtroppo, l’assenza di 333 *taxa* precedentemente segnalati. Questa perdita di specie dalla flora probabilmente ha

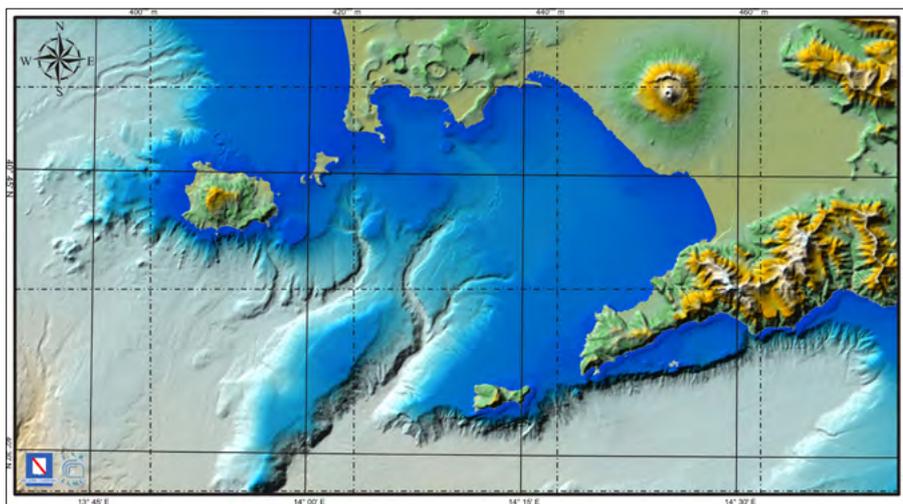


Figura 1. Inquadramento geografico (Regione Campania, Governo del Territorio-SIT)

riflesso l'estensione del disturbo antropico fin dai tempi antichi. Sull'isola sopravvivono ancora alcuni rari *taxa* e specie interessanti sotto un punto di vista fitogeografico come il *Limonium inarimense* (Guss.) Pignatti, *Woodwardia radicans* (L.) Sm. e *Cyperus polystachyos* Rottb., mentre *Bassia saxicola* (Guss.) A. J. Scott, non è stato trovato nel suo *locus classicus* su scogliere marittime. Analisi della flora in termini di forme di vita e spettri fitocronologici mostrano che la flora di Ischia è dominata dalle *Therophytes* (42%) e specie mediterranee (43,6%). È stato trovato un numero inferiore di endemismi italiani (2,4%) che nelle altre aree del Golfo di Napoli. Questo è molto probabilmente correlato alla giovane età dei terreni vulcanici dell'Isola, mentre l'alto numero di specie

molto diffuse (30,7%) potrebbe anche essere probabilmente correlato al disturbo derivante dallo sfruttamento territoriale di origine antropica. Rispetto alla seconda metà del XIX secolo, la flora di Ischia mostra una diminuzione di specie cosmopolite e diffuse, probabilmente a causa della progressiva diminuzione dello sfruttamento agricolo.

### 3. ELEMENTI GEOGRAFICI E GEOLOGICI DELL'ISOLA D'ISCHIA

L'isola d'Ischia è situata a nord-ovest del Golfo di Napoli a circa 33 chilometri in direzione ovest-sud-ovest da Napoli, e a 34 chilometri circa da Capri. Essa si estende su una superficie di circa 46 chilometri quadrati ed è divisa amministrativamente in sei comuni: Barano,

Casamicciola Terme, Forio, Ischia, Lacco Ameno e Serrara Fontana (Fig. 1).

Il perimetro costiero dell'isola si sviluppa per una lunghezza di circa 36 chilometri ed è caratterizzato per il 70% da alte coste rocciose (falesie) a tratti interrotte da piccole spiagge sabbiose-ciottolose. Con le due isole contigue, Vivara e Procida, Ischia rappresenta la parte insulare emersa di un importante campo vulcanico (Fig. 2), ed è costituita essenzialmente dai prodotti delle eruzioni che si sono succedute nel tempo, da accumuli detritici e da depositi sedimentari anche di origine marina (Sbrana e Toccaceli, 2011; Barra *et alii*, 1992a; Barra *et alii*, 1992b; Vezzoli L., 1988).

Unitamente ai Campi Flegrei continentali e Procida, rappresenta l'area vulcanica quaternaria più importante dell'intera area mediterranea. Ha raggiunto l'attuale configurazione morfologica soprattutto in seguito a importanti movimenti vulcano-tettonici che hanno determinato, tra l'altro, la formazione del Monte Epomeo (787 metri s.l.m.), principale rilievo montuoso, ubicato nella zona centrale dell'isola (Sbrana e Toccaceli, 2011; Acocella *et alii*, 1999; Acocella *et alii*, 2000; Zuppetta *et alii*, 1993). Le principali morfologie vulcaniche che ne caratterizzano il paesaggio, ed in particolare il settore nord-orientale e le aree costiere nord-occidentali e sud-occidentali, sono rappresentate dai duomi lavici cupoliformi del Montagnone e del Rotaro, dalle colate laviche di Zaro e Arso, dalle forme crateriche di Vatoliere,

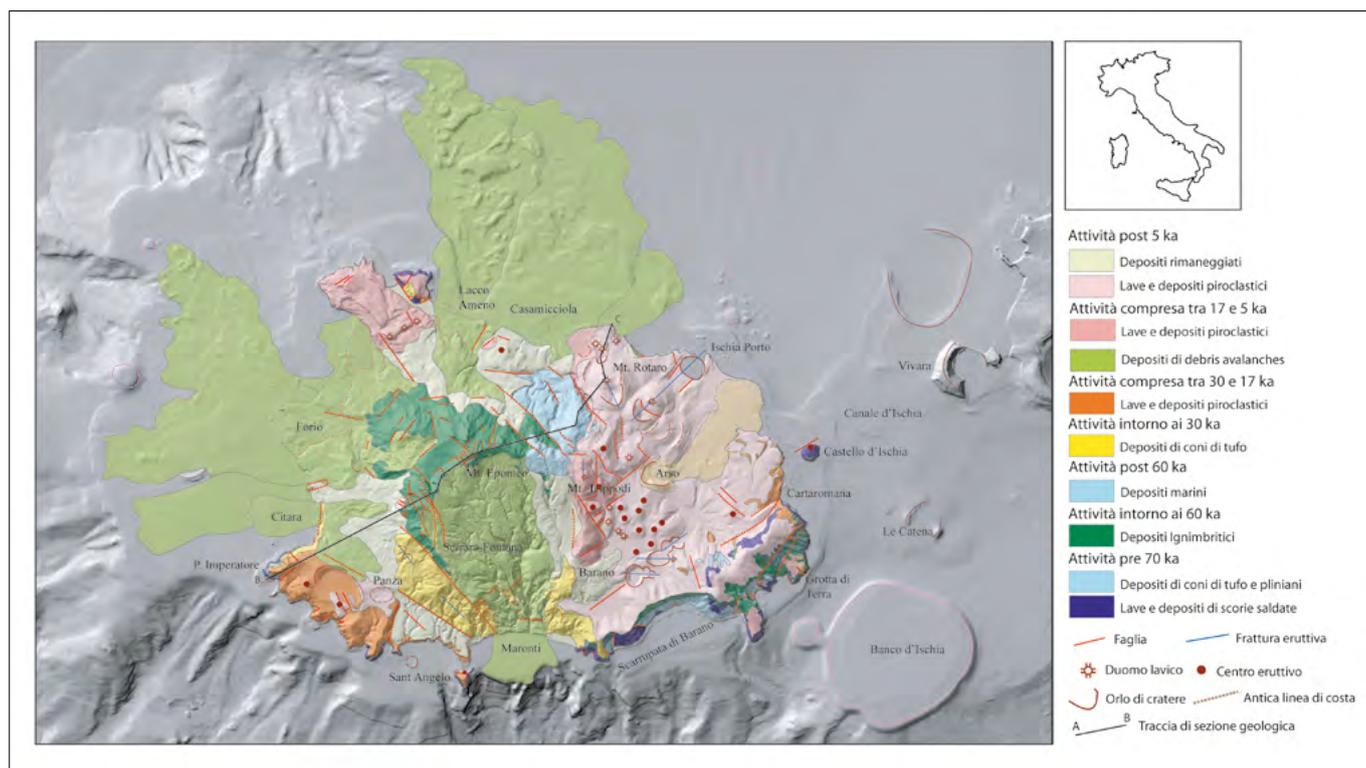


Figura 2. Schema stratigrafico-strutturale dell'Isola d'Ischia (Progetto CARG)

Molara, Nocelle e Campotese, e dal rinomato e caratteristico cratere del lago di Porto d'Ischia. La nascita di Ischia risale almeno al Pleistocene superiore: le vulcaniti emerse più antiche dell'isola hanno infatti un'età di circa 150.000 anni. L'attività eruttiva, attraversando una evoluzione a fasi di attività alterne, termina nel 1302 con l'eruzione dell'Arso. Le acque termali ischitane, famose in tutto il mondo, sono l'espressione superficiale di un esteso sistema geotermico ad alta temperatura la cui presenza è stata confermata da perforazioni profonde effettuate negli anni '50. Va ricordato che i segni dell'attività vulcanica si sono manifestati con grande intensità anche nel XVII, XVIII e XIX secolo, quando il settore settentrionale dell'isola è stato interessato da crisi sismiche ripetute e molto distruttive. Tra queste, tristemente famoso, è il terremoto di Casamicciola, del 1883, per finire con l'evento sismico del 21.08.2017). Ischia rappresenta oggi un'area vulcanica unica: sono infatti presenti, praticamente, tutte le tipologie eruttive che la rendono un laboratorio naturale per i vulcanologi. Inoltre i suoi paesaggi intensi e unici sono molto apprezzati dai turisti. Infatti, l'isola costituisce un esempio ideale del rapporto tra uomo e vulcani: alla fragilità del territorio si contrappone la ricchezza del sistema termale e la bellezza del paesaggio geologico, che creano un mix unico in Italia (Monti L., 2011).

### 3.1 IL SISTEMA IDROGRAFICO SUPERFICIALE

La rete idrografica costituisce un elemento fondamentale e caratterizzante del territorio dell'isola per la ricchezza e varietà di contesti ambientali supportate da particolarissime condizioni climatiche anche molto circostanziate (*microclimi*). In tal senso, il deflusso idrico superficiale è condizionato e controllato dall'assetto morfometrico e strutturale dell'isola che vedono nel Monte Epomeo, il principale spartiacque. Il monte, noto anche per la presenza dell'Eremo di S. Nicola, si erge maestoso in posizione quasi baricentrica rispetto all'isola, raccordandosi in modo articolato e netto, con i settori pedemontani e le aree pianeggianti costiere. Si individuano, quindi, bacini idrografici (Fig. 3) di modesta estensione areale ma con medio-alto gradiente idraulico e a carattere prevalentemente torrenziale, molto spesso disastroso ai danni delle locali comunità in occasione di eventi pluviometrici eccezionali, intensi e/o prolungati.

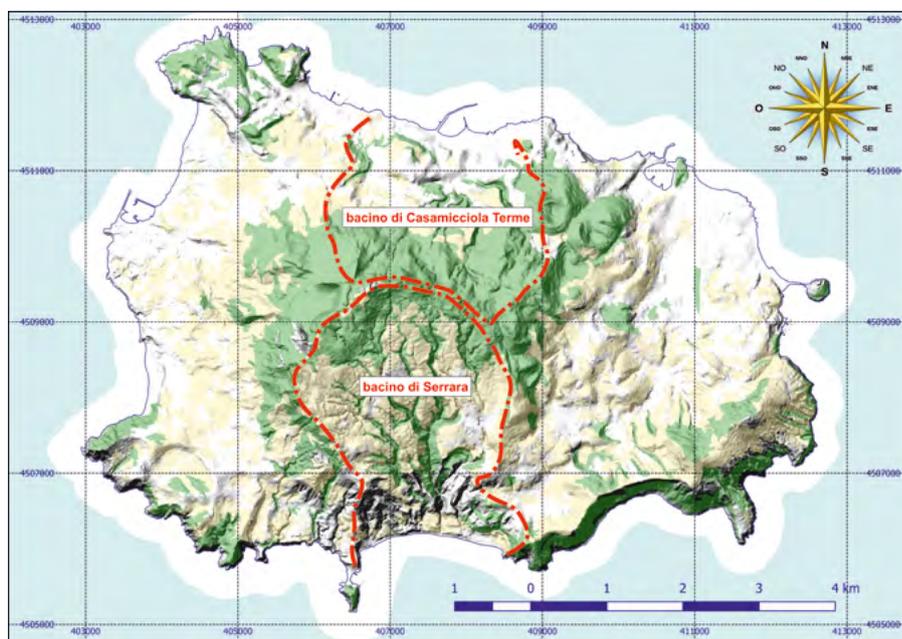


Figura 3. I principali bacini idrografici dell'Isola d'Ischia

I versanti settentrionale e meridionale, rispettivamente "bacino di Casamicciola T." e "bacino di Serrara", risultano essere quelli più profondamente incisi con pareti anche subverticali tanto da configurare tipiche morfologie del tipo a "forra", denominati localmente "cave" (Fig. 4). Il loro approfondimento è molto variabile e può raggiungere, in alcuni tratti, valori anche di 200 metri circa.

incoerente e caotico, che talvolta include enormi blocchi di Tufo Verde. In questo contesto, il reticolo idrografico è poco sviluppato ed è caratterizzato da alvei effimeri, poco incisi, che si interrompono senza giungere al mare. Anche il bacino di Serrara, nella parte centro meridionale dell'isola, presenta numerose e profonde "cave" (Cava Petrella, Cava Scura, Cava Olmitello, Cava Acquara e Cava



Figura 4. Ingresso alla "Cava Bubù"

Sempre nel bacino di Casamicciola Terme, unitamente alla presenza di profonde "cave" (Cava Bubù, Cava Sinigallia, Cava di Leccie, Cava Caduta) si trovano le sorgenti termali di La Rita e di località Bagni, ma si trovano anche le sorgenti fredde di Buceto, Ervaniello e Fontana. Il bacino di Forio sul settore occidentale dell'isola, meno acclive ed inciso, si sviluppa principalmente negli accumuli di frana costituiti da materiale

Terzano), che incidono la morfologia e sfociano sulla spiaggia dei Maronti. Lungo queste profonde forre ci sono le sorgenti di Olmitello, Cava Scura e Nitrodi. Il versante orientale è occupato da un unico bacino, quello di Ischia, caratterizzato da una rete idrografica costituita da fossi effimeri, poco incisi e gerarchizzati. L'impluvio più importante (per buona parte tombato) è quello del Rio Corbore, che nasce dalle pendici del

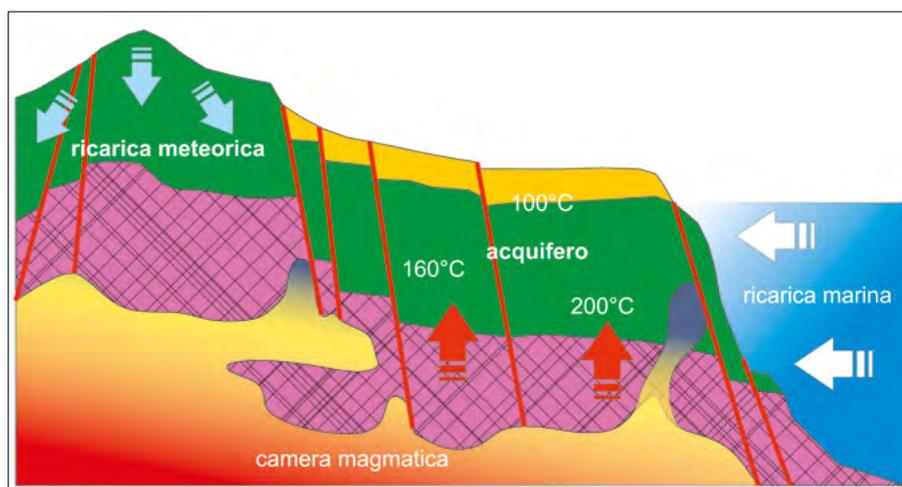


Figura 5. Schema del sistema idrotermale dell'Isola d'Ischia (Monti, 2011, ridisegnata)

Monte Vezzi - Piano Liguori, attraversa il territorio quasi centralmente a partire dal Vatoliere - Casabona verso i Pilastrì, fino a sfociare sulla costa. In questo bacino sono localizzate le sorgenti termali comunali e militari di Ischia Porto

### 3.2 IL SISTEMA IDROTERMALE

Il campo vulcanico di Ischia è oggi in una fase di quiescenza ed è caratterizzato dallo sviluppo di attività fumarolica e idrotermale molto intensa, estesa su gran parte del territorio. Questa peculiarità è legata alla presenza nel sottosuolo di masse magmatiche intrusive molto calde (1000 °C) e superficiali (tra 1 e 2 chilometri) che hanno prodotto una estesa anomalia termica a bassissima profondità.

La risorsa geotermica ischitana deve la sua origine alla costituzione geologica. Il calore delle masse magmatiche (Fig. 5), sepolte nel sottosuolo, ha consentito il riscaldamento e la circolazione di fluidi di vario tipo: acque meteoriche, acque di origine marina, modificate dai processi di circolazione nelle rocce del sottosuolo e fluidi profondi (Monti L., 2011). Tutto questo ha generato il sistema idrotermale, che, unito allo splendido ambiente insulare, costituisce la ricchezza dell'isola. L'isola, che nel complesso è interessata da un flusso di calore molto elevato, tra 200 e 400 mW/m<sup>2</sup> (Sbrana e Toccaceli, 2011; Monti, 2011; Chiodini *et alii*, 2004; Penta *et alii*, 1951), presenta due tipi di manifestazioni idrotermali. Il primo è caratterizzato da campi fumarolici e da emissioni fumaroliche puntuali, aventi temperature elevate (100-115 °C), prevalentemente connesse alle strutture tettoniche che bordano il blocco sollevato dal Monte Epomeo. Il secondo comprende sorgenti termali naturali distribuite nelle aree costiere e nelle zone collinari di raccordo tra la costa e il blocco del Monte

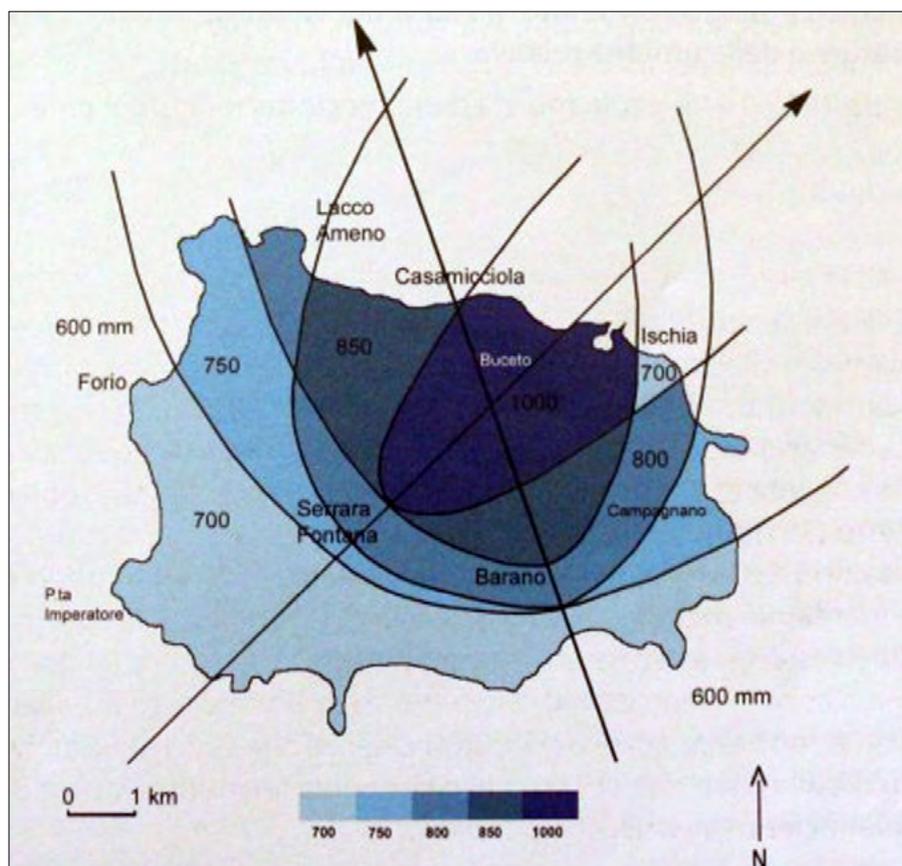


Figura 6. Carta delle isoiete dell'isola d'Ischia (Cubellis *et alii*, 2008; Mennella C. modificata)

Epomeo. Non mancano poi, nell'area marina circostante manifestazioni sia gassose (fumarole sottomarine) sia di acque termali.

### 3.3 LE CONDIZIONI CLIMATICHE

La caratterizzazione climatica generale e/o a livello di microclima dell'isola d'Ischia è complessa proprio a causa della articolata morfologia fortemente interconnessa ai fenomeni vulcanici secondari. Per l'assenza di un archivio meteorologico sufficientemente lungo e per la mancanza di una rete completa di stazioni meteorologiche strategicamente distribuite sul territorio, la definizione della caratterizzazione climatica si basa sui lavori di Cristoforo Mennella (1946,

1959), insigne climatologo ischitano, e sulle elaborazioni da lui effettuate sui dati provenienti da tre stazioni di monitoraggio, funzionanti a intervalli diversi. Dai dati mensili e annuali di pioggia della stazione del Porto (985 mm /anno) risulta che il versante nord-est dell'isola è più piovoso (Fig. 6), di circa 45 %, rispetto al versante di sud-ovest, (stazione di Punta Imperatore), e di circa il 15%, rispetto al versante settentrionale (stazione di Casamicciola). La direzione dei venti dominanti cambia nei vari mesi dell'anno, predominano i venti provenienti da nord, da gennaio a febbraio; da nord-ovest, da marzo a ottobre; da

sud-est, da novembre a dicembre; le intensità maggiori si raggiungono nei mesi di dicembre e gennaio e quelle più basse nei mesi di giugno e luglio. Come i venti, anche l'umidità relativa varia in base alla stagione, con il minimo in luglio e agosto, con valori del 62-63%, e con il massimo in ottobre con valori del 73%.

## 4. LA VEGETAZIONE DELL'ISOLA D'ISCHIA

I caratteri fisici appena brevemente descritti costituiscono, nel loro insieme (litologia/suoli, fenomeni vulcanici secondari, clima), le principali componenti che hanno condizionato e controllato la distribuzione e l'evoluzione vegetazionale dell'Ischia, che, non a caso,

è comunemente definita “Isola Verde”. La vegetazione boschiva è composta essenzialmente dal *Quercus ilex* L. che domina sul promontorio di Zaro e sul Monte Rotaro; *Quercus pubescens* Willd. è limitatamente presente lungo alcune zone del Montagnone (Ischia) e in località Zaro (Forio). Il *Quercus robur* L. si ritrova sulla fascia sub-collinare interna. Esempari di quercia da sughero (*Quercus suber* L.) sono localizzati nell’area dei Pizzi Bianchi (Serrara Fontana). Gli alberi di pino sono stati utilizzati per le alberature ornamentali di parchi pubblici e lungo i margini delle strade, oltre che per le estese pinete presenti nei vari comuni dell’isola. Le principali specie di pino che si possono incontrare sono il *Pinus pinea* L., che copre la colata lavica dell’Arso del 1302, da Fiaiano a Punta Molino (Ischia); il *Pinus halepensis* Mill., ed il *Pinus pinaster* Aiton. Boschi cedui di castagno (*Castanea sativa* Mill.) ricoprono le pendici del Monte Epomeo e dei rilievi minori. Le zone ricche di macchia mediterranea presentano specie profumate, aromatiche e alcune rarità botaniche: *Arbutus unedo* L., *Erica arborea* L., *Myrtus communis* L., *Pistacia lentiscus* L., *Cistus salvifolius* L., *Cistus monspeliensis* L. e *Cistus incanus* L.. Nelle aree umide pedemontane e montane, esposte a settentrione, e lungo le profonde forre che incidono il versante di Casamicciola, si sviluppano vari esemplari di felci, come la *Ceterach officinarum* Willd., *Asplenium adiantum-nigrum* L., Capelvenere (*Adiantum capillus-veneris* L.), *Scolopendrium vulgare* Sm., *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn. La vegetazione delle rupi e dei litorali costieri è caratterizzata da *Artemisia absinthium* L., *Helichrysum litoreum* Guss., *Crithmum maritimum* L., *Rosmarinus officinalis* L. e *Capparis spinosa* L.. Sull’isola ancora oggi sopravvivono alcuni taxa rari e specie interessanti da un punto di vista fitogeografico come la *W. radicans* (L.) Sm., il *P. polystachyos* (Rottb.) P. Beauv. e la *P. vittata* L., considerati relict del Terziario.

## 5. I RELITTI “TERZIARI” DELL’ISOLA D’ISCHIA

Il termine “relietto”, deriva dal latino *relictus*, da *relinquere* = lasciare indietro o rimanere indietro. In questo senso, sono relict le piante che, nel succedersi dei climi e paesaggi, o nell’evoluzione delle specie, sono rimaste indietro, accantonate in particolari nicchie ecologiche, dove testimoniano situazioni di un passato a volte molto lontano dal nostro tempo. Nel Terziario, più propriamente detto Cenozoico (da 65 a 1,8 milioni anni fa), il

clima europeo era sensibilmente più caldo di quello attuale. All’inizio del Quaternario (2,58 Ma anni fa; Chronostratigraphy Chart, 2018) il clima fu segnato da una spiccata alternanza di variazioni di temperature globali, che determinò l’inizio di una serie di periodi caldi e freddi chiamati, quest’ultimi, glaciazioni. Queste condizioni furono incompatibili per la vita delle piante adattate al clima caldo del Terziario, che perciò cominciarono a migrare verso Sud, per ritrovare condizioni climatiche idonee. Ma non tutti si spostarono, le popolazioni di piante che hanno colonizzato il nostro paese nell’era Terziaria e hanno lasciato piccole popolazioni che hanno superato l’era glaciale, sono considerate relict terziari, come la *W. radicans* (L.) Sm. il *P. polystachyos* (Rottb.) P. Beauv. e la *P. vittata* L. L’attecchimento di queste specie sull’isola d’Ischia potrebbe essere avvenuto in corrispondenza dei due picchi (7.4 e 3.5 ky) del periodo definito *Optimum climatico* olocenico (Stevanato L., 2007) occorso tra gli 8.000 e i 3.000 circa anni fa, momento, della storia evolutiva dell’Isola d’Ischia, in cui l’assetto fisiografico era nel complesso già configurato. Queste specie sono sopravvissute sull’isola d’Ischia rifugiandosi in particolari nicchie ecologiche, in cui si sono realizzate condizioni ambientali favorevoli e costanti legate alla presenza di morfologie accoglienti e riparate, il calore dei campi fumarolici e un alto tasso di umidità. Tutte le specie descritte e presenti sul territorio sono minacciate di estinzione.

**5.1 La *Woodwardia radicans* (L.) Sm.** La *W. radicans* (L.) Sm. (Fig. 7) comunemente chiamata in italiano felce bulbifera (Fig. 7) è un genere monospecifico che in Italia forma delle isole fitogeografiche che comprendono la Campania, Calabria (le stazioni più folte) e la Sicilia, testimonianza di un clima subtropicale.

grafiche che comprendono la Campania, Calabria (le stazioni più folte) e la Sicilia, testimonianza di un clima subtropicale.

A causa dell’affermarsi del clima mediterraneo si è ritirata in alcune aree montuose del meridione d’Italia ed è divenuta talmente rara da essere protetta con Direttiva Habitat 43/92 CE. Nel territorio italiano è inclusa nelle Liste Rosse Regionali di Campania, Calabria e Sicilia, come specie fortemente minacciata. Dai dati raccolti dai lavori precedenti di Tenore (1811-1838) e Gussone (1855) la felce era presente in siti ombrosi e valli presso precipizi. Il genere fu dedicato al botanico inglese Thomas Jenkinson Woodward (1745-1820), membro della Linnean Society of London. L’epiteto deriva da “radico” io metto radici: che emette radici; ciò è riferito ai bulbilli presenti nella fronda che piegandosi al contatto del terreno emettono le radici e quindi danno vita a nuove piante. Sull’isola d’Ischia la specie è stata ritrovata (Ricciardi *et al.* 2004) lungo una delle profonde forre dei versanti sud-occidentali del Monte Epomeo (Fig. 4). La profonda sezione dell’impluvio è scavata nella potente successione epiclastica afferente alla unità del Tufo Verde e si raggiunge mediante uno scosceso sentiero ubicato a margine della strada che porta alla vetta del M. Epomeo. I rilievi eseguiti hanno permesso di segnalare la presenza diffusa della *W. radicans* (L.) Sm. in rigoglioso stato vegetativo in associazione con *H. helix* L. e *A. italicum* Mill. In questa stazione sono presenti molti esemplari impiantati sulle pareti verticali dove, purtroppo, l’attecchimento di nuovi individui è compromesso da fenomeni di erosione e ruscellamento superficiale e



Figura 7. *Woodwardia radicans* (L.) Sm



Figura 8. *P. polystachyos* (Rottb.) P. Beauv. (Loc. M. Cito)



Figura 9. *P. polystachyos* (Rottb.) P. Beauv. (Loc. Donna Rachele)

dal conseguente smottamento di porzioni di versante. La presenza della felce è ristretta esclusivamente agli ambienti non antropizzati, questo aspetto, unitamente alle sue peculiari esigenze climatiche la rende una specie estremamente critica e particolarmente vulnerabile. In tal senso sono stati osservati importanti fenomeni di degrado di ambienti potenzialmente adatti allo sviluppo della *W. radicans*, ascrivibili all'attività antropica, come presenza di discariche abusive e/o incontrollate, accumuli di rifiuti di varia natura e fenomeni di dissesto e degrado causati anche dalla cattiva gestione del patrimonio boschivo, impedendo la salvaguardia o lo sviluppo della felce.

**5.2** Il *P. polystachyos* (Rottb.) P. Beauv. (Dente di Cavallo) è una specie di notevole interesse naturalistico (Fig. 8). Vive nelle zone tropicali, subtropicali e nell'i-

sola d'Ischia, dove si è adattata perché ha trovato un terreno riscaldato (40 °C) dal vapore acqueo delle fumarole.

Specie della famiglia delle Cyperaceae, si presenta con steli erbacei diretti verso l'alto alle cui estremità si formano le spighe floreali. Fiorisce in maggio-giugno. La pianta a sviluppo completo raggiunge 40/60 cm di altezza. È una delle rarità floristiche europee più interessanti.

**5.3** La *P. vittata* L. è comunemente chiamata in italiano Pteride a foglie lunghe. È presente in Campania nella penisola Sorrentina e nell'isola d'Ischia. Il termine *Pteris* deriva dal greco "πτέρις pteris" felce, assonante con "πτερόν pteron" penna, ala per l'aspetto delle fronde. Mentre *vittata*: (Alpinia) da "vitta" benda, fascia: bendato, fasciato, perché le foglie sono variegata a strisce. È una felce

perenne originaria delle regioni tropicali e subtropicali, si tratta di una specie pioniera, in genere cresce in ambienti umidi, colonizzando pareti, rocce e scogliere fino a 400 metri di quota (Fig. 9).

Sull'Isola d'Ischia la *P. vittata* L. è presente in due stazioni (Fig. 10), in località "Grotta del Tamburo o Cava Bubù" ad una quota di circa 190 m s.l.m., poco a monte di Piazza Bagni nel comune di Casamicciola Terme, in prossimità di una bocca fumarolica dove vive in associazione con il *P. polystachyos* (Rottb.) P. Beauv. Alla stazione si accede percorrendo la forra (cava) nel cui punto finale è caratterizzata dalla presenza di una piccola bocca fumarolica dove cresce rigogliosa la *P. vittata* L. I rilievi eseguiti hanno consentito, per questa stazione, di documentare e segnalare, per la prima volta ed in prossimità di un condotto fumarolico, la presenza della *P. vittata* L. in associazione con il *P. polystachyos* (Rottb.) P. Beauv.. La stazione è caratterizzata da numerosi individui che crescono lungo le pareti della cava e in prossimità della bocca.

## 6. RICOSTRUZIONE GEO-AMBIENTALE E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I rilievi eseguiti e l'acquisizione di tutti i dati disponibili hanno consentito di definire la distribuzione areale delle specie relitte sull'Isola d'Ischia e le caratteristiche geo-ambientali. Le stazioni esaminate (Fig. 11) presentano tutte buone condizioni vegetative e si differenziano soprattutto per la densità di popolamento, per l'altezza e per l'ubicazione rispetto ai punti di emissioni fumaroliche. In particolare le altezze variano da 20 cm a 80 cm. Nel campo fumarolico Cimmento Rosso-Donna Rachele, dove i valori di temperatura raggiungono i 115 °C, il *P. polystachyos* raggiunge l'altezza di circa 80 cm e la densità di popolamento forma delle estese e rigogliose praterie. Presso le fumarole di Rione Bocca, in presenza di temperature molto più basse e di alterazione idrotermale non pervasiva, il popolamento è più rado, si impianta lontano dai centri di emissione e raggiunge un'altezza massima di circa 40 cm. Pertanto, è possibile ipotizzare che le differenze riscontrate tra le stazioni esaminate, siano da imputare alle variazioni di temperature, umidità ed esposizione solare, che influenzano le condizioni microclimatiche locali, la tipologia e concentrazione delle emanazioni gassose e le caratteristiche



Figura 10. *P. vittata* L.

pedologiche, condizionate, quest'ultime, dall'intensità e grado di alterazione idrotermale. Sono state inoltre rilevate le specie che vivono in associazione con il *P. polystachyos* nelle diverse stazioni. Tra le più significative troviamo le specie che si sono adattate alle condizioni di umidità e temperatura del suolo con il fenomeno del plagiotropismo radicale, come il *M. communis* L., il *P. lentiscus* L. e l'*E. arborea* L. con doppia fioritura annuale; le felci come l'*A. capillus-veneris* L. che predilige gli ambienti con elevato grado di umidità; le specie opportuniste come *A. americana* L. e *O. ficus-indica* (L.) Mill., estranee agli ambienti della macchia mediterranea.

Queste, incidono negativamente sulla crescita e lo sviluppo del *P. polystachyos* e si diffondono nelle zone che presentano buona esposizione solare e bassi valori di temperatura e umidità, occupando gli spazi lasciati liberi dalle specie autoctone che non riescono a sopravvivere alle condizioni microclimatiche locali. La *P. vittata* L. è presente in due stazioni, è caratterizzata da numerosi individui in ottimo stato vegetativo, e la caratteristica particolare che oltre a colonizzare le pareti della cava vive in prossimità di una bocca fumarolica in associazione con il *P. polystachyos* (Rottb.) P. Beauv., l'*A. capillus-veneris* L. e la *M. polymorpha* L. La *W. radicans* (L.) Sm. è presente in un'unica stazione isolana, nel vallone dell'Epomeo nel comune di Serrara Fontana. In questa stazione sono presenti molti esemplari impiantati sulle pareti verticali dove, purtroppo, l'attecchimento di nuovi individui è compromesso dall'erosione superficiale e dal conseguente smottamento e trasporto a valle del substrato da parte delle acque piovane. All'interno della

cava è stato possibile osservare un grande degrado legato all'attività antropica, in quanto il vallone è caratterizzato da accumuli di rifiuti di varia natura e frane causate dalla cattiva gestione dei boschi che impediscono lo sviluppo della felce. Le recenti attività di ricerca e studio finalizzate all'allestimento della carta geologica ed alle caratteristiche geoambientali dell'Isola d'Ischia (Monti, 2011; Sbrana e Toccaceli, 2011) hanno permesso di integrare e supportare i dati naturalistici consentendo di ipotizzare il momento morfo-evolutivo e climatico più favorevole all'instaurarsi delle particolari condizioni ambientali (nicchie ecologiche), legate alla storia geologica, e che hanno favorito il reinsediamento (?) delle specie vegetazionali cenozoiche "relette" durante l'ultimo post-glaciale. Il campo vulcanico dell'Isola, nel suo com-

plesso, molto attivo negli ultimi 150.000 anni, era, tra i 50.000 e i 20.000 anni fa, parzialmente se non quasi totalmente sommerso, come testimonia l'analisi cronostratigrafica dei depositi vulcanici e sedimentari di origine marina (Sbrana e Toccaceli, 2011; Barra *et alii*, 1993; 1992a; 1992b) andando incontro, con profonde modificazioni della locale paleogeografia (Fig. 12), a quello che si prefigurava come il picco della glaciazione wurmiana e degli ultimi periodi freddi terminati tra i 12.800 e 11.500 anni b.p. (Alley, 2000), con condizioni climatiche certamente poco favorevoli alle specie oggetto di studio. Il conseguente e progressivo riscaldamento post-glaciale, unitamente alla veloce risalita del livello del mare (Antonoli *et alii*, 2004; Antonoli *et alii*, 2001; Lambeck *et alii*, 2004a; Lambeck e Chappel, 2001; Lambeck e Bard, 2000) ha avuto tra i 9.000 e i 5.000 anni fa, con il suo picco termico di maggiore riscaldamento (optimum climatico) avvenuto intorno a 8.000 y.b.p., ha trovato una conformazione fisiografica e morfostrutturale molto simile all'attuale, soprattutto per quel che riguarda i territori in cui attualmente si rileva la presenza delle specie relitte.

Di fatti, i sedimenti marini posti al tetto del Tufo Verde del M. Epomeo, posti a quote prossime agli 800 m. s.l.m., e quindi coinvolti nel veloce sollevamento, vengono ritenuti non più antichi di 55.000 anni e non più recenti di 10.000 anni circa (Barra *et alii*, 1992a). Così come per altri depositi di origine marina, posti a quote più basse e prossime all'attuale linea di costa, sempre coinvolti nei recenti sollevamenti,

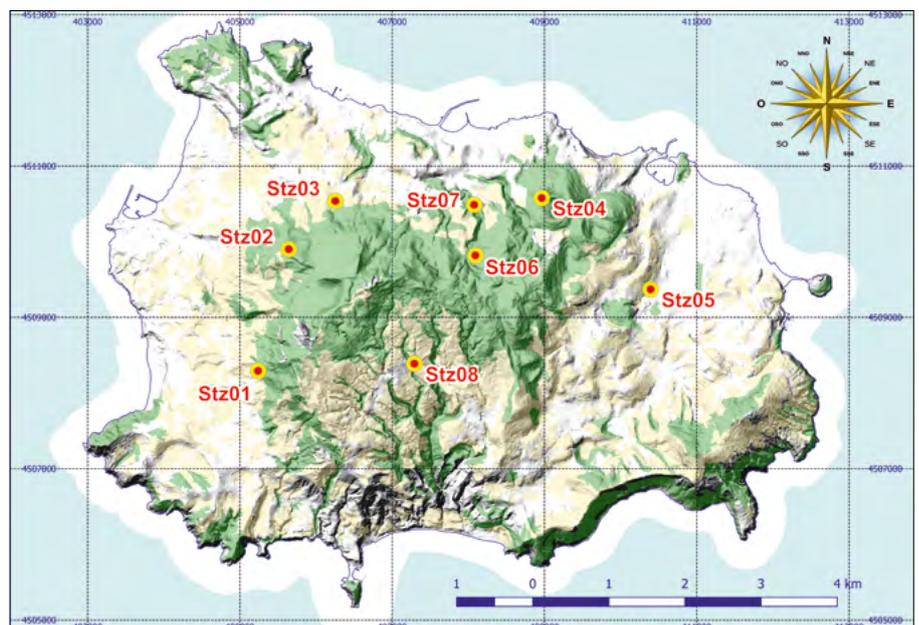


Figura 11. Le stazioni di censimento botanico. Stz01: *M. te Corvo* (Cimmento Rosso, Donna Rachele, Rione Bocca); Stz02: *M. Nuovo*; Stz03: *M. Cito*; Stz04: *M. Rotaro*; Stz05: *Arso-Pineta di Fiaiano*; Stz06: *Cava Bubù*; Stz07: *P.zza Bagni*; Stz08: *Casa Migliaccio*

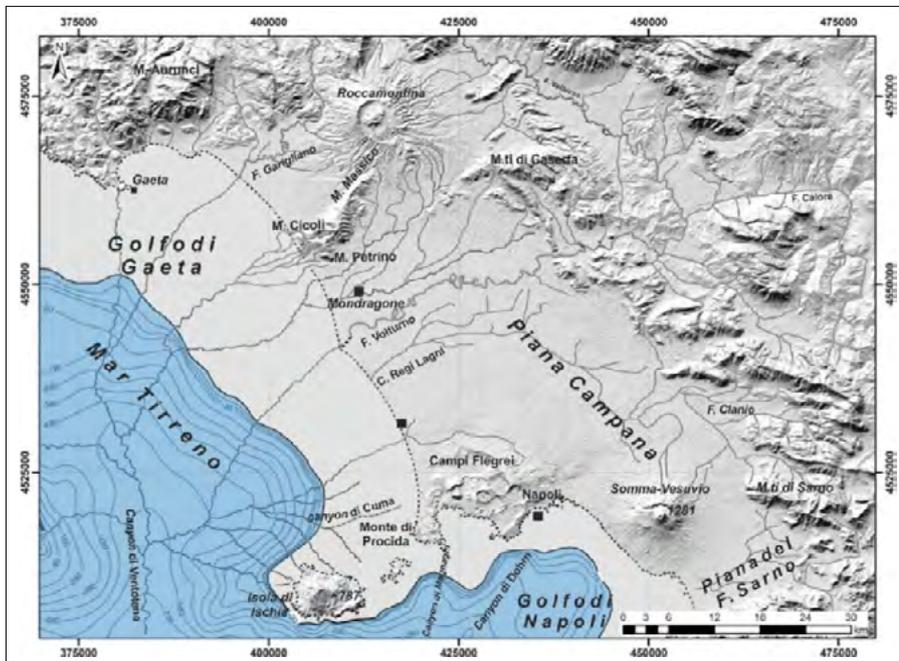


Figura 12. Schema paleogeografico regionale di 18.000 anni B.P. durante il massimo picco dell'ultima glaciazione. La linea di riva era spostata verso mare di alcune decine di chilometri, posizionandosi in corrispondenza dell'attuale batimetrica dei 120 m. L'abbassamento del livello marino ha determinato un importante ampliamento della terra emersa. La linea tratteggiata indica la posizione dell'attuale linea di riva. (Pennetta et alii, 2017)

le datazioni eseguite nell'ambito del Progetto CARG (Sbrana e Toccaceli, 2011) hanno confermato una età di circa 6.000 anni dal presente. Questi depositi terrazzati risultano profondamente incisi ed in continuità con il reticolo idrografico che attualmente solca i versanti perimetrali al M. Epomeo. Quanto ricostruito, sia sotto gli aspetti strettamente botanici che geologico-evolutivi, conferma l'ipotesi che a partire dall'ultimo glaciale, tra 10.000 e 6.000 anni fa circa si è pervenuti ad un assetto morfo-stratigrafico molto simile all'attuale, affinché si potessero instaurare le condizioni climatiche, di temperatura indotta ed ambientali da consentire l'attecchimento e lo sviluppo delle specie relitte fino ai giorni nostri. Si conferma, altresì, l'importanza geo-ambientale delle specie "relitte" presenti sull'isola d'Ischia, quale testimonianza dell'adattamento in particolarissime condizioni ambientali più uniche che rare, e quanto esse siano da considerare specie a rischio estinzione. Si riscontra, infatti, che dagli inizi degli anni 50' ad oggi l'Isola ha subito profonde trasformazioni territoriali e di espansione urbana, confermando la perdita dei "relitti terziari" in molte delle stazioni isolate oggetto di censimento. Le principali cause che hanno portato alla regressione o alla totale perdita delle specie sono state la forte antropizzazione con alterazione e molto spesso distruzione dell'ambiente naturale, o gli incendi dolosi, l'incontrollato uso del suolo, il disboscamento, l'abbandono e il degrado delle aree montane, unitamente

alla mancata manutenzione del reticolo idrografico. Necessità, quindi, per quanto evidenziato finora, nella consapevolezza del concetto di tutela del patrimonio naturale e di realtà scientifiche, un'azione decisa e mirata alla salvaguardia dei siti oggetto di studio a testimonianza delle peculiarità naturali e della storia evolutiva dell'Isola, nell'ottica della tutela e valorizzazione dell'isola d'Ischia.

## BIBLIOGRAFIA

- ANTONIOLI F., SILENZI S., FRISIA S. (2001), *Tyrrhenian Holocene palaeoclimate trends from spelean serpulids*. Quaternary Science Reviews, 20, 1661–1670.
- ANTONIOLI F., BARD E., SILENZI S., IMPROTA S. (2004), *215 kyr history of sea level oscillation from marine and continental layer of Argentarola Cave's speleothems (Italy). Global and Planetary Change*.
- ACOCELLA V. E FUNICIELLO R. (1999), *The interaction between regional and local tectonics during resurgent doming: the case of the Island of Ischia, Italy*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 88, 109123.
- ACOCELLA V., CIFELLI F. E FUNICIELLO R. (2000), *Analogous models of collapse calderas and resurgent domes*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 104, 81–96.
- ALLEY RICHARD B. (2000), *The Younger Dryas cold interval as viewed from central Greenland*. Quaternary Science Reviews, vol. 19, 1ª ed., pp. 213–226.
- BALESTRIERE G. (2016), *I relitti terziari dell'Isola d'Ischia*. Tesi di Laurea, A.A. 2015/2016. Università Federico II di Napoli (inedita).
- BARRA D., CINQUE A., ITALIANO A. & SCORZIELLO R. (1992a), *Il Pleistocene superiore marino di Ischia, paleoecologia e rapporti con l'evoluzione tettonica recente*. Studi Geologici Camerti, (1992/1), 231–243.

- BARRA D., ITALIANO A., ALLEGRI L., BELLUOMINI G. & MANDRA L. (1992b), *La serie marina olocenica di Cafieri (Isola d'Ischia), implicazioni vulcano-tettoniche e geomorfologiche*. Il Quaternario, 5 (1), 17–26.
- CHIODINI G., AVINO R., BROMBACH T., CALIRO S., CARDELLINI C., DE VITA S., FRONDINI F., GRANIERI D., MAROTTA E., VENTURA G. (2004), *Furmarolic and diffuse soil degassing west of Mount Epomeo, Ischia, Italy*. J. Volcanol. Geotherm. Res. 133; 291–309.
- CUBELLIS E., MAZZARELLA A., SCAGLIOLA L. (2008), *1910: l'alluvione nell'isola d'Ischia*. In: Ambiente e Territorio n.1 pp.46–53, Maggioli Editore.
- CHRONOSTRATIGRAPHY CHART (2018), *International Commission on Stratigraphy*.
- GRADSTEIN F. M., OGG J. G., SCHMITZ M. D. AND OGG G. M. (2012), *The Geologic Time Scale*. Elsevier.
- ITALIANO A. (1994), *Evoluzione geomorfologica dell'Isola d'Ischia e archeologia*. Ann. Arch. E Storia Antica, Dip. di Studi del mondo classico e del Mediterraneo antico. Ist. Univ. Orient., Nuova Serie n. 1, Napoli, 302.
- LAMBECK K., ANTONIOLI F., PURCELL A., SILENZI S. (2004a), *Sea level change along the Italian coast for the past 10,000 years*. Quaternary Science Reviews, 23, 1567–1598.
- LAMBECK K. E CHAPPEL J. (2001), *Sea level change through the last glacial cycle*. Science, 292, 679–689.
- LAMBECK K., BARD E. (2000), *Sea-level change along the French Mediterranean coast for the past 30000 years*. Earth and Planetary Science Letters, 175, 203–222.
- MENNELLA C. (1946), *Regime pluviometrico caratteristico sull'Isola d'Ischia*. In: Atti Centro Studi su l'Isola d'Ischia, periodo 1944–1970.
- MENNELLA C. (1959), *L'Isola d'Ischia gemma climatica d'Italia*, Napoli.
- MONTI L. (2011), *Guida geologico-ambientale dell'isola d'Ischia*. Assessorato Difesa Suolo Regione Campania. L.A.C. Firenze.
- PENNETTA M., TROCCIOLA F. E DONADIO C. (2017), *Inquadramento territoriale dell'area archeologica marino-costiera di Sinuessa: geologia, geomorfologia*. In: Sinuessa, un approdo sommerso si epoca romana. Archeologia, geomorfologia costiera, strategie sostenibili di valorizzazione. ENEA (Atti monografia).
- PENTA F. & CONFORTO B. (1951), *Risultati di sondaggi e di ricerche geominerarie nell'Isola d'Ischia al 1939 al 1943 nel campo del vapore, delle acque termali e delle "forze endogene" in generale*. Ann. Geofis. 4, 159191.
- SBRANA A. & TOCCACELI R. M. (2011), *Note illustrative alla Carta Geologica 1:10.000 Foglio 464 Isola d'Ischia*. Progetto CAR.G. Assessorato Difesa Suolo Regione Campania. L.A.C. Firenze.
- STEVANATO L. (2007), *Il clima dell'Olocene: deglaciazione, optimum climatico e relativo tracollo registrati nei ghiacci delle calotte polari*. Tesi di Laurea, Università degli Studi di Padova.
- ZUPPETTA A., SAVA A. & ZUPPETTA C. (1993), *Evoluzione vulcanotettonica dell'Isola d'Ischia; un modello per gli ultimi 35 Ka di attività*. Boll. Soc. Geol. It., 112, 353–369.

# Montiferru, Sardegna: aspetti antropologici, geologico-ambientali e inquadramento di sintesi a seguito degli incendi dell'estate 2021

**Laura Cadeddu**  
Geologa, SIGEA Sardegna  
E-mail: [geol.lauracadeddu@gmail.com](mailto:geol.lauracadeddu@gmail.com)

**Anna Corbi**  
UNITRE Godiasco Salice Terme (PV)  
E-mail: [corbanna@gmail.com](mailto:corbanna@gmail.com)

**Giancarlo Guado**  
SIGEA Lombardia  
E-mail: [info@studioguado.com](mailto:info@studioguado.com)

## Montiferru, Sardinia: anthropological, geological-environmental matters and a brief context overview following wildfires of summer 2021

**Parole chiave:** Montiferru, Sardegna centro-occidentale, incendi, dissesto idrogeologico, cambiamenti climatici, geodiversità, suolo, edifici vulcanici, testimonianze archeologiche, Casa Savoia, "monti granatici", "monti nummari", identità, rapporto faccia a faccia, famiglia estesa, "a chent'annos"

**Keywords:** Montiferru, central-western Sardinia, wildfire, geo-hydrologic hazard, climate change, geodiversity, soil, volcanic edifices, archaeological finds, Casa Savoia, "monti granatici", "monti nummari", identity, face to face relationship, extended family, "a chent'annos"

### PREMESSA

(A CURA DI G. GUADO)

Il Montiferru è una sub regione della Sardegna (Fig. 1) che presenta caratteristiche geo-idrologiche, paesaggistiche e storico-antropologiche di particolare peculiarità.

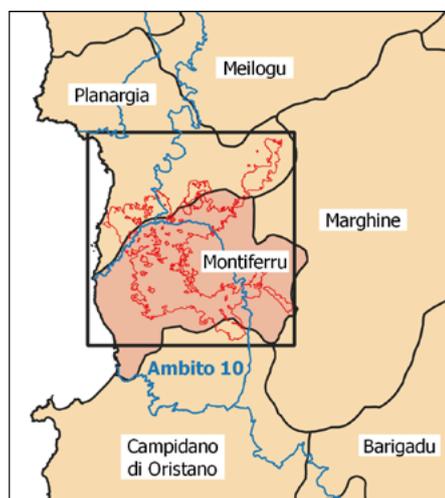


Figura 1. Sub-regioni della Sardegna, Montiferru e contermini. In rosso l'area incendiata, nel riquadro nero l'area mappata, in blu le ripartizioni d'ambito del PPR

Il suo territorio, pur essendo in larga misura estraneo al turismo di massa, è fruito da un turismo, anche internazionale, particolarmente interessato alla conservazione dell'ambiente naturale; in ciò, paradossalmente, la tutela di questo ambiente se da un lato è favorita dalla impervietà delle spiagge e delle strade, sotto l'aspetto della attenzione a queste peculiarità, negli ultimi anni,

sembrerebbe che questa stia lasciando spazio a un degrado strisciante, dovuto sia ai cambiamenti climatici, sia e ancora di più, alla incuria o forse ad una gestione del territorio da rilanciare/riformare. Il Montiferru da un punto di vista geologico estensivo rappresenta il complesso vulcanico più importante della Sardegna con i suoi 1000 Km<sup>2</sup> circa. Su questo territorio gravitano realtà antropiche legate intrinsecamente alla sua storia. Sotto l'aspetto essenziale/amministrativo è rappresentato dai seguenti comuni: Scano di Montiferru, Cuglieri, Santo Lussurgiu, Bonarcado, Seneghe, Narbolia e Sennariolu per un totale di 500 Km<sup>2</sup> ca. Gli abitati storici sono tutti interni rispetto alla costa marina, solo Cuglieri e Narbolia godono di alcune frazioni rivierasche, peraltro di recente fondazione; gli abitanti residenti nel complesso sono circa 10000 che nei periodi estivi si incrementano del 30% ca. Il complesso vulcanico, spento da oltre un milione di anni, è osservabile su tutta la vasta area, attraverso le varie sfaccettature di facies più o meno dia-genizzate ma ben conservate. Nella sua attività, il vulcano originò, ad est dell'attuale complesso montuoso principale, il vasto piano di Abbasanta (basalti in posto), mentre verso ovest, area costiera, si formarono scogliere frastagliate e suggestive sotto l'aspetto formazionale. In origine è presumibile che il vulcano avesse una altezza di circa 1500-1600 metri dall'Oligocene fino a qualche mi-

lione di anni fa l'attività vulcanica ha prodotto varie facies che oggi osserviamo, molto ridotte dall'erosione, dal centro della montagna verso i margini; queste sono fondamentalmente rocce scure basaltiche in facies di trachiti, ignimbriti (riolite andesite) tefriti e duomi fonolitici grigi spettacolari.

La consistenza idrogeologica del Montiferru è di grande valore sia per il modello di studio che esprime, sia per la sua valenza intrinseca deputata alla risoluzione delle necessità di importanti acquedotti della regione e non solo. Il paesaggio è di particolare interesse per il suo ambiente naturale, per l'archeologia e gli aspetti storico/antropici che hanno consentito di conservare questo habitat ancora oggi fruibile sia dall'uomo, sia dal mondo animale. In questo articolo si illustra il comprensorio sotto l'aspetto storico-antropologico e geo-ambientale; la consistenza idrogeologica del territorio, che pur merita una approfondita disamina, viene descritta sinteticamente e sarà trattata in un successivo articolo. Nel testo sono inoltre documentati in modo dettagliato i fatti avvenuti nell'estate 2021 con dati abbastanza consolidati in riferimento agli incendi che hanno colpito tutta l'area del Montiferru. Gli incendi dell'estate 2021 infatti, di annosa ciclicità, sono avvenimenti che hanno evidenziato la criticità che sta vivendo questo territorio il cui valore naturalistico-ambientale risulta assolutamente rilevante.

## 1. ASPETTI STORICI E SOCIALI

(A CURA DI A. CORBI)

Il Montiferru e il vicino Sinis oltre alla grande rilevanza naturalistica, hanno e conservano tracce e testimonianze archeologiche, domus de janas, tombe dei giganti, nuraghi, tombe paleocristiane, città fenicie, torri di avvistamento, chiese gotico-catalane, castelli, fortezze e altro, delle diverse civiltà che si sono succedute nell'isola contribuendo alla creazione di una forte identità etnica presente nelle consolidate e ancora attuali tradizioni popolari, ispiratrice dei tipi e forme di artigianato tipico locale che conferiscono loro una spiccata identità anche nel contesto regionale. Indubbiamente molti e grandi sono stati gli apporti provenienti dalla penisola italiana nella costruzione della fisionomia del popolo sardo in generale: dalle prime migrazioni di età neolitica, ai legami protostorici tra Sardi ed Etruschi, alla lunga e integrale romanizzazione realizzata durante sette secoli, a cui l'Isola deve la sua attuale lingua e cultura neo-latina.

Dopo la parentesi bizantina e alto-giudiciale il legame con l'Italia, riconsacrato dalla vittoria dell'alleanza tra Sardi, Pisani e Genovesi sull'invasore musulmano, fu rinnovato dagli ordini monastici venuti dall'Italia, dalle repubbliche di Pisa e di Genova, dalla casata dei Doria, dalle famiglie dei Visconti, degli Obertenghi, dei Capraia, dei Gherardesca e dei Malaspina. La conquista aragonese dell'isola, avvenuta tra il 1324 e il 1409, sottrasse la Sardegna alla benefica sfera d'influenza commerciale delle dinamiche e progredite economie di Pisa e Genova e impose un'arretrata economia feudale, che la Sardegna giudiciale non aveva mai conosciuto. Dopo la guerra di successione spagnola (1700-1713), con il Trattato di Londra del 2 agosto 1718 la Sardegna passò ai Duchi di Savoia, precedentemente insigniti della Sicilia. In questo modo Casa Savoia, conquistando la dignità regale, entrava a far parte delle grandi casate europee e la Sardegna tornava nell'alveo per essa naturale della civiltà italiana. Con Giambattista Lorenzo Bogino quale Ministro per gli Affari di Sardegna nel 1759 (fino al 1773) cominciò in Sardegna il periodo del "riformismo illuminato" nel campo economico, giuridico e sociale.

La principale riforma politica dell'epoca volta a ridurre gli effetti dell'ordinamento feudale fu l'istituzione nel 1771, in tutti i paesi dell'Isola, dei "Consigli

Comunitativi", presieduti da un Sindaco eletto a turno nei tre ordini di cittadini: primo, mezzano e infimo. Per la prima volta, i sudditi dei feudi venivano coinvolti nella vita politica. Bogino introdusse per la prima volta in Sardegna un regolare servizio postale.

Il sistema tributario fu riordinato e reso più equo. L'agricoltura fu promossa con cattedre itineranti e pubblicazioni anche in lingua sarda, furono istituiti nel 1767 in ogni paese i "monti granatici", dove con modica spesa ogni contadino poteva rifornirsi di sementi.

Dopo il 1770, il maggiore contributo al miglioramento dell'agricoltura sarda si dovette al Censore Generale Giuseppe Cossu. Si impartirono moderne disposizioni in materia di allevamento e macellazione.

Furono introdotte costose macchine per la filatura e nuove macchine trebbiatrici, grazie alle quali nel 1790 la Sardegna raggiunse il primato di produzione di due milioni di strelli (un milione di quintali) di grano. Dal punto di vista culturale, Bogino stabilì che la lingua ufficiale del Regno di Sardegna fosse l'italiano, che i Savoia avevano adottato quale lingua ufficiale in Piemonte già dal 1561 al posto del latino. Nel 1760 fu riorganizzata l'istruzione elementare e ginnasiale con l'introduzione dell'insegnamento obbligatorio della lingua italiana. Anche la lingua sarda, che era stata completamente marginalizzata in epoca aragonese e spagnola, visse una rinascita letteraria. A Bogino si deve anche la riapertura, dopo oltre cento anni, delle Università di Cagliari (1764) e Sassari (1765), con le Facoltà di Teologia, Giurisprudenza, Filosofia e Medicina. Verso la fine del secolo il nuovo Re Vittorio Amedeo III intraprese in Sardegna nuove opere di fortificazione militare, istituì i "monti nummari" per prestare denaro a basso tasso d'interesse agli agricoltori bisognosi e la "Giunta di ponti e strade" competente per la realizzazione delle infrastrutture viarie, mentre i Gesuiti furono allontanati dall'Isola e i loro beni espropriati.

Nell'Ottocento, prima metà, prima con Carlo Felice e poi con Carlo Alberto il processo di ammodernamento continuò con l'abolizione del sistema feudale; ma il sistema seguito non penalizzò la classe nobiliare che fu indennizzata dai Comuni che dovettero imporre tasse e tributi e non creò le condizioni per la modernizzazione dell'economia isolana dove si realizzò la centralizzazione statale del sistema giuridico-amministrativo con maggiori carichi tributari

sui cittadini mentre permasero ampie sacche di povertà e isolamento.

### TORNIAMO AL MONTIFERRU

I sardi del Montiferru sono "un pianeta" diverso dai loro corregionali invasi dal turismo di lusso o di massa. Sono ospitali ma senza forme di ossequio venale, consapevoli di sé e della propria identità. Possono darti la loro amicizia, se la meriti, e se te la danno si tratta di un'amicizia incondizionata, semplice, da rapporto "faccia a faccia". Appartengono ad una cultura ampiamente segnata dalla relazione con l'allevamento delle pecore e dell'agricoltura in un mondo caratterizzato dalla montagna e dalla particolare morfologia del territorio che inclina a forme di difficile gestione e tutela; lo vedi nel linguaggio: essenziale, di poche parole.

La famiglia, quella estesa, è un valore come lo è anche il vincolo spirituale che si crea con i sacramenti: il padrino, la madrina sono "secondi genitori".

Spesso devono andare a lavorare fuori dell'isola ma tornano e non dimenticano quelli che restano. La casa, la terra sono valori assoluti, si tengono, non si vendono se non in casi estremi e nemmeno si dividono tra gli eredi.

Tutto deve rimanere come è. Il tempo non è diventato puntuale e i vecchi non sono "scarto". Il tempo ha la memoria del passato e l'immaginazione del futuro. I vecchi sono la figura di riferimento.

"A chent'annos" è l'augurio che solitamente si fa in Sardegna a una persona quando compie gli anni, un modo affettuoso per dire "cento di questi giorni" e allo stesso tempo augurargli di arrivare fino ai cent'anni di vita. Un traguardo, questo, non troppo difficile da raggiungere se si vive sull'Isola nota per i suoi tanti centenari e per quello che studiosi e turisti chiamano il "mistero della longevità dei sardi".

A Scano di Montiferro c'è chi ha raggiunto i 105 anni di età e anche a Bonarcado, paese noto per i suoi "gioielli" di architettura romanica come il santuario della basilica di *Nostra Signora di Bonaccattu*, hanno superato la soglia dei cent'anni alcune abitanti.

Tutto deve rimanere come è: questa è la forza conservata nelle tradizioni.

## 2. GLI INCENDI DELL'ESTATE 2021

L'estate 2021 sul fronte degli incendi in Sardegna ha restituito un bilancio pesante: riferendoci alle sole aree del Montiferru - Planargia, sono andati in fumo



Figura 2. Panoramica di parte delle vallate devastate dal fuoco sotto Monte Commida e Monte Urtigu, nei pressi di Santu Lussurgiu

in ben 11 comuni oltre 13.000 ettari tra bosco, arbusteti, prato-pascolo, incolti. La Sardegna ha pagato un prezzo elevato in termini di ambiente, ecosistema e paesaggio seriamente danneggiati, e anche i costi in termini di ristoro saranno elevati, senza che possano comunque rimediare alla perdita delle funzioni ecologiche e dei servizi ecosistemici persi, e non ultimi, ai costi sociali.

L'attenzione collettiva si è concentrata sulla ferita inferta al Montiferru, sede rilevante di geobiodiversità, un'area che si connota per i paesaggi impostati su litotipi vulcanici rappresentativi del vulcanismo Plio-Pleistocenico della Sardegna, costituente un distretto vulcanico a sé stante (Fedeli e a., 2007); presenta una morfologia tormentata, caratterizzata da tratti impervi, con valli modellate dalla degradazione meteorica ed erosione, dal fluire dei corsi d'acqua e ricco di coperture boschive (Fig. 2). L'incendio è stato innescato dal guasto di un'automobile che ha preso fuoco lungo la S.P. 15 nei pressi di Bonarcado il 23 luglio 2021 (l'accertamento dell'accidentalità non ha dato risultati definitivi); inizialmente aveva interessato so-

lo 20 ettari, principalmente a pascolo e colture, ed era stato contenuto dai mezzi antincendio, tra cui elicotteri, quindi bonificato, pareva, con successo (sono state mosse contestazioni).

Il giorno successivo tuttavia, al culmine di un periodo di perdurante siccità e caldo torrido (conclamato dall'allerta per rischio incendi della Protezione Civile), con temperature massime sopra i 30° e localmente misurate sopra i 40°, venti di scirocco con velocità media attorno ai 14 km/h e velocità massime fino ai 35 km/h riattivano l'incendio, complici presumibilmente alcune zone di rimboschimento a conifere, che costituiscono facile esca e innalzano di molto sia le temperature che l'altezza stessa delle fiamme. L'assetto geomorfologico -dei luoghi, con stretti canali incisi e modellati dall'acqua e vegetati su entrambi i versanti, produce fiamme alte fino a 30-40 m, secondo le testimonianze del personale antincendio sugli elicotteri.

Nell'arco di un giorno, le fiamme divorarono migliaia di ettari a bosco, colture di vario tipo e pascolo, assediando e intaccando molte aziende, difese dai

proprietari e dai mezzi antincendio, squadre a terra e volontari, arrivando alle porte del Comune di Santu Lussurgiu e circondando in fasi successive Cuglieri, Sennariolo (completamente evacuato nella notte del 24, 155 persone, Fig. 3) e Tresnuraghes.

Tra il giorno e la notte seguente vengono evacuate circa 800 persone. Nel corso della giornata viene proclamata l'emergenza, e il Dipartimento di Protezione Civile nazionale, per mezzo del Governo italiano, chiede l'attivazione del Meccanismo di Protezione Civile dell'Unione Europea (EUCPM), a seguito del quale la Francia invia 2 Canadair dal Gruppo di Protezione Civile Europea, e altri 2, di stanza in Grecia, arrivano successivamente dal Centro di Coordinazione per la Risposta d'Emergenza (ERCC), che si uniscono ai 5 già operativi, oltre agli elicotteri, a supporto delle squadre a terra di Vigili del Fuoco, Corpo Forestale, Protezione Civile, volontari e forze dell'ordine, 7500 unità.

Per il Servizio di Gestione dell'Emergenza (EMS) viene attivata la mappatura delle zone incendiate con i satelliti del programma EU Copernicus, con sigla EMSR523, che effettuano una prima mappatura la mattina del 25 luglio alle ore 10:20 circa: a quel momento l'area incendiata ha raggiunto l'estensione di 8472 ettari (Fig. 4).

Il 24, tra il giorno e la notte, le fiamme raggiungono la costa in località Porto Alabe, mentre in agro di Cuglieri, anche l'olivastro millenario di Sa Tanca Manna brucia, residuandone attualmente solo un lembo vitale sul tronco incendiato, oggetto ora di cure e protezione che ne facilitino la ripresa vegetativa (Fig. 5).

Nelle giornate successive l'incendio si propaga verso l'interno, verso sud e verso nord, colpendo diversi comuni e mostrandosi materialmente di difficile contenimento, diffondendosi fino ai primi giorni di agosto sia naturalmente sia aiutato dagli inneschi dolosi, rinvenuti dalle squadre a terra durante le attività di bonifica.

Nella stessa emergenza verranno fatti rientrare anche incendi verosimilmente scollegati, come quello della zona di Arzana-Villagrande, e altri con legame incerto come quelli di Ittiri e della Marmilla (Usellus, Villaurbana).

Alla fine dell'emergenza ufficiale, il 6 agosto (incendi di minore entità proseguiranno, sparsi, anche nei giorni successivi), le immagini satellitari rivelano un'estensione di 16424 ettari percorsi dal fuoco nell'insieme delle aree (da sopralluoghi nel Montiferru-



Figura 3. Il paese di Sennariolo nella piana bruciata

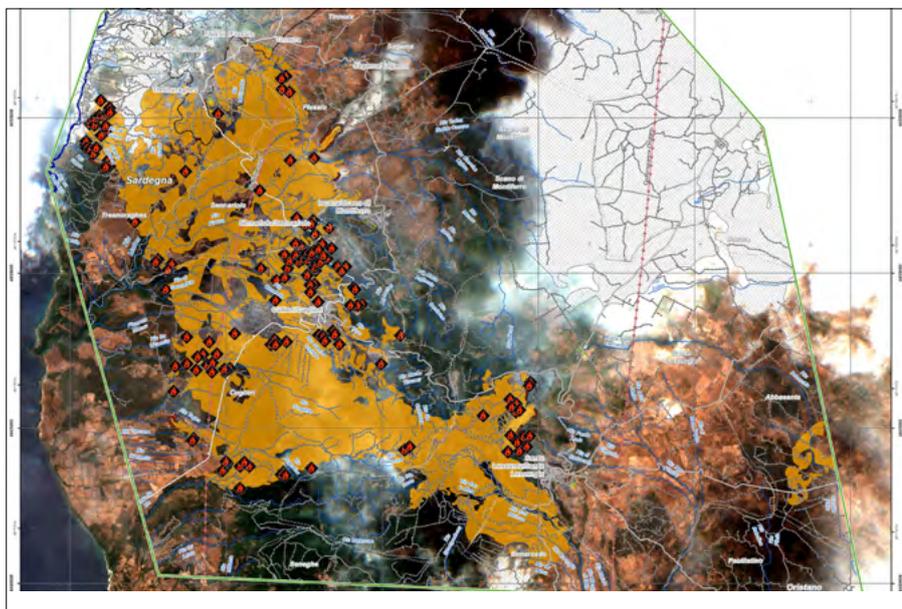


Figura 4. Estratto dalle carte Copernicus elaborate dalle immagini del 25 luglio per l'emergenza EMSR523



Figura 5. L'olivo millenario di Tanca Manna, presso Cuglieri, nel paesaggio bruciato dalle fiamme che hanno valicato i monti. L'esemplare è attualmente protetto per dare una possibilità di recupero alla residua parte vitale

Planargia, Oristanese e Marmilla, nei giorni 17, 19, 20, e 29 settembre, si è verificata la corrispondenza delle aree circoscritte dal servizio Copernicus della Commissione Europea con il dato reale), dei quali 13400 ettari attribuibili all'area vasta del Montiferru-Planargia (comuni di Santu Lussurgiu, Cuglieri, Sennariolo, Tresnuraghes, Magomadas, Flussio, Sagama, Scano di Montiferro, e Bonarcado).

La composizione vegetazionale delle aree incendiate (riportate per estensione percentuale in *Tab. 1*) ha ovviamente influenzato molto l'andamento dei fronti di fiamma, e purtroppo inciderà anche sulle risultanze successive all'evento: infatti le temperature più elevate si sono certamente sviluppate nei contesti di maggiore presenza di combustibile ad alta resa energetica, come i boschi, parametro che, insieme ai più lunghi tempi di durata dell'evento, incide sia sulla resistenza superficiale delle rocce, sia sulla profondità alla quale i suoli ne risentono, cambiando o perdendo le loro proprietà strutturali e tessiturali derivanti dalla pedogenesi.

Le zone nelle quali la massa vegetale era minore e di minore densità energetica, come i terreni a pascolo e incolti o altro, risentiranno meno di quanto accaduto, e presumibilmente riprenderanno rapidamente le loro caratteristiche precedenti, come in parte osservato a circa due mesi dal passaggio del fuoco.

Altri fattori importanti da considerare riguardano la quantità di ceneri e materia combusta prodotta (*Fig. 6*), la morfologia e l'acclività dei luoghi: le zone a bosco sono generalmente quel-

**Tabella 1. Estensione aree incendiate elaborata dai dati del servizio Copernicus, composizione vegetale dal Database della Regione Sardegna al 10000**

<b>Bosco, 4611 ettari, 34,4%, suddiviso in:</b>	<b>Colture agricole, 5037 ha, 37,6%, suddiviso in:</b>	<b>Pascoli e incolti, 2881 ha, 21,5%, suddiviso in:</b>	<b>Formazioni rupestri, densità di vegetazione tra 5 e 40%, 409 ha, 3,1%</b>
Prevalenza di latifoglie, 1565 ha, 11,7%	Seminativi aree non irrigue, 2232 ha, 16,7%	Pascolo, prati stabili, 660 ha, 4,9%	
Prevalenza di latifoglie sempreverdi, 284 ha, 2,1%	Prati artificiali, erbai, marcite, 1643 ha, 12,3%	Aree a pascolo naturale, 1780 ha, 13,3%	
Prevalenza di conifere, 4 ha, <0,1%	Seminativi semplici e colture orticole, 247 ha, 1,8%	Aree a ricolonizzazione naturale, 442 ha, 3,3%	
Misti conifere e latifoglie, 5 ha, <0,1%	Vigneti, 16 ha, 0,1%		
Arbusteti bassi e chiusi, 76 ha, 0,6%	Oliveti, 716 ha, 5,3%		
Macchia mediterranea, 1300 ha, 9,7%	Colture miste, 40 ha, 0,3%		
Gariga montana, 860 ha, 6,4%	Colture con spazi naturali, 20 ha, 0,2%		
Ricolonizzazione artificiale, 517 ha, 3,9%	Colture agroforestali, 123 ha, 0,9%		



Figura 6. Ceneri al suolo in un bosco di macchia mediterranea alta, pressi località Badde Urbara, tra Cuglieri e Santu Lussurgiu

31.01.2018, si ricava che nell'area percorsa da incendio sono mappati areali a pericolosità geomorfologica di grado basso (Hg1 = 97 ha), medio (Hg2 = 1.220 ha), elevato (Hg3 = 1.252 ha) e molto elevato (Hg4 = 5 ha), che interessano complessivamente una superficie pari a 2.574 ha, circa il 19,2%, della superficie (Fig. 7). Rispetto a questi dati, l'incendio origina un nuovo contesto ambientale, che rende necessarie valutazioni atte ad aggiornare la vulnerabilità del territorio ai fenomeni franosi, anche evidenziando nuove aree predisposte a tale tipologia di processi gravitativi, imponendo nell'immediato attività di monitoraggio e d'intervento di mitigazione sia nelle aree mappate a rischio che in quelle in cui le dinamiche di versante siano mutate con aggravio delle condizioni.

Per quanto riguarda l'interazione tra l'idrografia superficiale mappata nel Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (P.A.I.), le aste fluviali intersecano prevalentemente in direzione Est-Ovest la superficie incendiata, interessando diversi compluvi recapitanti sui corsi d'acqua principali e interagendo con le aree mappate a pericolosità da frana. Sono interessate le aste fluviali dei bacini idrografici nella parte a monte dei loro corsi, per un totale di circa 57 km all'interno delle aree incendiate mappate per pericolosità idraulica Hi4 (grado molto elevato, Fig. 8). In linea di massima in corrispondenza di cumulate importanti, la portata liquida e solida a valle dovrebbe incrementare, richiedendo alvei atti a recepire gli eventuali deflussi o almeno resi liberi da materiali e detriti accumulati e residui incombusti. Inoltre la corrispondenza tra aree a pericolosità geomorfologica e idraulica con quelle ricadenti in suoli di tipo "Rock outcrop" e subordinatamente "Lithic Xerorthents" (vedi oltre) tendenzialmente incrementa il dilavamento operato dalle acque di ruscellamento diffuso e incanalato e predispone a fenomeni franosi.

L'attuale stato dei luoghi (Nda: la redazione dell'articolo risale a ottobre 2021) prefigura quindi un'erosione accentuata dei versanti acclivi e anche delle aree di acclività modesta, con aumento delle problematiche di dissesto geoidrologico già note, e con modifiche qualitative della capacità di ricarica delle falde profonde, per via della minore infiltrazione efficace delle acque di ruscellamento incanalato e diffuso, dovuta alla perdita della copertura (suolo e vegetazione) e al più rapido recapito a valle. Contestualmente è da attendersi

le poco adatte agli usi agro-zootecnici per via delle pendenze, e in periodi più recenti anche per via dei vincoli idrogeologici, perciò non destinate a tali attività e lasciate allo sviluppo naturale, come accade per il contesto in esame, che si sviluppa principalmente nel massiccio vulcanico del Montiferru. Infatti nei sopralluoghi si sono rinvenuti diffusamente cumuli e strati di ceneri non compattate con profondità superiore ai 20 cm in zone acclivi con copertura boschiva incendiata, i quali rappresentano materiale che la vegetazione ha ricavato dal suolo e dai processi geopedogenetici, che in assenza di incendi sarebbe rimasto in loco come suolo o materia organica per altri processi biotici e di pedogenesi, mentre attualmente questa frazione è polverizzata, suscettibile di essere portata via dall'azione eolica, e

in misura molto maggiore dai processi di corrivazione che si presenteranno in seguito, con le precipitazioni autunnali.

Soprattutto nelle zone boschive, interessate per tempi più lunghi da un calore più elevato, ma anche in quelle a pascolo o incolte, si è potuta saggiare la minore consistenza dei suoli: questi presentavano perdita della struttura e tessitura e di ogni proprietà colloidale, con la combustione del soprassuolo, di ogni copertura, radice superficiale, e della parte organica, come anche dei muschi, combusti anch'essi. In questo contesto anche gli orizzonti minerali saranno facilmente soggetti al dilavamento, trasporto e dispersione a seconda dell'acclività.

Dai dati del Piano di assetto idrogeologico disponibili sul Geoportale della Regione Sardegna, aggiornati al

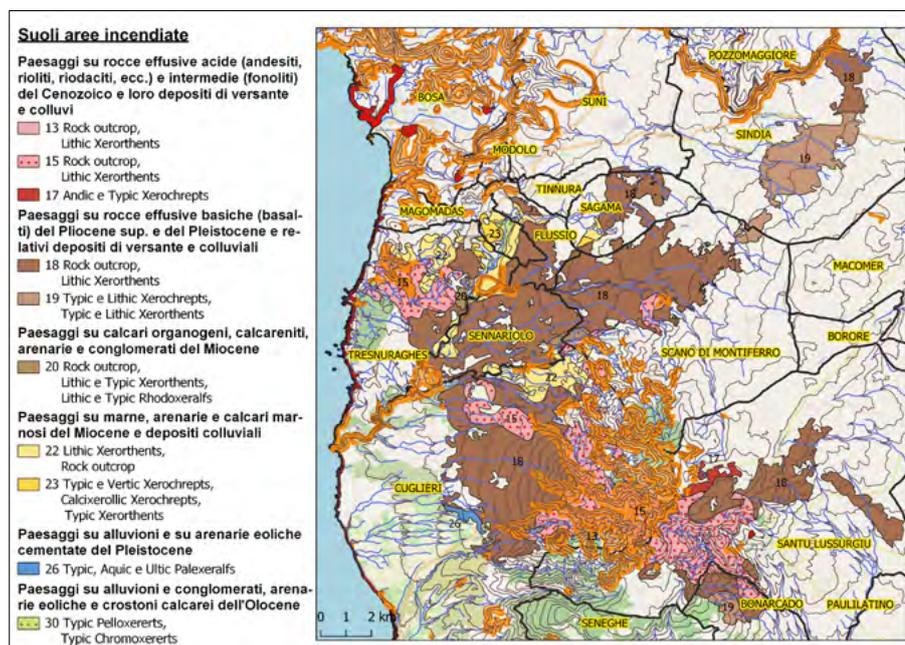


Figura 7. Carta dei suoli nel perimetro delle aree incendiate (Aru et alii, 1990). In arancio e rosso le aree di pericolosità Hg3 e Hg4. Isoipse equidistanti 50 m

un consistente aumento del trasporto solido, soprattutto alle prime piogge, che dilaveranno facilmente gli strati di cenere trasportandoli come fanghi fini misti a detriti rocciosi (*vedi nota in epilogo*), anche derivanti dallo sfaldamento e disarticolazione di parte dei terrazzamenti e muretti a secco, con possibili problematiche a valle nelle intersezioni con le opere. In conclusione è auspicabile un attento monitoraggio in corrispondenza dei punti critici interessati da possibili colate detritiche e caduta massi, in coincidenza di arterie stradali, centri abitati e attività produttive in previsione degli eventi meteo-climatici, anche non intensi, programmando un tempestivo aggiornamento delle aree soggette a pericolosità geomorfologica e idraulica rispetto al mutato contesto ambientale.

Il confronto delle aree incendiate con la Carta dei suoli della Sardegna al 250000 (Aru *et alii*, 1990), basata sulla USDA Soil Taxonomy del 1988, ci mostra che lo 82,4% dei suoli è descritto come "Rock outcrop" e subordinatamente "Lithic Xerorthents" (Tab. 2), derivanti da rocce effusive sia basiche che acide. Importanti estensioni dell'area d'interesse sarebbero quindi costituite da roccia madre o non-suolo, atte a supportare la crescita vegetale solo nelle tasche di suolo, o avrebbero una copertura di suoli poco evoluti, impediti ai processi pedogenetici principalmente da processi erosivi e di dilavamento, con una profondità massima di 50 cm dal suolo minerale alla roccia madre. Da queste caratteristiche

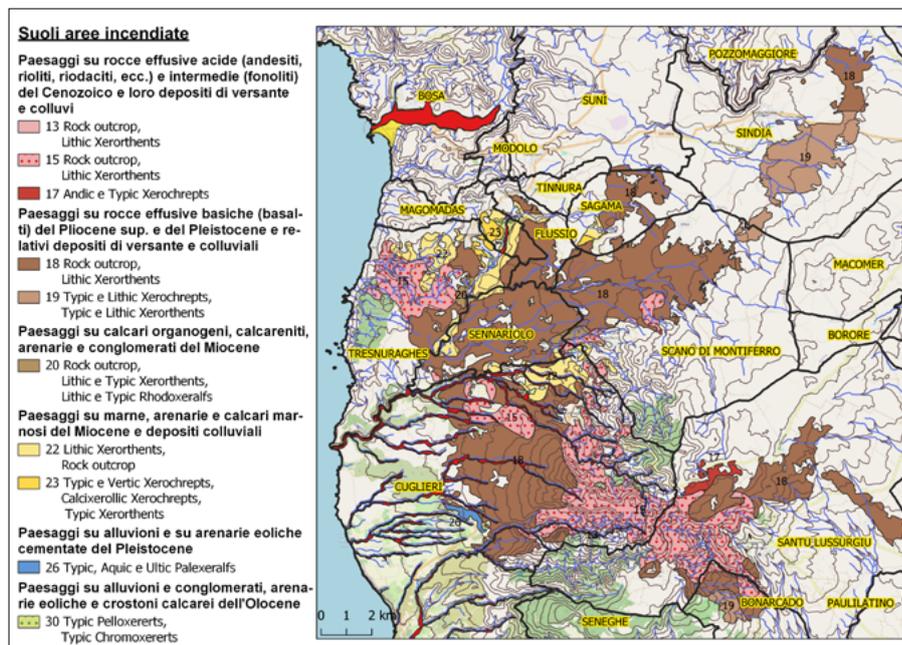


Figura 8. Carta dei suoli nel perimetro delle aree incendiate (Aru *et alii*, 1990). In rosso le aree di pericolosità Hi4. Isoipse equidistanti 50 m

geopedologiche discende per le aree interessate uno scenario di ripresa difficile, su tempi lunghi secondo le dinamiche naturali, scenario che potrebbe parzialmente migliorare grazie a interventi ben progettati con prospettive comunque di lungo periodo, considerato che i tempi sono finanche aggravati dagli attesi periodi siccitosi derivanti dall'accelerato cambiamento climatico in atto, parametro che introduce previsioni sfavorevoli sui tempi e modi di ripresa dagli incendi.

L'applicazione eventuale di metodologie di contenimento del danno nell'immediato, purtroppo non potrà essere risolutiva, per via dell'entità dell'e-

vento: purtroppo si segnala l'azione meritoria del gruppo di volontari Rete Montiferru-Planargia appositamente costituitosi con l'obiettivo di limitare i processi di dissesto geoidrologico conseguenti all'evento, almeno a supporto delle aziende colpite, presso le quali intervengono con semplici metodologie di ingegneria naturalistica (Fig. 9). Va da sé che interventi si renderanno necessari a seguito di analisi e studi mirati prevalentemente nelle zone boschive e acclivi (Fig. 10), per ridurre il grado di vulnerabilità e di propensione al dissesto con azioni strutturali e non, volte alla mitigazione del rischio.

**Tabella 2. Estensione degli areali pedologici dalla Carta dei suoli della Sardegna al 250.000 (Aru *et alii*, 1990)**

Paesaggi su rocce effusive acide (andesiti, rioliti, riodaciti, ecc.) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante e colluvi	(13) Rock outcrop, Lithic Xerorthents	18 ha, 0,1%
	(15) Rock outcrop, Lithic Xerorthents	3350 ha, 25,0%
	(17) Andic e Typic Xerochrepts	99 ha, 0,7%
Paesaggi su rocce effusive basiche (basalti) del Pliocene superiore e del Pleistocene e relativi depositi di versante e colluviali	(18) Rock outcrop, Lithic Xerorthents	7672 ha, 57,3%
	(19) Typic e Lithic Xerochrepts, Typic e Lithic Xerorthents	911 ha, 6,8%
Paesaggi su calcari organogeni, calcareniti, arenarie e conglomerati del Miocene	(20) Rock outcrop, Lithic e Typic Xerorthents, Lithic e Typic Rhodoxeralfs	116 ha, 0,9%
Paesaggi su marne, arenarie e calcari marnosi del Miocene e relativi depositi colluviali	(22) Lithic Xerorthents, Rock outcrop	1007 ha, 7,5%
	(23) Typic e Vertic Xerochrepts, Calcixerollic Xerochrepts, Typic Xerorthents	111 ha, 0,8%
Paesaggi su alluvioni e su arenarie eoliche cementate del Pleistocene	(26) Typic, Aquic e Ultic Palexeralfs	50 ha, 0,4%
Paesaggi su alluvioni e su conglomerati, arenarie eoliche e crostoni calcarei dell'Olocene	(30) Typic Pelloxererts, Typic Chromoxererts	61 ha, 0,5%



Figura 9. L'attività dei proprietari e delle squadre di soccorso è spesso riuscita a salvare le aziende, perlomeno le strutture. Zona Riu Bau 'e mela, Santu Lussurgiu. Visibile sullo sfondo il duomo fonolitico di Monte 'Oe



Figura 10. I dicchi basaltici emergono dalla vegetazione bruciata in località Riu Bau 'e mela, presso Santu Lussurgiu



Figura 11. Duomo fonolitico Monte Agudu, pressi di Punta Badde Urbara, interessato dagli incendi minori successivi al termine dell'emergenza

Per gli interventi di ristoro la Regione Sardegna ha approvato un primo stanziamento di 20 mln €, da suddividersi in molteplici direzioni, tra aiuti alle aziende danneggiate e finanziamenti agli enti preposti alla prevenzione incendi e al ripristino ambientale. In merito agli aiuti economici e materiali arrivati alle

aziende interessate subito dopo l'evento, alcuni intervistati tra la popolazione locale hanno lamentato una gestione poco trasparente sotto la copertura delle procedure emergenziali, senza neppure la corretta differenziazione tra aziende danneggiate e incolumi; aspetti che, si suppone, verranno corretti a fronte dei

nuovi stanziamenti. Anche la gestione dell'incendio è stata sottoposta a pesanti critiche, a dire degli intervistati, sia sotto il profilo della tempestività, sia sotto il profilo dell'incisività delle attività svolte: diversi riferiscono che, a parer loro, una più rapida azione di contenimento avrebbe bloccato sul nascere vari fronti di fuoco che invece hanno ricoperto grandi estensioni; alcuni d'essi, potenzialmente rischiosi per le persone, sarebbero stati spenti o resi inoffensivi dalla sola opera di volontari; a volontari con autobotti private è dovuta la salvaguardia del parco delle sorgenti di San Leonardo, nei pressi di Santu Lussurgiu. Altro punto che è stato rimarcato riguarda la mancata prevenzione basata semplicemente su pulizia delle fasce tagliafuoco, manutenzione in prossimità delle arterie stradali principali, vicinali e di penetrazione rurale, indicazioni peraltro già contenute nel Piano Antincendio della Regione Sardegna.

Altri rilievi si possono oggettivamente fare sulla mancata prevenzione degli incendi d'interfaccia, ovvero sviluppati o arrivati in prossimità dei centri abitati, opera per la quale è essenziale la sorveglianza da parte degli enti locali e regionali, considerato anche che, nell'occasione, tali eventi hanno distolto risorse, mezzi aerei e squadre a terra da aree dove la prevenzione è sicuramente meno semplice, più costosa e meno attuabile.

Serve notare che, anche in occasione dell'evento in discussione, come in molte altre, si sono diffuse considerazioni sul cambiamento climatico come causa degli incendi, sull'autocombustione e sul fuoco come strumento di lotta competitiva tra le piante: alle nostre latitudini l'autocombustione non esiste, non è mai stata osservata e le prove hanno dato sempre esito negativo, e anche nei giorni dell'incendio con temperature sopra i 40° l'innescò è stato quello all'inizio accennato, nonché le esche dolose trovate dalle squadre a terra; si noti inoltre che il Notiziario incendi della Direzione Generale di Protezione Civile regionale (su dati forniti dal CFVA\*) è costantemente popolato anche nel mese di ottobre, con temperatura e copertura del cielo molto diverse da quelle considerate: anzi, a metà ottobre un incendio ha coperto 200 ettari nelle campagne di Santu Lussurgiu, nei pressi del parco di San Leonardo (Fig. 11).

L'unica costante climatica per questi eventi è la mancanza di pioggia: consegue che l'innescò di simili eventi è sempre da ricercarsi nelle attività an-

tropiche, per accidentalità, negligenza colposa o dolo, mentre il cambiamento climatico costituisce invece un contesto siccitoso con aumento della vulnerabilità. Anche l'adattamento delle piante nostrane verso una resilienza al fuoco, intesa letteralmente come capacità di ripresa, è ben diverso da una suscettibilità alla fiamma tipico di piante di altre zone del mondo, come alcune americane.

Valutazioni sulla resilienza degli ecosistemi dovrebbero spingere la progettazione degli interventi di ripristino nella direzione della rinaturalizzazione dei luoghi, costruendo coperture vegetali con essenze autoctone destinate all'autosostentamento della massa biotica, che è la migliore produttività che si possa richiedere a questi ambienti: con prospettive di breve termine; si ritengono infatti le aree boschive spesso inutili se non produttive di legnatico da usare a fini energetici o industriali, ma da questi orientamenti scaturiscono ecosistemi poveri, che danno supporto a una quantità minore di massa biologica rispetto agli ecosistemi naturali (come indicano alcuni studi), mentre in questo momento un insieme connesso di ecosistemi forti è la migliore garanzia per la specie umana.

L'approccio di maggior sostenibilità nella gestione forestale richiede la pianificazione di aree di rispetto p.e. a ridosso dell'idrografia minore, di corridoi ecologici, di percentuali di piante lasciate invecchiare, e di materia morta al suolo, nonché l'attenzione nell'uso dei macchinari: un insieme di vincoli che appare complesso attuare negli spazi ristretti lasciati dalla nostra l'orografia. Acidificazione dei suoli, aumento della

torbidità delle acque per la presenza di pulviscolo fine sono alcune problematiche legate all'intensità della raccolta nelle foreste gestite; presentano inoltre alcune caratteristiche solite, identificabili soprattutto nel popolamento puro, con individui di stessa età e stessa altezza, che le rendono meno resistenti all'abbattimento su areali ampi rispetto ad eventi estremi come i venti di tempesta o gli uragani, lasciando in tali casi le zone colpite in balia di fenomeni di dissesto.

L'obiezione frequente che i boschi non mantenuti, non ripuliti, sono più soggetti a incendi vasti e incontrollabili è vera solo in parte: la mancanza della preesistente fauna naturale che abbatta o trasformi la quantità di materia vegetale disponibile per la combustione, rende auspicabile che, in un primo tempo almeno, l'intervento umano si faccia succedaneo di questi processi, sia disseminando il bosco, sia popolandolo di fauna, sia pulendolo e creandovi radure in modo il più possibile simile alle dinamiche naturali, che per qualche centinaio di milioni di anni hanno dimostrato di essere efficaci e resilienti in ottica ecosistemica.

#### NOTA D'ÉPILOGO

La redazione iniziale dell'articolo risale alla prima metà d'ottobre 2021, stante una prolungata assenza di precipitazioni locali: l'ovvia previsione delle problematiche di dilavamento come primo impatto delle piogge si materializzò tra fine ottobre e i primi di novembre, in coincidenza delle prime precipitazioni, concentrate in pochi giorni: dai dati dell'ARPAS i cumulati della 3a

decade di ottobre per l'area riportano tra 40-60 mm di pioggia, quelli della 1a di novembre riportano tra 80-100 mm; tuttavia tali eventi erano già conclusi al 4 di novembre, e iniziati circa 6 giorni prima. Anche i media nazionali diedero notizia degli effetti vistosi di tali precipitazioni collegati al trasporto di ceneri e detriti combusti, allorquando divennero nere le acque costiere alla foce dei fiumi, particolarmente a Santa Caterina di Pittinuri, mentre restarono meno visibili, ma non meno importanti, altri effetti di dissesto (Fig. 12).

### 3. MONTIFERRU - PLANARGIA, PRINCIPALI ASPETTI GEOAMBIENTALI

Il Montiferru propriamente detto è una sub-regione geografica della Sardegna (Fig. 1), situata nel settore centro-occidentale dell'isola; l'areale interessato dall'immane incendio del luglio 2021 vi è ricompreso quasi interamente, ad eccezione di una ristretta parte nella Planargia, dove però le zone incendiate hanno interessato principalmente aree a pascolo, coltivi e vegetazione bassa, non aree boscate.

Il nome dell'area deriva dallo sfruttamento dei minerali ferrosi effettuato già nei tempi antichi, e documentato dall'epoca punica, minerali prospettati nel 1829 e ritenuti d'interesse per la coltivazione; successivamente al 1940 viene messa in opera la miniera di Su Enturgiu, comprensiva di alcuni edifici dei quali oggi restano i ruderi nei pressi del sito di Cornus, abitato fondato dai Cartaginesi sul finire del VI sec. a.c. e perdurato fino all'Alto Medioevo, del quale anche sono visibili ruderi, servito



Figura 12. Sezione stradale in zona Riu Sos Molinos: cromaticamente evidenti gli effetti del dilavamento dei suoli; le acque di corrivazione superficiale del soprastante versante, denudato dalla copertura vegetale, hanno prodotto l'asportazione di gran parte delle ceneri (precedentemente presenti in strati alti fino a 20 cm, ora in parte inglobate nell'orizzonte superficiale), dell'orizzonte organico e dei residui sciolti



Figura 13. Terrazzamenti realizzati con muretti a secco (arte posta nella lista Unesco dei patrimoni immateriali dell'umanità, e tutelati dal P.P.R.), espressione dell'azione umana integrata con l'ambiente. Visibili lungo le sponde del Riu Sos Molinos i depositi frammisti a suoli e ceneri scure, dilavati dai versanti dalle intense precipitazioni novembrine seguite alla perdurante siccità

in passato da un piccolo porto situato in prossimità dell'attuale centro turistico di Santa Caterina di Pittinuri. È incerta l'attribuzione amministrativa dell'intera area del Montiferru al territorio di Cornus in periodo storico romano o successivi.

Attualmente il Montiferru è ricompreso quasi interamente nell'Ambito 10

“Montiferru” del Piano Paesaggistico Regionale, redatto in recepimento del “Codice Urbani” e adottato dal 2006 secondo il criterio guida dell'unità fisiografica per la definizione degli ambiti, tuttavia ad oggi operativo per gli ambiti omogenei di paesaggio delle sole fasce costiere, in attesa che venga esteso agli ambiti interni.

I confini d'ambito circoscrivono l'area attorno al massiccio vulcanico e alle sue falde, prolungandosi oltre la linea di costa coerentemente con il flusso delle antiche colate laviche. Con lo stesso criterio e denominazione è incluso nel Distretto 12 del Piano Forestale e Ambientale Regionale, mentre nel Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico il

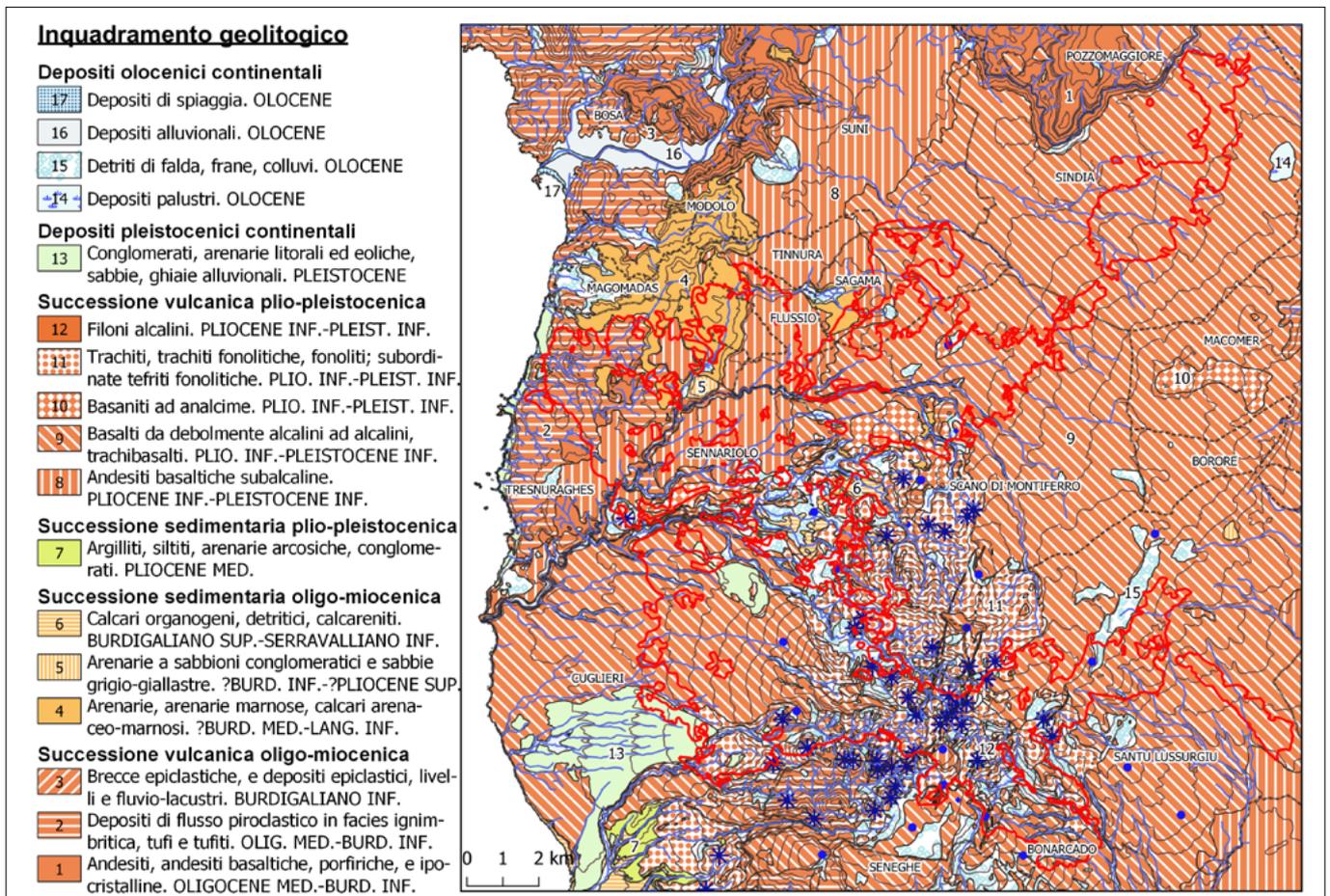


Figura 14. Carta geologica di sintesi dell'area. Basata sul DBMP della Regione Sardegna, con modifiche, e sulla Carta Geopetrografica del Montiferru (Deriu et alii, 1981). Asterischi e punti blu localizzano i duomi e i centri di emissione certi. In rosso l'area incendiata

massiccio del Montiferru funge anche da spartiacque tra il sub-bacino n.2 "Tirso" e il sub-bacino 3 "Coghinas - Mannu di P.Torres - Temo".

I caratteri salienti dell'odierno paesaggio derivano dalla lunga e complessa storia geologica della Sardegna, ma principalmente dagli eventi relativamente recenti del Plio-Pleistocene, modificati dai processi di modellamento, erosione e deposizione del Pleistocene e dell'Olocene, e successivamente dall'impronta umana che ha contribuito a determinarne i lineamenti mantenendo molte delle sue caratteristiche di naturalità (Fig. 13).

Geologicamente, infatti, l'area si caratterizza per gli estesi affioramenti di litotipi attestanti l'attività del ciclo vulcanico ad affinità alcalina, transizionale e subalcalina del Plio-Pleistocene (Fig. 14), in particolare sono rappresentati i prodotti derivanti da un vulcanismo intraplacca formato da lave basaltiche, da alcaline ad alcaline-transizionali e sub-alcaline, con associati anche differenziati più evoluti (Beccaluva *et alii*, 1985). Tale ciclo vulcanico è collegato alla dinamica estensionale che ha investito la Sardegna e il Tirreno durante il Pliocene e il Pleistocene, ed è successivo al complesso connesso con l'apertura del Bacino balearico e del Tirreno. Inizialmente le manifestazioni vulcaniche hanno coinvolto il settore Sud Orientale dell'isola per poi estendersi in altre aree sub-geografiche della Planargia- Montiferru (3,9-1,9 Ma), della Marmilla (M. Arci 3,7-2,8 Ma), nelle porzioni centro-meridionali dell'isola (3,8-1,7 Ma) ed

infine nel Logudoro-Mejlogu, dove si registra l'attività vulcanica più recente, compresa tra 0,9 e 0,14 Ma (Beccaluva *et alii*, 1985).

Di entità molto minore nella zona d'interesse sono le esposizioni oligomioceniche, sia per quanto riguarda la successione vulcanica, le cui estensioni principali in Sardegna sono localizzate a Nord e a Sud-Est del Montiferru, sia per quanto riguarda la successione sedimentaria, rappresentata principalmente da un'area residuale di arenarie e marne al bordo Nord-Ovest dell'edificio vulcanico e delle sue colate, nonché da aree minori esumate dai processi erosivi. Anche i depositi pleistocenici e olocenici sono presenti in minore entità, principalmente composti da sedimenti derivanti dalle stesse estrusioni plio-pleistoceniche. A titolo esemplificativo, in Tab. 1 si riportano le estensioni relative ai litotipi, facenti parte della successione vulcanica e dei depositi pleistocenici ed olocenici, presenti nell'area interessata dagli incendi.

L'epicentro e origine dell'attuale conformazione geologica è il massiccio vulcanico del Montiferru, un sistema di edifici vulcanici coalescenti di forma irregolare, tra i complessi vulcanici più estesi dell'isola, insieme agli apparati vulcanici del M.te Arci e dell'Arcuentu, allungato in direzione Nord-Sud per circa 10 km, ed esteso in larghezza tra i 4 e 6 km; la sua quota massima è la vetta del M.te Urtigu (centro di emissione) a 1050 m s.l.m. Presenta una morfologia accidentata, che connota il paesaggio dei territori di Scano Montiferro a Nord,

Cuglieri a Ovest e Santu Lussurgiu a Est. Strutturalmente si imposta all'intersezione tra la faglia del Marghine in direzione NE-SW e quella del Campidano in direzione N-S (Di Battistini *et alii*, 1990), direzione evidenziata sia dai diffusi dicchi presenti nel complesso vulcanico che dall'allineamento dei centri di emissione. L'attività emissiva si colloca tra 3,9 e 1,6 Ma (Plio-Pleistocene); sulla base del chimismo e dell'età è possibile raggruppare i prodotti vulcanici in quattro principali unità (Di Battistini *et alii*, 1990), di seguito riportate:

- 1) lave basanitiche ad analcime alla base, di spessore max di 30 m, con noduli xenoliti ultramafici e gabbrici (3,9- 3,7 Ma, Beccaluva *et alii*, 1985; Fedele *et alii*, 2007);
- 2) colate e duomi a composizione trachitica e fonolitica (Fig. 15) che nel complesso raggiungono lo spessore di 300 m (3,2-3,8 Ma, Beccaluva *et alii*, 1977; Coulon 1977; 3,7-3,6 Ma, Fedele *et alii* 2007);
- 3) basalti alcalini, mugeariti e benmoreiti con minor presenza di trachiti e trachi-fonoliti. I dicchi hanno una composizione alcali-basaltica con età compresa tra 3,1 e 2,3 Ma (Fig. 16), mentre le colate sono da ascrivere ad un intervallo tra 3,2 e 2,8 Ma;
- 4) la quarta ed ultima unità è costituita da lave basanitiche ad analcime poco rappresentate in affioramento (1,6 Ma, Assorgia *et alii*, 1981).

La seconda delle unità descritte è quella più rappresentativa e che meglio delinea l'attuale paesaggio.

**Tabella 3. Estensioni areali e percentuali dei litotipi nell'area percorsa dagli incendi**

Geolitotipi	Area ha	Area%	Geolitotipi	Area ha	Area%
16 Depositi alluvionali. OLOCENE	155	1,16	8 Andesiti basaltiche subalcaline. PLIOCENE INF.-PLEISTOCENE INF.	1747	13,04
15 Detriti di falda, frane, colluvi. OLOCENE	1301	9,72	7 Argilliti, siltiti, arenarie arcose, conglomerati. PLIOCENE MED.	3	0,02
13 Conglomerati, arenarie litorali ed eoliche, sabbie, ghiaie alluvionali. PLEISTOCENE	232	1,73	6 Calcari organogeni, detritici, calcareniti. BURDIGALIANO SUP.-SERRAVALLIANO INF.	110	0,82
12 Filoni alcalini. PLIOCENE INF.-PLEISTOCENE INF.	41	0,31	5 Arenarie a sabbioni conglomeratici e sabbie grigio-giallastre. ?BURDIGALIANO INF.-?PLIOCENE SUP.	43	0,32
11 Trachiti, trachiti fonolitiche, fonoliti; subordinate tefriti fonolitiche. PLIOCENE INF.-PLEISTOCENE INF.	1949	14,55	4 Arenarie, arenarie marnose, calcari arenaceo-marnosi. ?BURDIGALIANO MED.-LANGHIANO INF.	455	3,39
10 Basaniti ad analcime. PLIOCENE INF.-PLEISTOCENE INF.	351	2,62	2 Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, tufi e tufti. OLIGOCENE MED.-BURDIGALIANO INF.	1000	7,46
9 Basalti da debolmente alcalini ad alcalini, trachibasalti. PLIOCENE INF.-PLEISTOCENE INF.	5911	44,14	1 Andesiti, andesiti basaltiche, porfiriche, e ipocristalline. OLIGOCENE MED.-BURDIGALIANO INF.	95	0,71

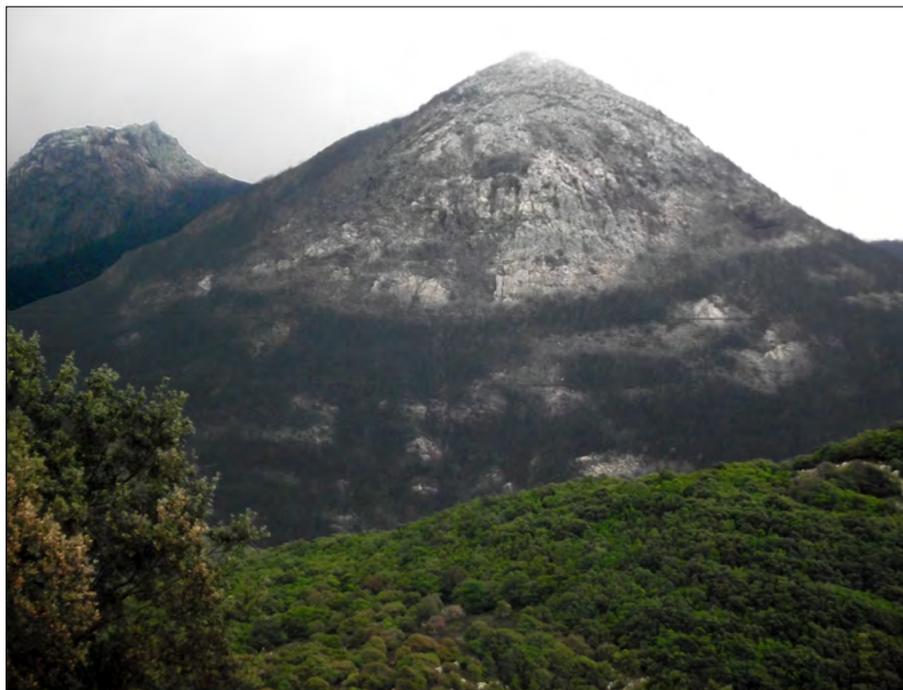


Figura 15. Duomo fonolitico di Sa Rocca de Sos Oggios (954 m), colpito dagli incendi. Dalla fratturazione del versante è leggibile la morfogenesi endogena con accrescimento dall'interno. In secondo piano Rocca 'e s'Annile, le cui pareti scoscese in prossimità della vetta derivano dalla composizione andesitica della cima

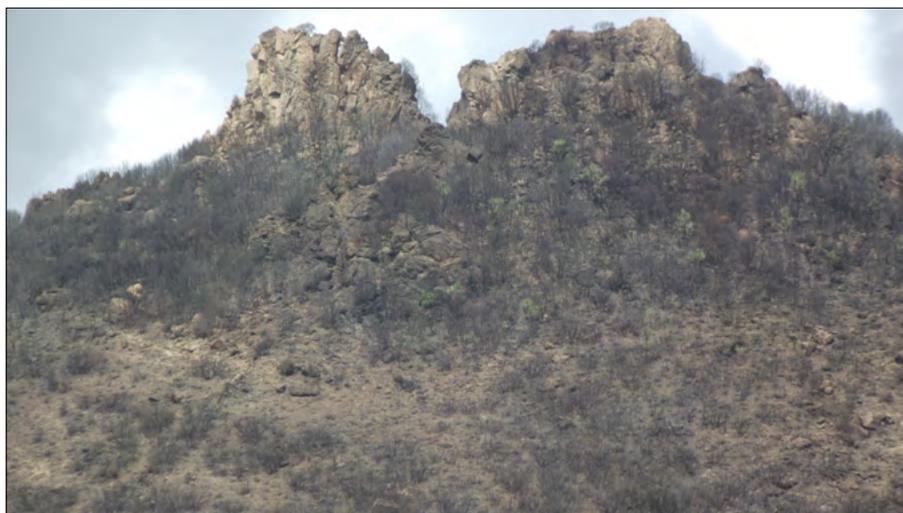


Figura 16. Sommità di Monte Commida, cupola di lava fonolitica tagliata in vetta da filoni di trachibasalti



Figura 17. Forme tabulari derivate dagli spandimenti di lave basaltiche da attività fissurale, incanalate inizialmente dai preesistenti alti strutturali trachitici-fonolitici, che formano la valle incisa dai corsi d'acqua Riu s'Abba Lughida, Riu Salighes e Riu Mammine (presso Cuglieri)

I magmi emessi sotto il profilo geo-chimico possono essere accorpate in tre serie distinte, che vanno da quella sodica fortemente alcalina a quella sodica moderatamente alcalina, fino alla tholeitica (Fedele *et alii*, 2007).

Dalle vicende plio-pleistoceniche discende la geodiversità che caratterizza i lineamenti principali della fisiografia del Montiferru, espressa in peculiarità geologiche, geomorfologiche e paesaggistiche manifeste nelle forme diversificate, plasmate sia per genesi che per erosione differenziale. Un paesaggio ancora giovane dove tali forme sono ben leggibili rispetto ad altre aree della Sardegna, nelle quali le attività vulcaniche risalgono a periodi più antichi e le forme ne risultano parzialmente obliterate: nell'area centrale dell'edificio vulcanico si osserva quindi il susseguirsi degli alti morfologici delle cupole di lava o duomi originati dall'attività effusiva a composizione trachitica e fonolitica, la cui sommità nuda emerge spesso dalla fitta vegetazione boschiva che copre (o copriva, laddove colpita dall'incendio) i versanti; si alternano a forme più aspre, pinnacoli con pareti ripide esposti per erosione differenziale, fino ai numerosi dicchi di basalti alcalini affioranti, con potenza anche della decina di metri e lunghi talvolta chilometri, che per la loro suggestiva evidenza determinano anche la toponomastica dei luoghi, prendendo il nome di "traessarzas", o rocce che attraversano (nome che compendia in sé anche la genesi della forma). Al contorno dell'edificio vulcanico e per ampie estensioni, rilevano invece le forme tabulari, effusioni sub-orizzontali di lave a composizione basaltica e andesi-

tica-basaltica, da attività vulcanica fissurale modellata dalla successiva erosione differenziale con inversione del rilievo (Fig. 17).

Un'altra peculiarità del Montiferru, nel contesto siccitoso della Sardegna, è l'abbondanza delle acque superficiali e delle sorgenti, derivanti da un regime di precipitazioni locali insolito per la media isolana (la più bassa tra le regioni italiane), dovuto a un felice contesto climatico; sicché anche alcuni corsi del reticolo idrografico minore persistono nel periodo estivo. Nel contesto fisiografico descritto le acque creano un pattern di reticolo idrografico centrifugo, che si irradia dalle testate dell'edificio vulcanico verso le valli, incise dal fluire delle acque e dalla differente risposta all'erosione dei litotipi a contatto, assumendo sul versante occidentale un andamento da sub-parallelo a sub-dentritico mentre su quello orientale si sviluppa maggiormente con uno stile sub-dendritico.

Lo stile del reticolo denota anche la scarsa permeabilità del substrato roccioso, che favorisce lo scorrimento superficiale e una scarsa infiltrazione, resa possibile tuttavia in coincidenza delle discontinuità strutturali: fagliazioni, diaclasi e fessurazioni, o in coincidenza di litotipi a differente permeabilità. Sulla base dei litotipi rappresentati e dell'età il Montiferru è ascritto al complesso idrogeologico delle Vulcaniti Plio-Pleistoceniche della Sardegna Sud-Occidentale.

Le peculiarità geologiche, geomorfologiche, idrologiche e pedologiche hanno influenzato le caratteristiche ecologiche, ponendo le basi per il mantenimento di un'elevata diversità naturale; l'insieme del patrimonio ambientale, scientifico, paesaggistico e storico-culturale hanno portato a proporre l'istituzione del Parco Regionale del Sinis-Montiferru ai sensi della L.R. 31 del 1989; tale piano, a tutt'oggi non realizzato, prevede un'estensione di 42.664 ettari, nella quale sono incluse tuttavia aree già vincolate quali nuclei fondativi: i 768 ha della foresta demaniale di Pabarile sul Montiferru, anch'essa colpita dall'incendio, comprendente la sommità del Monte Urtigu, la riserva di Torre s'Evo nel Sinis, e l'Area Marina Protetta del Sinis.

## BIBLIOGRAFIA

V. ANGIUS (1851), *Storia di Sardegna, Dizionario geografico-storico-statistico-commerciale degli Stati di S.M. il Re di Sardegna*, Torino.  
M.M. BAZAMA (1988), *Arabi e Sardi nel Medioevo*, Cagliari.

F. C. CASULA (1994), *La storia di Sardegna*, Sassari.  
CINZIO CUBEDDU, *Bosa, Planargia e Montiferru: storia e istituzioni, geografia e toponomastica*. Tesi di Dottorato in Scienze Umanistiche e Sociali - Università degli Studi di Sassari, anno accademico 2012-13.  
G. MANNO (1825), *Storia di Sardegna*, Torino.  
G. MELE (1994), *Il territorio*, in "Planargia", a cura di T. Oppes e N. Marras, Edisar, Cagliari.  
P. PES (2009), *Archeologia tra Planargia e Montiferru*, Cagliari.  
G. SORGIA (1982), *La Sardegna Spagnola*, Sassari.  
ARU A., et alii (1990), *Carta dei Suoli della Sardegna*. Università di Cagliari - Dipartimento di Scienze della Terra, Regione Autonoma della Sardegna.  
BURRASCANO S., ROSATI L., BLASI C. (2009), *Plant species diversity in Mediterranean old-growth forests: A case study from central Italy*. Plant Biosystems, vol. 143, pp. 190-200.  
CARMIGNANI L., OGGIANO B., BARCA S., CONTI P., ELTRUDIS A., FUNEDDA A., PASCIS S., SALVADORI I. (1997), *Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia - Note illustrative della Carta Geologica della Sardegna a scala 1:200.000*. Servizio Geologico Nazionale, Regione Autonoma della Sardegna.  
CARMIGNANI L., ROSSI P., et alii (2000), *Carta Geologica e Strutturale della Sardegna e della Corsica, scala 1:500.000*. Servizio Geologico d'Italia, Regione Autonoma della Sardegna, BRGM Service Geologique National.  
CHAUDHARY A., BURIVALOVA Z., KOH L., et alii (2016), *Impact of Forest Management on Species Richness: Global Meta-Analysis and Economic Trade-Offs*. Scientific Reports, 6, articolo 23954.  
CIONI R., FUNEDDA A., MUNDULA F., MELIS M. T., PATA E. D., DESSI F. (2015), *Gli edifici vulcanici cenozoici della Sardegna*. ed. Rubbettino.  
DALE V. H., JOYCE L. A., McNULTY S., NEILSON R. P., et alii (2001), *Climate Change and Forest Disturbances: Climate change can affect forests by altering the frequency, intensity, duration, and timing of fire, drought, introduced species, insect and pathogen outbreaks, hurricanes, windstorms, ice storms, or landslides*. BioScience, 51, Issue 9, settembre 2001, pp. 723-734.  
DERIU M., BECCALUVA L., MACCIOTTA G., VERNIA L., et alii (1981), *Carta Geotopografica del Complesso Vulcanico del Montiferru (Sardegna centro-occidentale)*. Università di Parma.  
DOMEC, J.-C., et alii (2015), *Conversion of natural forests to managed forest plantations decreases tree resistance to prolonged droughts*. Forest Ecology and Management, 355, pp. 58-71. Elsevier.  
DORREN L. K.A., BERGER F., IMESON A. C., MAIER B., REY F. (2004), *Integrity, stability and management of protection forests in the European Alps*. Forest Ecology and Management, 195, pp. 165-176. Elsevier.  
ELMQVIST T., FOLKE C., NYSTRÖM M., PETERSON G., BENGTTSSON J., WALKER B., NORBERG J. (2003), *Response diversity,*

*ecosystem change, and resilience*. Frontiers in Ecology and the Environment, 1(9), pp. 488-494.

GISOTTI G. (2012), *Il dissesto idrogeologico. Previsione, prevenzione e mitigazione del rischio*. Ed. Carocci.  
KRUG J., KOEHL M., KOWNATZKI D. (2012), *Revaluing unmanaged forests for climate change mitigation*. Carbon Balance and Management, 7, 11.  
SANTÍN C., DOERR S.H. (2016), *Fire effects on soils: the human dimension*. Phil. Trans. Royal Society, b, 371.  
SWANK W.T., SWIFT L.W., DOUGLASS J.E. (1988), *Streamflow Changes Associated with Forest Cutting, Species Conversions, and Natural Disturbances*. In: SWANK W.T., CROSSLEY D.A. (eds) *Forest Hydrology and Ecology at Coweeta. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*, vol 66. Springer.  
TIMPANE-PADGHAM B. L., BEECHIE T., KLINGER T. (2017), *A systematic review of ecological attributes that confer resilience to climate change in environmental restoration*. PLoS ONE 12(3).  
WEI X., ZHANG M. (2010), *Quantifying streamflow change caused by forest disturbance at a large spatial scale: A single watershed study*. Water Resour. Research., 46, dicembre 2012.  
YACHI S., LOREAU M. (1999), *Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol. 96, pp. 1463-1468.  
ZHANG M., WEI X. (2012), *The cumulative effects of forest disturbance on streamflow in a large watershed in the central interior of British Columbia, Canada*. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, marzo 2012, pp. 2855-2895.

## SITOGRAFIA

DAMIANI G. et alii, *Position paper sul fuoco deliberato (o "prescritto") in funzione di lotta agli incendi boschivi*.  
<https://www.gufitalia.it/sul-fuoco-deliberato-o-prescritto-in-funzione-di-lotta-agli-incendi-boschivi/>  
MADONIA P. (2020), *Incendi boschivi e dissesto idrogeologico*.  
<https://ingvambiente.com/2020/10/13/incendi-boschivi-e-dissesto-idrogeologico/>  
OLANDI G. et alii, *La memoria dell'acqua" - Rischio idrogeologico e incendi: nasce la "Rete Montiferru e Planargia"*.  
<https://www.buongiornoaalghero.it/contenuto/0/11/178265/la-memoria-dellacqua-rischio-idrogeologico-e-incendi-nasce-la-rete-montiferru-e-planargia>  
ORTOLANI F., *Gli incendi boschivi? Premesse di catastrofi idrogeologiche*.  
<http://www.unina.it/~1326892-gli-incendi-boschivi-premesse-di-catastrofi-idrogeologiche>  
PIRONE G., CIASCHETTI G., *Le foreste vetuste*.  
<http://www.conalpa.it/le-foreste-vetuste/>  
Pötzelsberger E., Schuck A., Herder M. - *How does forest management affect biodiversity?*  
<https://efi.int/forestquestions/q6>  
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA, *Sardegna Geoportale*.  
<https://www.sardegnageoportale.it/navigatori/sardegnamappe/>

# Le risposte adattive dei sistemi costieri alle variazioni temporanee del livello del mare

Giovanni Scardino\*  
Angela Rizzo  
Giovanni Scicchitano

Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi di Bari Aldo Moro

\*Corresponding author  
E-mail: [giovanni.scardino@uniba.it](mailto:giovanni.scardino@uniba.it)

## Adaptive responses of coastal systems to temporary sea-level changes

Parole chiave: resilienza; sistemi costieri; maree; livello del mare; impatto antropico  
Keywords: resilience; coastal systems; tide; sea level; anthropogenic impact

### ABSTRACT

Le variazioni climatiche in atto influenzano profondamente i sistemi costieri alterandone il loro normale equilibrio naturale. Ad una ormai acclarata evidenza sull'innalzamento del livello del mare, si associano una serie di processi a medio e lungo periodo, quali ad esempio l'aumento in intensità degli eventi di mareggiata, movimenti verticali del terreno (subsidenza naturale ed indotta) e la forte influenza delle attività antropiche che determinano sovrasfruttamento delle risorse e sovraccarichi strutturali. Tuttavia, alle variazioni di medio e lungo periodo si aggiungono le componenti di bassa frequenza, come anomalie di pressione atmosferica temporanee, che talvolta dipingono delle situazioni peculiari lungo le coste. Nei mesi di febbraio-marzo 2021, è stato osservato un abbassamento relativo del livello del mare favorito da un'anomalia di alta pressione che ha influenzato l'intera

regione Mediterranea. Le registrazioni mareografiche hanno mostrato un abbassamento relativo del livello del mare di circa  $-0.2$  m, il quale ha determinato la migrazione della linea di riva di diversi metri verso mare, come osservato lungo le coste adriatiche e tirreniche dell'Italia e lungo le coste della Grecia. Inoltre, tale minimi relativi del livello medio mare hanno portato in secca i canali e i moli, come osservato a Venezia e nella Darsena dei Pescatori di Pozzuoli (Napoli). L'analisi del contenuto in frequenza delle registrazioni mareografiche e le osservazioni dirette sul campo hanno mostrato che la risposta adattiva dei sistemi mobili costieri è stata molto rapida in risposta all'abbassamento relativo del livello medio del mare, con un completo ripristino delle condizioni iniziali al termine dell'anomalia di pressione. Questo particolare tipo di risposta nei sistemi costieri è rappresentativa di alterazioni temporanee nel bilancio sedimentario,

mentre le alterazioni causate da processi permanenti, quali l'innalzamento del livello del mare e l'impatto antropico, determinano modifiche irreversibili alle quali i sistemi costieri non riescono ad adattarsi nel breve termine.

### INTRODUZIONE

L'innalzamento del livello del mare è una delle maggiori conseguenze del riscaldamento globale attualmente in corso. Negli ultimi due secoli, il livello medio del mare globale è risalito con un tasso medio di  $1.65 \pm 0.2$  mm/a (Church and White, 2011; Kemp *et al.*, 2011; Cazenave and Cozannet, 2014) e nelle ultime decadi con un tasso di  $3.2 \pm 0.4$  mm/a (Fig. 1) (Meyssignac and Cazenave, 2012; Wöppelmann and Marcos, 2012; Jevrejeva *et al.*, 2014). Per quanto riguarda invece le proiezioni future di innalzamento del livello del mare, dall'ultimo Rapporto Speciale pubblicato dall'Intergovernmental Panel of

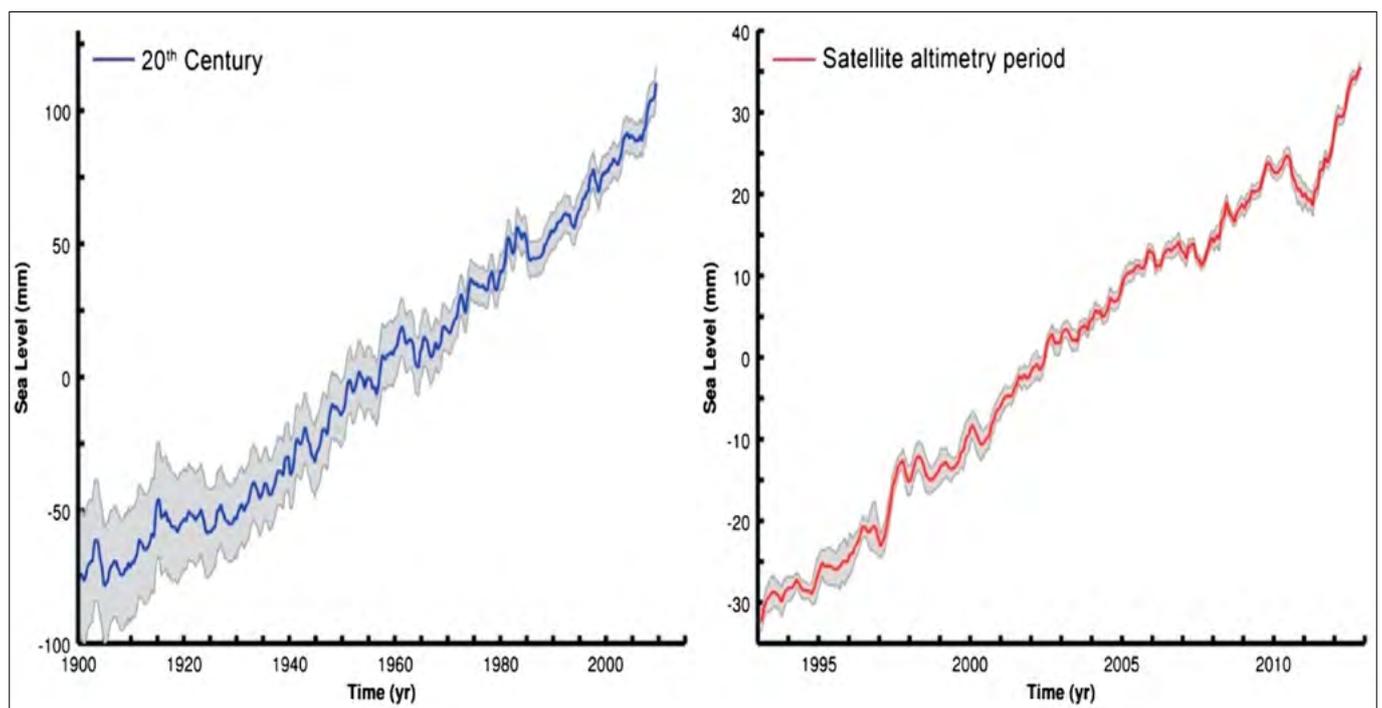


Figura 1. Livello medio globale del mare e relativa incertezza associata. Pannello sinistro: dati dei mareografi registrati nel corso del ventesimo secolo (Church and White, 2011) Pannello destro: dati di altimetria satellitare per il periodo 1993-2012 (dati medi di diversi gruppi). Immagine tratta da: Cazenave and Le Cozannet (2014)

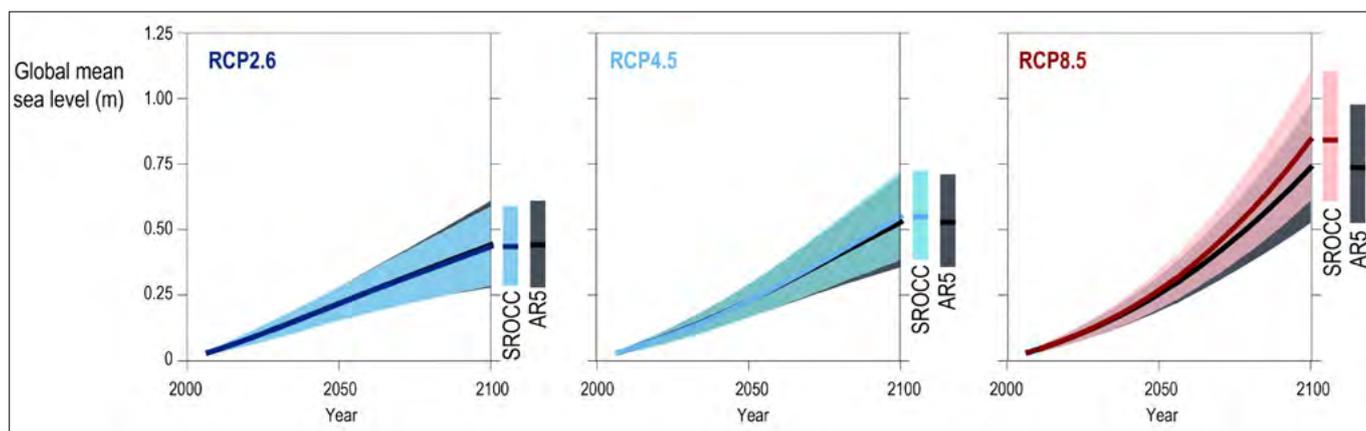


Figura 2. Proiezioni di innalzamento del livello medio globale del mare per il XXI secolo. Pannello sinistro: scenario RCP2.6 (“Mitigazione aggressiva”); Pannello centrale: scenario RCP4.5 (“forte mitigazione”); Pannello destro: scenario RCP8.5 (“Business-as-usual”). Immagine tratta da: IPCC (2019)

Climate Change (IPCC, 2019; 2021) emerge che il livello del mare continuerà ad aumentare durante i prossimi decenni a causa dell'aumento della temperatura globale del Pianeta al quale è associato un aumento delle masse d'acqua dovuto alla fusione dei ghiacciai e un aumento del volume oceanico, diretta conseguenza dell'espansione termica. Nello specifico, nel Report IPCC sono stati pubblicati i più recenti risultati ottenuti dalle simulazioni climatiche, le quali si basano sul presupposto che le condizioni climatiche future dipendano dall'evoluzione in atmosfera delle concentrazioni di gas climalteranti che, a loro volta, dipendono dall'attuazione o meno di politiche di mitigazione a scala globale. Le attuali simulazioni climatiche ad alta risoluzione sono riferite a diversi scenari di concentrazione noti come *Representative Concentration Pathways* (RCP) – Percorsi Rappresentativi di Concentrazione). Prendendo come riferimento lo scenario più critico (RCP8.5), il quale prevede una crescita delle emissioni in atmosfera pari ai ritmi attuali, entro fine secolo è possibile che si verifichi un innalzamento del livello del mare superiore ad 1 m rispetto al periodo di riferimento (1986-2005) (Fig. 2).

Numerosi studi hanno messo in luce che ulteriori fattori possono aggiungersi all'innalzamento del livello del mare, incrementando la vulnerabilità delle aree costiere, come i movimenti verticali del terreno, la pressione antropica e le alterazioni nel bilancio sedimentario (Antonioli *et al.*, 2017; 2020; Aucelli *et al.*, 2017; Anzidei *et al.*, 2021). A tali fenomeni andranno ad aggiungersi gli impatti degli eventi marini estremi sempre più intensi, quali mareggiate e sistemi simili a cicloni tropicali, noti come *Medicane* (Woodruff *et al.*, 2013; Cavicchia *et al.*, 2014; Lionello *et al.*, 2017; Scicchitano *et al.*, 2020). Tutti questi fattori determinano delle rispo-

ste adattive delle coste che dipendono dall'interazione fra l'intensità dei processi in atto e la quantità di sedimenti disponibili sulle coste. Moto ondoso, correnti e maree definiscono il bilancio energetico del sistema costiero a diverse scale temporali, mentre i processi sedimentari marini e continentali assieme a quelli biogenici determinano la quantità di sedimenti disponibili, definendo così il bilancio di massa. La relazione fra bilancio energetico e bilancio di massa definisce i caratteri morfologici e il bilancio sedimentario di una spiaggia e, di conseguenza, permette di valutare la dinamica in atto e le tendenze evolutive (Caldara *et al.*, 1998; Moretti *et al.*, 2016; Mastronuzzi *et al.*, 2020).

Nelle dinamiche di un sistema costiero possono instaurarsi delle alterazioni nei processi e nella quantità di sedimenti disponibili tali da determinare delle modifiche temporanee o irreversibili, le quali possono essere descritte facendo riferimento al modello di resilienza (Westman, 1978; 1986) applicato ai sistemi costieri. La resilienza costiera è definita come “la capacità intrinseca della costa di reagire ai cambiamenti indotti dalla variazione del livello del mare, dagli eventi estremi e dagli sporadici impatti antropici, mantenendo inalterate le funzioni del sistema costiero per un periodo più lungo” (punto IV.2.2.1 LL.GG., TAVOLO NAZIONALE SULL'EROSIONE COSTIERA and MATTM-REGIONI, 2016 - Progetto EuroErosion, 2004). La disponibilità di sedimenti, lo spazio di accomodamento e i processi energetici in un sistema costiero sono i fattori chiave che ne determinano il livello di resilienza in relazione agli effetti del cambiamento climatico e dell'impatto antropico.

Allo stato attuale, molte coste italiane sono in forte erosione e le piane costiere risultano essere le aree più suscettibili al fenomeno di sommersione

dovuto all'innalzamento del livello del mare (Aucelli *et al.*, 2018; Toimil *et al.*, 2020). Nonostante siano noti i vari fattori che contribuiscono all'alterazione del naturale equilibrio dinamico delle aree costiere, la definizione della risposta, in termini di resilienza, di un sistema costiero in funzione delle variazioni climatiche nel medio e lungo termine è ancora un processo oggetto di analisi e studio da parte della comunità scientifica internazionale.

Una delle recenti evidenze della risposta adattiva di breve termine delle coste è stata osservata a seguito dell'instaurarsi di un'anomalia positiva di pressione che ha coinvolto l'area del Mediterraneo tra i mesi di febbraio e marzo 2021. Le registrazioni mareografiche e barometriche hanno evidenziato un abbassamento del livello medio mare fino a -0.2 m rispetto alla media, con valori estremi di -0.48 m osservati a Venezia e -0.41 m nella Darsena dei pescatori di Pozzuoli (Napoli). Tali condizioni meteorologiche hanno determinato una migrazione significativa della linea di riva, come è stato osservato in molte spiagge italiane e anche lungo le coste della Grecia.

Nonostante le elevate oscillazioni di marea e di pressione abbiano interessato le coste per un periodo relativamente breve, i loro effetti sono stati osservati in gran parte delle coste del Mediterraneo, dimostrando come i sistemi costieri possano avere una rapida risposta adattiva alle variazioni meteo-climatiche. Tuttavia, le variazioni associate alla risposta adattiva costiera hanno assunto un carattere temporaneo e hanno comunque permesso un ripristino delle condizioni iniziali delle coste al termine dell'anomalia di pressione.

Tale fenomeno ha permesso di evidenziare come le coste riescano ad adattarsi a determinate alterazioni fisiche di tipo temporaneo, mentre possono essere maggiormente suscettibili ad alterazioni

permanenti o di intensità tale da determinare cambiamenti irreversibili, quali la sommersione per innalzamento del livello del mare (Antonioli *et al.*, 2020; Anzidei *et al.*, 2021), l'erosione costiera a causa del deficit sedimentario (Bonaldo *et al.*, 2019; Toimil *et al.*, 2020), e la contaminazione delle falde acquifere come conseguenza dell'intrusione del cuneo salino (Masciopinto and Liso, 2016).

## LE VARIAZIONI RECENTI DEL LIVELLO DEL MARE NEL MEDITERRANEO E GLI EFFETTI SULLE COSTE

Nel XX secolo, la diffusione sempre più numerosa delle stazioni mareografiche ha permesso di monitorare lo stato del livello del mare in numerose località del Pianeta. Allo stesso tempo, la realizzazione delle reti geodetiche ha permesso di eseguire rilievi topografici di elevata accuratezza lungo le aree costiere con-

sentendo così di effettuare valutazioni locali di variazione relativa del livello del mare sempre più precise. Inoltre, a partire dagli anni 90, le misurazioni altimetriche satellitari hanno fornito l'altezza della superficie del mare ad elevata risoluzione spaziale e temporale, permettendo così di ottenere una conoscenza molto più approfondita dell'innalzamento del livello del mare a scala globale.

Dall'analisi dei dati disponibili si evince che nel Mediterraneo il tasso di variazione del livello del mare nella prima metà del XX secolo ha mostrato una lieve tendenza positiva (Anzidei *et al.*, 2014). In questo periodo, le coste italiane hanno mostrato un equilibrio nel bilancio sedimentario con fenomeni localizzati di progradazione (Caldara *et al.*, 1998; 2002; Lambeck and Purcell, 2005; Scardino *et al.*, 2020). Tuttavia, a partire dalla metà del XX secolo, l'intensificarsi delle attività economiche lungo le fasce

costiere ha influenzato enormemente il bilancio sedimentario, determinando lo smantellamento dei corpi dunali con conseguente perdita di funzionalità geologica, idrologica ed ecologica, il sovrassfruttamento delle acque di pozzo con conseguente compattazione degli strati sedimentari, la diffusione di interventi di difesa che hanno alterato la naturale distribuzione litoranea dei sedimenti (Bonora *et al.*, 2002; Caldara *et al.*, 2006; Aucelli *et al.*, 2009; Nederhoff *et al.*, 2015) ed infine l'intenso sviluppo edilizio che ha determinato fenomeni di sovraccarico strutturale.

L'interazione tra questi processi ha causato processi di forte erosione lungo molte aree costiere e ha favorito fenomeni di subsidenza antropica, come osservato nella piana costiera Veneta-Friulana Friulana (Tosi *et al.*, 2018; Floris *et al.*, 2019; Boni *et al.*, 2020), nel delta del Po (Cenni *et al.*, 2021; Fabris,

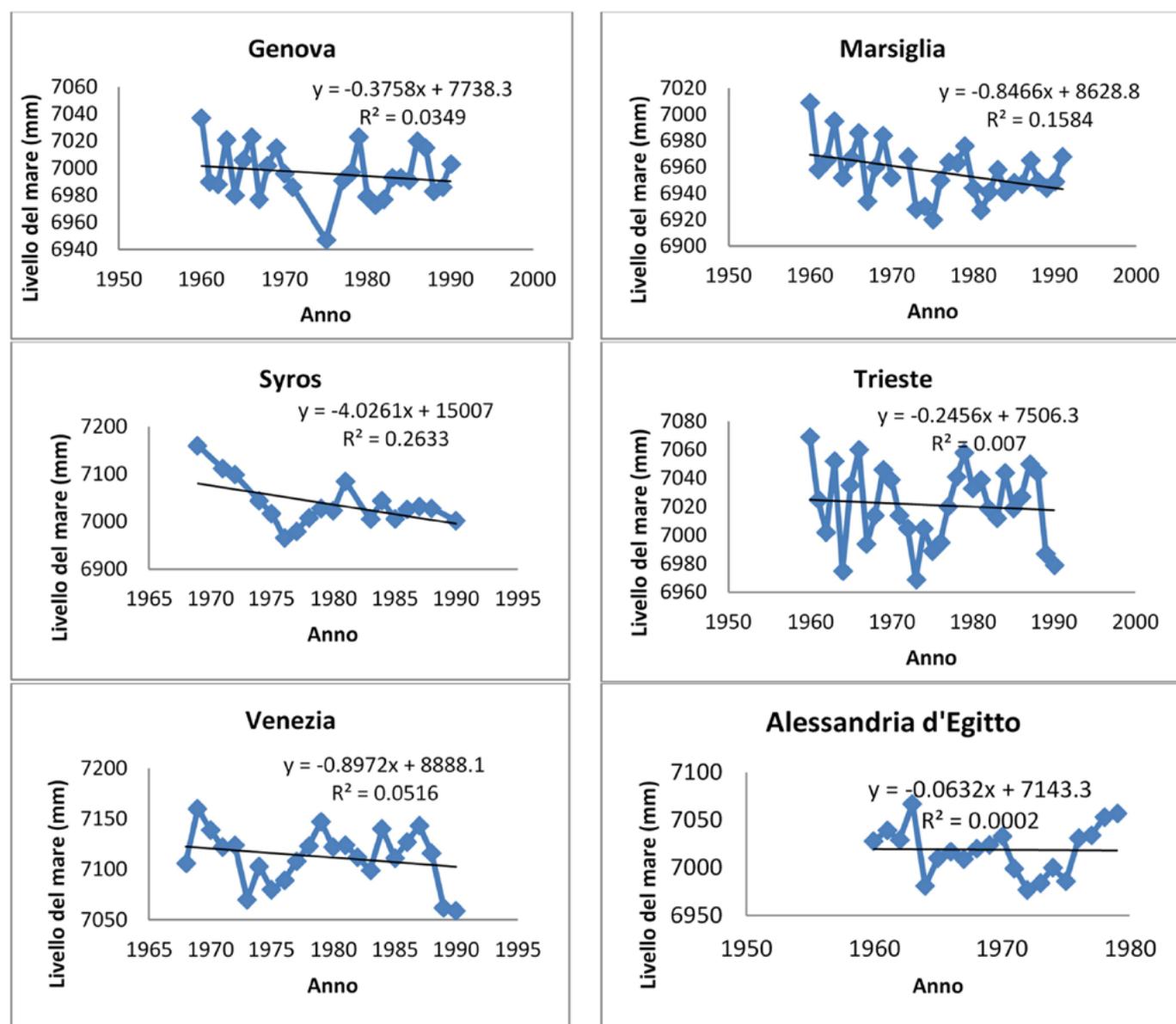


Figura 3. Serie storiche delle registrazioni mareografiche di Genova, Marsiglia, Syros, Trieste, Venezia e Alessandria d'Egitto dove è possibile osservare un trend negativo di variazione del livello del mare nel periodo 1960-1990 (dati da Holgate *et al.*, (2012); Permanent Service for Mean Sea Level - PSM SL, 2021. I valori di livello del mare sono espressi prendendo in considerazione un "REVISED LOCAL REFERENCE" datum definito considerando approssimativamente 7000 mm al di sotto del livello del mare medio; <https://www.psmsl.org/>)

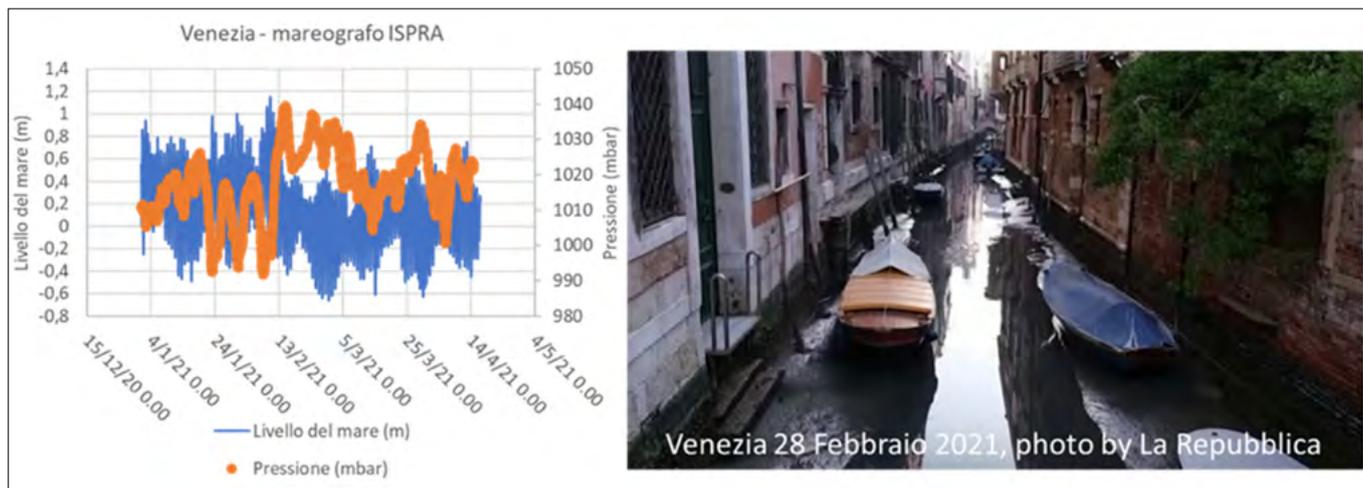


Figura 4. Dati di pressione e livello del mare registrati a Venezia (proprietà dell'ISPRA) nei mesi di febbraio-marzo 2021 e prosciugamento dei canali osservato durante la bassa marea nella città di Venezia

2021), nel delta del Nilo (Gebremichael *et al.*, 2018), nella piana di Manfredonia (Caldara *et al.*, 1998; 2014) e nelle pianure del Volturno e del Sele (Aucelli *et al.*, 2017; Di Paola *et al.*, 2018).

Benché il livello medio mare nel Mediterraneo abbia subito un innalzamento generale con un tasso di 1.8 mm/a nel XX secolo (Lambeck *et al.*, 2004; Anzidei *et al.*, 2014; Vecchio *et al.*, 2019), alcune condizioni peculiari di alta pressione hanno determinato oscillazioni negative in determinati momenti storici. Tra gli anni 1960-1990, il livello medio mare del Mediterraneo subì un abbassamento relativo, come registrato in differenti stazioni mareografiche (Fig. 3), dovuto ad una anomalia positiva di pressione atmosferica che si instaurò sull'intero bacino (Tsimplis *et al.*, 2005; Lionello *et al.*, 2017).

Successivamente, a partire dagli anni '90, è stato osservato un innalzamento del livello del mare con tassi elevati che terminò agli inizi del XXI secolo (Marcos *et al.*, 2011a; 2011b). Questa rapida risalita del livello del mare è stata attribuita all'effetto combinato dello scambio di masse d'acqua dall'Oceano Atlantico verso lo

Stretto di Gibilterra e alla variazione del volume delle acque conseguente a variazioni di temperatura e salinità (Calafat *et al.*, 2010; Lionello *et al.*, 2017; García-Lafuente *et al.*, 2021).

Negli ultimi anni la comunità scientifica italiana ha approfondito lo studio dei possibili impatti dell'innalzamento del livello del mare dovuto al riscaldamento globale e dei relativi rischi sulle aree costiere (Anzidei *et al.*, 2014; 2018; Antonioli *et al.*, 2017). Tali analisi si basano sulle proiezioni globali e regionali del livello del mare al 2050 e 2100, modellate sull'evidenza del riscaldamento del pianeta, sulle ricostruzioni paleoclimatiche, sui dati mareografici, sulle variazioni storiche della temperatura media della Terra, sulle masse di ghiaccio potenzialmente in fusione e sull'effetto dell'espansione termica degli oceani connessa al riscaldamento globale (Lambeck *et al.*, 2011; IPCC, 2013; 2019; Rovere *et al.*, 2016; Vecchio *et al.*, 2019). Tali proiezioni sono generalmente integrate con dati locali relativi ai movimenti verticali, quali isostasia e tettonica, al fine di inserire la componente geologica nel computo della variazione relativa del livello mari-

no (Lambeck *et al.*, 2011; Antonioli *et al.*, 2020). Inoltre, al fine di prendere in considerazione anche i trend di subsidenza indotta relativi alle ultime decadi, le più recenti valutazioni del rischio utilizzano anche i dati di subsidenza ottenuti dall'analisi di interferometria satellitare e dalle stazioni permanenti GPS (Aucelli *et al.*, 2017; Anzidei *et al.*, 2021).

In questo contesto di variazione permanente del livello del mare, le aree maggiormente suscettibili alla sommersione sono rappresentate dalle pianure alluvionali costiere che si sono sviluppate a valle dei principali sistemi fluviali. Tali aree risultano essere topograficamente poco elevate rispetto al livello del mare e interessate ad fenomeni di deformazione verticale del terreno causati dalla naturale compattezza dei sedimenti alluvionali e da intensi emungimenti antropici principalmente effettuati per scopi agricoli e industriali, come osservato ad esempio nella piana di Catania (Anzidei *et al.*, 2021), nella laguna di Venezia (Antonioli *et al.*, 2017; Tosi *et al.*, 2018), nella piana del Volturno e nella piana del Sele (Aucelli *et al.*, 2017; Di Paola *et al.*, 2018; Amato *et al.*, 2020). Queste pianure costiere risultano dunque

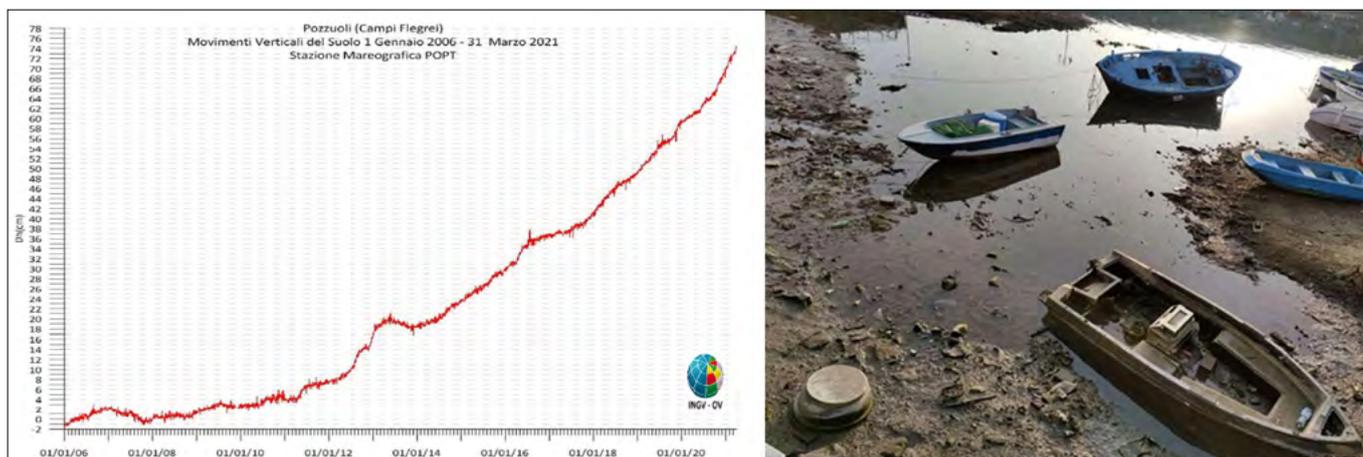


Figura 5. Movimenti verticali del suolo registrati nell'area di Pozzuoli (Napoli) nel periodo 2006-2021 (dati INGV) e abbassamento relativo del livello del mare registrato nella Darsena dei pescatori con conseguente messa a secca delle imbarcazioni avvenuta nel marzo 2021



Figura 6. Faraglione di Pizzomunno (Vieste, Foggia); si noti la posizione della linea di riva nel 2018 alla base del faraglione mentre nella foto di marzo 2021 risulta migrata per circa 30 metri verso mare a causa della bassa marea

fortemente suscettibili anche al fenomeno dell'intrusione del cuneo salino il quale comporta un'alterazione delle componenti chimiche ed ecologiche (Masciopinto and Liso, 2016) determinando uno stato di malessere degli ecosistemi costieri ed una perdita di funzionalità dei relativi ecosistemi ad essi associati.

Infine, un ulteriore fattore di pericolosità costiera è rappresentato dall'aumento in intensità e frequenza degli eventi marini ad alta energia, come mareggiate estreme, Medicanes e tsunami (Lionello *et al.*, 2008; Cavicchia *et al.*, 2014; Scicchitano *et al.*, 2020), i quali possono determinare superfici di allagamento temporanee sempre più estese verso l'entroterra.

### LE RECENTI EVIDENZE COSTIERE DELLA BASSA MAREA ESTREMA

Nei mesi di febbraio e marzo 2021, l'intero bacino del Mediterraneo è stato interessato da un'anomalia positiva di pressione registrata alle stazioni mareografiche che ha mostrato i suoi effetti su buona parte delle coste del Mediterraneo.

In particolare, l'abbassamento relativo del livello del mare che si è verificato a seguito dell'anomalia barometrica ha comportato fenomeni di secca nei moli e nei piccoli canali. Esempi di tale fenomeno sono stati osservati in varie località italiane come a Venezia, dove la bassa marea ha raggiunto valori di circa  $-0.4$  m con il conseguente prosciugamento dei

piccoli canali nella città (Fig. 4). Lo stesso fenomeno si è verificato nella Darsena dei pescatori di Pozzuoli (Napoli), dove la bassa marea ha determinato il ritiro delle acque con la messa a secco delle imbarcazioni (Fig. 5). Inoltre, proprio questa zona risulta essere interessata negli ultimi anni da un sollevamento locale del terreno (fenomeno noto come bradisismo negativo) con conseguente abbassamento relativo del livello del mare. Dall'analisi dei dati dell'INGV risulta che da gennaio 2006 ad oggi il sollevamento nell'area di massima deformazione è di circa  $44.5$  cm e che la velocità media di tale sollevamento calcolata sulla base di dati settimanali a partire da settembre 2020 è di  $13 \pm 2$  mm/mese (Bollettino INGV – Aprile 2021). In quest'area, gli effetti combinati tra la bassa marea e il sollevamento locale del terreno (Aucelli *et al.*, 2020; Cannatelli *et al.*, 2020) hanno determinato nel periodo febbraio-marzo 2021 l'esposizione di ampie aree costiere generalmente sommerse.

Tuttavia, i moli non sono le uniche aree dove è stato possibile osservare gli effetti della bassa marea estrema.

Un caso particolarmente emblematico è stato riportato a Vieste (Foggia), in particolare presso il Faraglione di Pizzomunno. In condizioni normali di escursione di marea, questa località presenta una linea di riva che lambisce la base del faraglione; tuttavia, nei primi giorni del mese di marzo 2021 è stata osservata una migrazione della linea di riva di circa  $30$  m verso mare (Fig. 6). Effetti simili di migrazione della linea di riva sono stati



Figura 7. Effetti della bassa marea su Torre Canne (Brindisi) registrate dalla videocamera dell'Autorità di Bacino Puglia (dati forniti dal Progetto SIMOP)

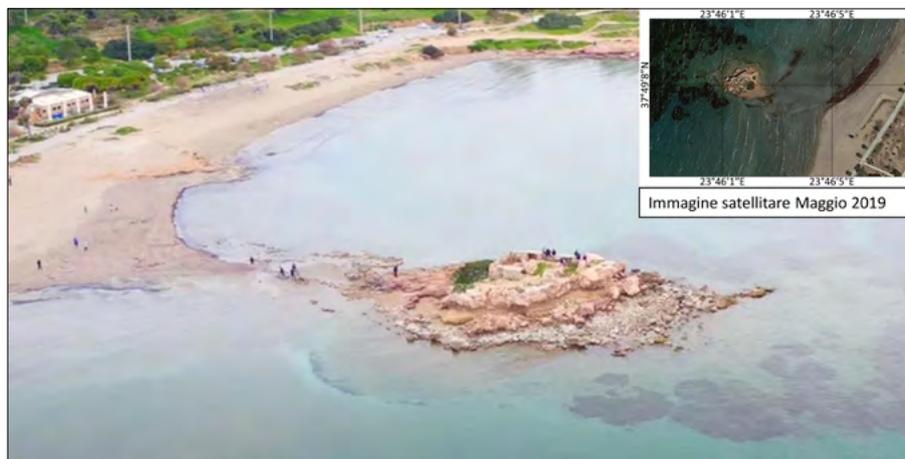


Figura 8. Confronto tra foto aerea dell'isola di Kavouri (Grecia, fonte: [www.keptalkinggreece.com](http://www.keptalkinggreece.com)) del marzo 2021 con l'immagine satellitare del maggio 2019 dove è chiaramente evidente la sommersione dell'istmo

osservati anche in altre spiagge del Mediterraneo. Un esempio è stato riportato dalle registrazioni video della fascia costiera di Torre Canne (Brindisi) dove è stata osservata una progradazione progressiva della linea di riva in differenti giorni (Fig. 7). Tale progradazione è stata molto evidente fino alle prime due settimane di marzo 2021; successivamente, con il termine dell'anomalia positiva di pressione, è stato osservato un rapido ripristino delle condizioni costiere iniziali alla fine di marzo.

Un'altra evidenza della bassa marea estrema è stata riportata nell'isola di Kavouri (Atene). In quest'area costiera, l'istmo che collega l'isola di Kavouri alla costa risulta sempre sommerso, mentre nelle prime settimane di marzo 2021 è risultato emerso come conseguenza della bassa marea (Fig. 8).

Attraverso l'analisi dei dati dei mareografi ubicati nel Mediterraneo è sta-

to possibile derivare una misura diretta dell'entità della bassa marea verificatasi nel periodo febbraio-marzo 2021. Le registrazioni mareografiche hanno infatti mostrato un abbassamento relativo del livello medio mare a partire dalla metà del mese di febbraio 2021, in esatta coincidenza temporale con l'instaurarsi dell'anomalia positiva di pressione nel Mediterraneo. Le componenti in frequenza delle registrazioni mareografiche sono state analizzate attraverso un'analisi spettrale, impiegando la trasformata continua *wavelet* (Continuous Wavelet Transform - CWT). La trasformata CWT consente di ricavare dei coefficienti rappresentativi della percentuale energetica di un segnale e di rappresentarli in uno scalogramma a differenti intervalli di frequenza. Più è alto il contenuto energetico, maggiore sarà il valore assoluto dei coefficienti rappresentati nello scalogramma.

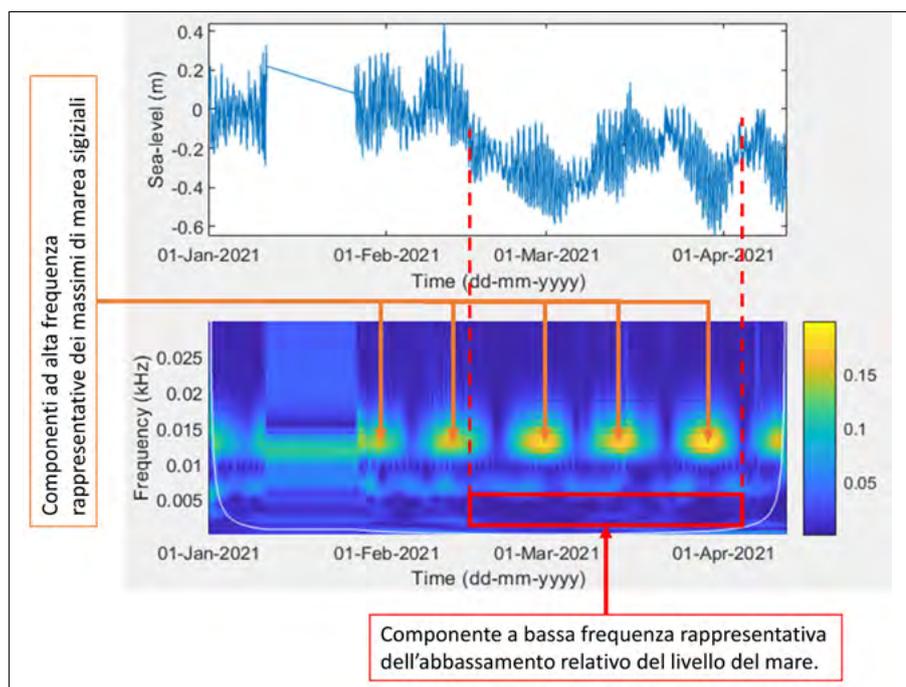


Figura 9. Analisi spettrale CWT della registrazione mareografica della stazione di Bari (proprietà dell'ISPRA); in alto sono riportate le registrazioni grezze e in basso lo scalogramma dei coefficienti della trasformata CWT

In Fig. 9 è riportata la trasformata CWT per le registrazioni mareografiche della stazione di Bari (disponibili tramite consultazione del sito ISPRA) per i mesi di gennaio-aprile 2021. Un contenuto della percentuale di energia maggiore è mostrato in corrispondenza delle maree sigiziali, dove le escursioni di marea sono ampie, mentre nelle componenti in frequenza più basse si osserva un abbassamento del contenuto energetico corrispondente alla fase di abbassamento relativo del livello del mare in risposta all'anomalia di pressione.

## DISCUSSIONI

La recente anomalia positiva di pressione che si è verificata nel periodo febbraio-marzo 2021 e il conseguente abbassamento relativo del livello del mare sono stati osservati in tutte le stazioni mareografiche del Mediterraneo. Benché tali anomalie e conseguenti effetti sul livello del mare siano avvenute anche in momenti storici passati, effetti diffusi sulle coste del Mediterraneo sono stati raramente osservati. Tali effetti possono essere spiegati attraverso il modello di resilienza di Westman, (1986), che è valido per gli ecosistemi ma può essere modificato per i sistemi costieri.

Il concetto di resilienza applicato alle coste rappresenta la capacità del sistema costiero di adattarsi o resistere ad una determinata alterazione del suo stato originario. Come illustrato in Fig. 10, un'alterazione dello stato di un sistema costiero determina il passaggio da uno stato iniziale ad uno stato finale, il quale non potrebbe corrispondere necessariamente alla configurazione originaria della costa. La velocità con cui questo passaggio avviene è definita come tasso di recupero, in cui sono compresi una prima fase di alterazione e una successiva fase di isteresi. Nella prima fase di alterazione si osservano modifiche nelle forme e nelle strutture sedimentarie per intervalli temporali relativamente lunghi, che vanno dalle settimane ai mesi. Successivamente si ha una fase di isteresi in cui il sistema costiero cerca di ritornare al suo stato iniziale al fine di ripristinare l'assetto morfo-topografico e il bilancio sedimentario originario. Se lo stato iniziale del sistema costiero coincidesse con lo stato finale, il sistema si comporterebbe in maniera perfettamente elastica. Nel recente caso osservato nei mesi di febbraio-marzo 2021, l'alterazione dello stato del sistema costiero è stata causata dall'insistere dell'alta pressione nel Mediterraneo con evidenze di bassa marea estrema. Tale alterazione ha mostrato i

**Tabella 1. Caratteristiche del modello di resilienza per un sistema costiero**

Caratteristiche della resilienza	Significato
Inerzia	Capacità di resistere ad una sollecitazione o variazione del bilancio sedimentario.
Elasticità	Capacità di ripristino dello stato originario del sistema costiero in seguito ad una sollecitazione o variazione del bilancio sedimentario.
Ampiezza	Differenza tra lo stato di alterazione e stato finale del sistema costiero.
Isteresi	Intervallo di tempo tra alterazione e stato finale di un sistema costiero
Malleabilità	Differenza tra lo stato iniziale e stato finale di un sistema costiero

suoi effetti soprattutto sulle spiagge, le quali hanno mostrato una migrazione verso mare della linea di riva. Successivamente, a partire dalla metà di marzo 2021, con il termine dell'anomalia di pressione, è stato osservato un recupero delle condizioni iniziali del sistema costiero con una migrazione verso terra della linea di riva fino a raggiungere la posizione precedente all'alterazione. Tale scenario ha evidenziato una risposta adattiva elastica nel sistema costiero, dove lo stato finale è risultato essere analogo allo stato iniziale.

Le caratteristiche della resilienza in un sistema costiero sono le stesse definite in (Orians, 1975; Westman, 1978; 1986) per gli ecosistemi: inerzia, elasticità, ampiezza, isteresi e malleabilità (Tab. 1).

L'effetto dell'anomalia positiva di pressione sul livello medio del mare è stato uno dei più intensi osservati dall'ultimo secolo. Gomis *et al.*, (2008) hanno mostrato che le componenti delle forzanti atmosferiche sul livello del mare dal 1958 al 2001 (come variazione di pressione e ventosità) hanno avuto un contributo in ampiezza non rilevante, dell'ordine di 2 cm, significativamente inferiore rispetto alla bassa marea osservata nei mesi di febbraio-marzo 2021. Tuttavia, l'anomalia di pressione ha avuto un carattere temporaneo, terminando alla fine del mese di marzo 2021 e permettendo il ripristino dello stato costiero con una risposta elastica.

Se le variazioni esterne assumessero un carattere permanente, come sta avvenendo per gli effetti dell'innalza-

mento del livello del mare, le coste non riuscirebbero a rispondere elasticamente e potrebbero subire delle modifiche irreversibili, come la sommersione permanente e l'arretramento del sistema costiero (Antonoli *et al.*, 2020; Anzidei *et al.*, 2021). Alcune modifiche permanenti è possibile osservarle attualmente, come presso la piana di Metaponto, dove è presente una continua erosione della spiaggia e del corpo dunale (Sabato *et al.*, 2012; Scardino *et al.*, 2020). Altri tipi di modifiche permanenti nel sistema costiero sono direttamente correlate con l'attività antropica. L'attività antropica determina un tipo di alterazione molto spinta nei sistemi costieri che talvolta può determinare dei cambiamenti irreversibili. Alcuni esempi sono presenti presso la piana di Manfredonia e le coste molisane (Caldara *et al.*, 1998; 2006; 2014; Aucelli *et al.*, 2009; 2018; Roskopf *et al.*, 2018), dove gli interventi di difesa lungo costa hanno alterato la deriva litorale, l'emungimento di pozzi ha determinato la compattazione dei sedimenti e fenomeni di subsidenza localizzata e la costruzione di impianti di raccolta acque ha ridotto la portata solida dei fiumi. La risposta adattiva delle coste in funzione delle variazioni climatiche e dell'impatto antropico è uno dei temi di forte interesse per le istituzioni internazionali, in quanto la maggior parte delle attività residenziali e produttive mondiali sono concentrate proprio sulle fasce costiere (Caldara *et al.*, 1998; 2006; 2014; Aucelli *et al.*, 2009; 2018; Roskopf *et al.*, 2018).

## CONCLUSIONI

Le risposte adattive dei sistemi costieri sono strettamente connesse al tipo di alterazione che determina una variazione nello stato fisico ed ecologico. Le alterazioni possono determinare uno stato finale completamente differente da quello iniziale, nel caso in cui il sistema costiero non sia in grado di rispondere elasticamente. Le alterazioni che non permettono ai sistemi costieri una risposta adattiva elastica sono principalmente quelle che mostrano un carattere permanente, come l'innalzamento del livello del mare e l'influenza antropica. In questo lavoro è stata osservata un'alterazione non permanente, associata ad una anomalia positiva di pressione atmosferica che si è instaurata nel bacino del Mediterraneo nei mesi di febbraio e marzo 2021. A questo tipo di alterazione le coste hanno mostrato un'ampia e rapida risposta adattiva, con una migrazione della linea di riva verso mare e un'esposizione delle aree normalmente sommerse. Al termine dell'alterazione si è avuto il ripristino delle condizioni costiere originarie. Tale risposta adattiva ha mostrato come il sistema costiero sia in grado di adattarsi a una variazione esterna per poi ripristinare la sua configurazione originaria, evidenziando come il modello di resilienza di Westman (1978) sia valido anche per i sistemi costieri. Tuttavia, questo tipo di risposta dei sistemi costieri non è sempre valida. Infatti, le alterazioni associate all'innalzamento del livello del mare oppure all'attività antropica determinano delle modifiche irreversibili a cui il sistema costiero non riesce a dare una risposta adattiva elastica. Queste tipologie di alterazioni dipingono degli scenari futuri critici, con significativa perdita di superficie emersa e danni per le attività socio-economiche e perdita dei servizi ecosistemici costieri.

## BIBLIOGRAFIA

AMATO V., AUCELLI P.P.C., CORRADO G., DI PAOLA G., MATANO F., PAPPONE G., SCHIATTARELLA M. (2020), *Comparing geological and Persistent Scatterer Interferometry data of the Sele River coastal*

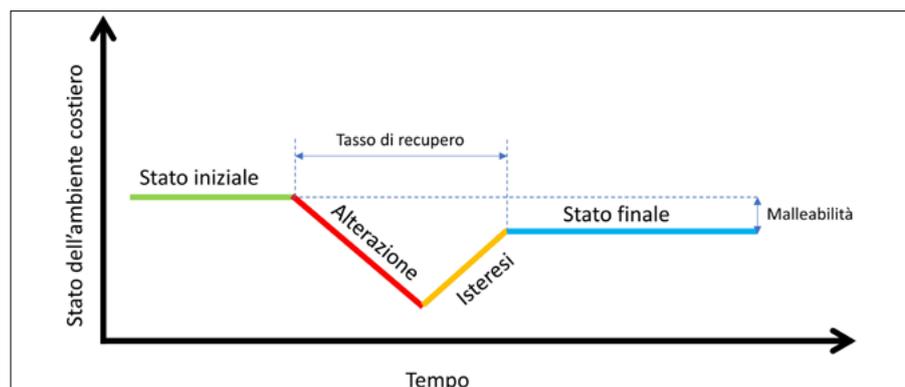


Figura 10. Modello di resilienza, modificato da Westman (1978), applicato ai sistemi costieri

- plain, southern Italy: Implications for recent subsidence trends. *Geomorphology* 351. doi:10.1016/j.geomorph.2019.106953.
- ANTONIOLI F., ANZIDEI M., AMOROSI A., LO PRESTI V., MASTRONUZZI G., DEIANA G., DE FALCO G., FONTANA A., FONTOLAN G., LISCO S., MARSICO A., MORETTI M., ORRÙ P.E., SANNINO G.M., SERPELLONI E., VECCHIO A. (2017), *Sea-level rise and potential drowning of the Italian coastal plains: Flooding risk scenarios for 2100*. *Quaternary Science Reviews* 158, 29–43. doi:10.1016/j.quascirev.2016.12.021.
- ANTONIOLI F., FALCO G.D., PRESTI V.L., MORETTI L., SCARDINO G., ANZIDEI M., BONALDO D., CARNIEL S., LEONI G., FURLANI S., MARSICO A., PETITTA M., RANDAZZO G., SCICCHITANO G., MASTRONUZZI G. (2020), *Relative Sea-Level Rise and Potential Submersion Risk for 2100 on 16 Coastal Plains of the Mediterranean Sea*. *Water* 12, 2173. doi:10.3390/w12082173.
- ANZIDEI M., LAMBECK K., ANTONIOLI F., FURLANI S., MASTRONUZZI G., SERPELLONI E., VANNUCCI G. (2014), *Coastal structure, sea-level changes and vertical motion of the land in the Mediterranean*. Geological Society, London, Special Publications 388, 453–479. doi:10.1144/SP388.20.
- ANZIDEI M., SCICCHITANO G., TARASCIO S., DE GUIDI G., MONACO C., BARRECA G., MAZZA G., SERPELLONI E., VECCHIO A. (2018), *Coastal retreat and marine flooding scenario for 2100: A case study along the coast of Maddalena peninsula (southeastern Sicily)*. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 41, 5–16. doi:10.4461/GFDQ.2018.41.9.
- ANZIDEI M., SCICCHITANO G., SCARDINO G., BIGNAMI C., TOLOMEI C., VECCHIO A., SERPELLONI E., DE SANTIS V., MONACO C., MILELLA M., PISCITELLI A., MASTRONUZZI G. (2021), *Relative Sea-Level Rise Scenario for 2100 along the Coast of South Eastern Sicily (Italy) by In-SAR Data, Satellite Images and High-Resolution Topography*. *Remote Sensing* 13, 1108. doi:10.3390/rs13061108.
- AUCELLI P.P.C., IANNANTUONO E., ROSSKOPF C.M., (2009), *Evoluzione recente e rischio di erosione della costa molisana (Italia meridionale)*. *Italian Journal of Geosciences* 128, 759–771. doi:10.3301/IJG.2009.128.3.759.
- AUCELLI P.P.C., DI PAOLA G., INCONTRI P., RIZZO A., VILARDO G., BENASSAI G., BUONOCORE B., PAPPONE G. (2017), *Coastal inundation risk assessment due to subsidence and sea level rise in a Mediterranean alluvial plain (Volturno coastal plain – southern Italy)*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, EC-SA 55 Unbounded boundaries and shifting baselines: estuaries and coastal seas in a rapidly changing world 198, 597–609. doi:10.1016/j.ecss.2016.06.017.
- AUCELLI P.P.C., DI PAOLA G., RIZZO A., ROSSKOPF C.M. (2018), *Present day and future scenarios of coastal erosion and flooding processes along the Italian Adriatic coast: the case of Molise region*. *Environmental Earth Sciences* 77, 371. doi:10.1007/s12665-018-7535-y.
- AUCELLI P.P.C., MATTEI G., CAPORIZZO C., CINQUE A., TROISI S., PELUSO F., STEFANI LE M., PAPPONE G. (2020), *Ancient coastal changes due to ground movements and human interventions in the roman portus julius (Pozzuoli Gulf, Italy): Results from photogrammetric and direct surveys*. *Water (Switzerland)* 12. doi:10.3390/w12030658.
- BONALDO D., ANTONIOLI F., ARCHETTI R., BEZZI A., CORREGGIARI A., DAVOLIO S., DE FALCO G., FANTINI M., FONTOLAN G., FURLANI S., GAETA M.G., LEONI G., LO PRESTI V., MASTRONUZZI G., PILLON S., RICCHI A., STOCCHI P., SAMARAS A.G., SCICCHITANO G., CARNIEL S. (2019), *Integrating multidisciplinary instruments for assessing coastal vulnerability to erosion and sea level rise: lessons and challenges from the Adriatic Sea, Italy*. *Journal of Coastal Conservation* 23, 19–37. doi:10.1007/s11852-018-0633-x.
- BONÌ R., MEISINA C., POGGIO L., FONTANA A., TESSARI G., RICCARDI P., FLORIS M. (2020), *Ground motion areas detection (GMA-D): An innovative approach to identify ground deformation areas using the SAR-based displacement time series*. Presented at the Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, pp. 277–284. doi:10.5194/pi-ahs-382-277-2020.
- BONORA N., IMMORDINO F., SCHIAVI C., SIMEONI U., VALPREDÀ E. (2002), *Interaction between Catchment Basin Management and Coastal Evolution (Southern Italy)*. *Journal of Coastal Research* 81–88. doi:10.2112/1551-5036-36.sp1.81.
- CALAFAT F.M., MARCOS M., GOMIS D. (2010), *Mass contribution to Mediterranean Sea level variability for the period 1948–2000*. *Global and Planetary Change* 73, 193–201. doi:10.1016/j.gloplacha.2010.06.002.
- CALDARA M., CENTENARO E., MASTRONUZZI G., SANSÒ P., SERGIO A. (1998), *Features and present evolution of Apulian Coast (Southern Italy)*. *Jour. of Coastal Research* SI (26), 55–64.
- CALDARA M., PENNETTA L., SIMONE O. (2002), *Holocene Evolution of the Salpi Lagoon (Puglia, Italy)*. *Journal of Coastal Research* 36, 124–133. doi:10.2112/1551-5036-36.sp1.124.
- CALDARA M., CAPOLONGO D., DAMATO B., PENNETTA L. (2006), *Can the ground laser scanning technology be useful for coastal defenses monitoring?* *Italian Journal of Engineering Geology and Environment* 1, 35–49.
- CALDARA M., CAPOLONGO D., TRIGGIANI M., REFICE A. (2014), *La subsidenza delle piane costiere pugliesi*. *Geologia dell’Ambiente Suppl.* n2/2014, 30–36.
- CANNATELLI C., SPERA F., BODNAR R., LIMA A., DE VIVO B. (2020), *Ground movement (bradyseism) in the Campi Flegrei volcanic area*. *Vesuvius, Campi Flegrei, and Campanian Volcanism* 407–433. doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816454-9.00015-8.
- CAVICCHIA L., VON STORCH H., GUALDI S. (2014), *Mediterranean Tropical-Like Cyclones in Present and Future Climate*. *Journal of Climate* 27, 7493–7501. doi:10.1175/JCLI-D-14-00339.1.
- CAZENAVE A., COZANNET G.L. (2014), *Sea level rise and its coastal impacts*. *Earth’s Future* 2, 15–34. doi:https://doi.org/10.1002/2013EF000188.
- CENNI N., FIASCHI S., FABRIS M. (2021), *Monitoring of Land Subsidence in the Po River Delta (Northern Italy) Using Geodetic Networks*. *Remote Sensing* 13, 1488. doi:10.3390/rs13081488.
- CHURCH J.A., WHITE N.J. (2011), *Sea-Level Rise from the Late 19th to the Early 21st Century*. *Surveys in Geophysics* 32, 585–602. doi:10.1007/s10712-011-9119-1.
- CHURCH J.A., CLARK P.U., CAZENAVE A., GREGORY J.M., JEVREJEVA S., LEVERMANN A., MERRIFIELD M.A., MILNE G.A., NEREM R.S., NUNN P.D., PAYNE A.J., PFEFFER W.T., STAMMER D., UNNIKRISHNAN A.S. (2013), *Sea-Level Rise by 2100*. *Science* 342, 1445–1445. doi:10.1126/science.342.6165.1445-a.
- DI PAOLA G., ALBERICO I., AUCELLI P.P.C., MATANO F., RIZZO A., VILARDO G. (2018), *Coastal subsidence detected by Synthetic Aperture Radar interferometry and its effects coupled with future sea-level rise: the case of the Sele Plain (Southern Italy)*. *Journal of Flood Risk Management* 11, 191–206. doi:https://doi.org/10.1111/jfr3.12308.
- ERICSON J.P., VÖRÖSMARTY C.J., DINGMAN S.L., WARD L.G., MEYBECK M. (2006), *Effective sea-level rise and deltas: Causes of change and human dimension implications*. *Global and Planetary Change* 50, 63–82. doi:10.1016/j.gloplacha.2005.07.004.
- FABRIS M. (2021), *Monitoring the coastal changes of the Po River Delta (Northern Italy) since 1911 using archival cartography, multi-temporal aerial photogrammetry and LiDAR data: Implications for coastline changes in 2100 A.D.* *Remote Sensing* 13. doi:10.3390/rs13030529.
- FLORIS M., FONTANA A., TESSARI G., MULÈ M. (2019), *Subsidence zonation through satellite interferometry in coastal plain environments of ne italy: A possible tool for geological and geomorphological mapping in Urban Areas*. *Remote Sensing* 11. doi:10.3390/rs11020165.
- GARCÍA-LAFUENTE J., SAMMARTINO S., HUERTAS I.E., FLECHA S., SÁNCHEZ-LEAL R.F., NARANJO C., NADAL I., BELLANCO M.J. (2021), *Hotter and Weaker Mediterranean Outflow as a Response to Basin-Wide Alterations*. *Frontiers in Marine Science* 8. doi:10.3389/fmars.2021.613444.
- GEBREMICHAEL E., SULTAN M., BECKER R., BASTAWESY M.E., CHERIF O., EMIL M. (2018), *Assessing Land Deformation and Sea Encroachment in the Nile Delta: A Radar Interferometric and Inundation Modeling Approach*. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 123, 3208–3224. doi:https://doi.org/10.1002/2017JB015084.
- GOMIS D., RUIZ S., SOTILLO M.G., ÁLVAREZ-FANJUL E., TERRADAS J. (2008), *Low frequency Mediterranean sea level variability: The contribution of atmospheric pressure and wind*. *Global and Planetary Change, Mediterranean climate: trends, variability and change* 63, 215–229. doi:10.1016/j.gloplacha.2008.06.005.
- HOLGATE S.J., MATTHEWS A., WOODWORTH P.L., RICKARDS L.J., TAMISIA

- M.E., BRADSHAW E., FODEN P.R., GORDON K.M., JEVREJEVA S., PUGH J. (2012), *New Data Systems and Products at the Permanent Service for Mean Sea Level*. Journal of Coastal Research 29, 493–504. doi:10.2112/JCOASTRES-D-12-00175.1.
- IPCC (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535.
- IPCC (2019), *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)] Working Group II Technical Support Unit, 765.
- IPCC (2021), *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. 3949..
- JEVREJEVA S., MOORE J.C., GRINSTED A., MATTHEWS A.P., SPADA G. (2014), *Trends and acceleration in global and regional sea levels since 1807*. Global and Planetary Change 113, 11–22. doi:10.1016/j.gloplacha.2013.12.004.
- KEMP A.C., HORTON B.P., DONNELLY J.P., MANN M.E., VERMEER M., RAHMSTORF S. (2011), *Climate related sea-level variations over the past two millennia*. Proceedings of the National Academy of Sciences 108, 11017–11022. doi:10.1073/pnas.1015619108.
- LAMBECK K., PURCELL A. (2005), *Sea-level change in the Mediterranean Sea since the LGM: model predictions for tectonically stable areas*. Quaternary Science Reviews, Quaternary coastal morphology and sea-level changes 24, 1969–1988. doi:10.1016/j.quascirev.2004.06.025.
- LAMBECK K., ANZIDEI M., ANTONIOLI F., BENINI A., ESPOSITO A. (2004), *Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for recent change*. Earth and Planetary Science Letters 224, 563–575. doi:10.1016/j.epsl.2004.05.031.
- LAMBECK K., ANTONIOLI F., ANZIDEI M., FERRANTI L., LEONI G., SCICCHITANO G., SILENZI S. (2011), *Sea level change along the Italian coast during the Holocene and projections for the future*. Quaternary International, Tectonic Contribution to Relative Sea Level Change 232, 250–257. doi:10.1016/j.quaint.2010.04.026.
- LIONELLO P., COGO S., GALATI M.B., SANNA A. (2008), *The Mediterranean surface wave climate inferred from future scenario simulations*. Global and Planetary Change 63, 152–162. doi:10.1016/j.gloplacha.2008.03.004.
- LIONELLO P., CONTE D., MARZO L., SCARASCIA L. (2017), *The contrasting effect of increasing mean sea level and decreasing storminess on the maximum water level during storms along the coast of the Mediterranean Sea in the mid 21st century*. Global and Planetary Change, Climate Variability and Change in the Mediterranean Region 151, 80–91. doi:10.1016/j.gloplacha.2016.06.012.
- MARCOS M., JORDÀ G., GOMIS D., PÉREZ B. (2011a), *Changes in storm surges in southern Europe from a regional model under climate change scenarios*. Global and Planetary Change 77, 116–128. doi:10.1016/j.gloplacha.2011.04.002.
- MARCOS M., CALAFAT F.M., LLOVEL W., GOMIS D., MEYSSIGNAC B. (2011b), *Regional distribution of steric and mass contributions to sea level changes*. Global and Planetary Change 76, 206–218. doi:10.1016/j.gloplacha.2011.01.007.
- MASCIOPINTO C., LISO I.S. (2016), *Assessment of the impact of sea-level rise due to climate change on coastal groundwater discharge*. Science of The Total Environment 569–570, 672–680. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.06.183.
- MASTRONUZZI G., ANTONIOLI F., ANZIDEI M., AUCELLI P.P.C., CAPORIZZO C., DONADIO C., LO PRESTI V., MATTEI G., SCARDINO G., SCICCHITANO G., SPAMPINATO C.R., VECCHIO A. (2020), *Dove il mare incontra la terra. In: Il Mediterraneo e la sua storia*. Catalogo Mostra Thalassa, Museo Archeologico Nazionale di Napoli 22–31.
- MEYSSIGNAC B., CAZENAVE A. (2012), *Sea level: A review of present-day and recent-past changes and variability*. Journal of Geodynamics 58, 96–109. doi:10.1016/j.jog.2012.03.005.
- MORETTI M., TROPEANO M., VAN LOON A.J. (TOM), ACQUAFREDDA P., BALDACCONI R., FESTA V., LISCO S., MASTRONUZZI G., MORETTI V., SCOTTI R. (2016), *Texture and composition of the Rosa Marina beach sands (Adriatic coast, southern Italy): a sedimentological/ecological approach*. Geolgos 22, 87–103. doi:10.1515/ilogos-2016-0011.
- NEDERHOFF C.M., LODDER Q.J., BOERS M., DEN BIEMAN J. P., MILLER J. K. (2015), *Modeling the effects of hard structures on dune erosion and overwash*. In: Coastal Sediments 2015. WORLD SCIENTIFIC. doi:10.1142/9789814689977\_0219.
- ORIANI G.H. (1975), *Diversity, stability and maturity in natural ecosystems*. In: *Dobben, W.H. van, Lowe-McConnell, R.H. (Eds.), Unifying Concepts in Ecology: Report of the Plenary Sessions of the First International Congress of Ecology*, The Hague, the Netherlands, September 8–14, 1974. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 139–150. doi:10.1007/978-94-010-1954-5\_11.
- ROSSKOPF C.M., DI PAOLA G., ATKINSON D.E., RODRÍGUEZ G., WALKER I.J. (2018), *Recent shoreline evolution and beach erosion along the central Adriatic coast of Italy: the case of Molise region*. Journal of Coastal Conservation 22, 879–895. doi:10.1007/s11852-017-0550-4.
- ROVERE A., STOCCHI P., VACCHI M. (2016), *Eustatic and Relative Sea Level Changes*. Current Climate Change Reports 2, 221–231. doi:10.1007/s40641-016-0045-7.
- SABATO L., LONGHITANO S.G., GIOIA D., CILUMBRIELLO A., SPALLUTO L. (2012), *Sedimentological and morpho-evolution maps of the 'Bosco Pantano di Policoro' coastal system (Gulf of Taranto, southern Italy)*. Journal of Maps 8, 304–311. doi:10.1080/17445647.2012.722791.
- SCARDINO G., SABATIER F., SCICCHITANO G., PISCITELLI A., MILELLA M., VECCHIO A., ANZIDEI M., MASTRONUZZI G. (2020), *Sea-Level Rise and Shoreline Changes Along an Open Sandy Coast: Case Study of Gulf of Taranto, Italy*. Water 12, 1414. doi:10.3390/w12051414.
- SCICCHITANO G., SCARDINO G., TARASCIO S., MONACO C., BARRACANE G., LOCURATOLO G., MILELLA M., PISCITELLI A., MAZZA G., MASTRONUZZI G. (2020), *The First Video Witness of Coastal Boulder Displacements Recorded during the Impact of Medicean "Zorbas" on Southeastern Sicily*. Water 12, 1497. doi:10.3390/w12051497.
- TAVOLO NAZIONALE SULL'EROSIONE COSTIERA, MATTM-REGIONI (2016), *Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici* 312.
- TOIMIL A., CAMUS P., LOSADA I.J., LE COZZANET G., NICHOLLS R.J., IDIER D., MASPATAUD A. (2020), *Climate change-driven coastal erosion modelling in temperate sandy beaches: Methods and uncertainty treatment*. Earth-Science Reviews 202, 103110. doi:10.1016/j.earscirev.2020.103110.
- TOSI L., LIO C.D., TEATINI P., STROZZI T. (2018), *Land Subsidence in Coastal Environments: Knowledge Advance in the Venice Coastland by TerraSAR-X PSI*. Remote Sensing 10, 1191. doi:10.3390/rs10081191.
- TSIMPLIS M.N., ÁLVAREZ-FANJULÉ, GOMIS D., FENOGLIO-MARC L., PÉREZ B. (2005), *Mediterranean Sea level trends: Atmospheric pressure and wind contribution*. Geophysical Research Letters 32. doi:https://doi.org/10.1029/2005GL023867.
- VECCHIO A., ANZIDEI M., SERPELLONI E., FLORINDO F. (2019), *Natural Variability and Vertical Land Motion Contributions in the Mediterranean Sea-Level Records over the Last Two Centuries and Projections for 2100*. Water 11, 1480. doi:10.3390/w11071480.
- WESTMAN W.E. (1978), *Measuring the Inertia and Resilience of Ecosystems*. BioScience 28, 705–710. doi:10.2307/1307321.
- WESTMAN W.E. (1986), *Resilience: concepts and measures*. In: Dell B., Hopkins A.J.M., Lamont B.B. (Eds.), *Resilience in Mediterranean-Type Ecosystems, Tasks for Vegetation Science*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 5–19. doi:10.1007/978-94-009-4822-8\_2.
- WOODRUFF J.D., IRISH J.L., CAMARGO S.J. (2013), *Coastal flooding by tropical cyclones and sea-level rise*. Nature 504, 44–52. doi:10.1038/nature12855.
- WÖPPELMANN G., MARCOS M. (2012), *Coastal sea level rise in southern Europe and the nonclimate contribution of vertical land motion*. Journal of Geophysical Research: Oceans 117. doi:10.1029/2011JC007469.

# Geological Day Coste

## Una giornata di escursione e di approfondimento geologico ambientale



Foto G. Paliaga



Foto P. Tinelli

La **Società Italiana di Geologia Ambientale - APS**, in occasione della ricorrenza dei **30 anni** della propria fondazione, il **18 maggio 1992**, propone a tutti i soci e i simpatizzanti interessati dell'associazione, l'iniziativa **Geological Day Coste**, una giornata di escursione e di approfondimento geologico ambientale, da svolgersi nelle giornate dal **18 al 22 maggio 2022**.

Ogni socio o simpatizzante, a titolo volontario, può recarsi presso una spiaggia o un tratto di costa, che conosce e frequenta, per effettuare un sopralluogo/rilievo di carattere geologico ambientale, utilizzando un'apposita scheda contenente i dati di monitoraggio rilevati.

Sulla scheda di monitoraggio devono essere descritte:

- le caratteristiche geologiche;
- il contesto ambientale e naturalistico;
- le componenti vegetazionali;
- gli equilibri esistenti;
- i fenomeni di erosione o deposizione;
- le componenti antropiche.



Foto F. Boccalaro

Tale rilievo, che sarà coordinato dalla sezione regionale, consentirà di realizzare una banca dati di monitoraggio sullo stato delle nostre coste che può essere aggiornata annualmente.

La stagione primaverile permette di constatare i danni delle mareggiate e delle perturbazioni meteo invernali e di verificare l'incidenza delle attività legate alla stagione balneare di fruizione delle spiagge.

Scopo finale di questo evento, è quello di avviare un monitoraggio che riguardi le coste italiane e seguire negli anni l'evoluzione dei diversi siti, anche sulla base di ricerche precedenti, pubblicate o non.



Foto F. Boccalaro

Periodicamente i risultati verranno resi pubblici, sia sui mezzi di comunicazione SIGEA che su altri, in modo da attivare una discussione/confronto su tali dati, anche con altre organizzazioni interessate.



Foto E. Di Loreto

La scheda di monitoraggio, scaricabile online sul sito [www.sigeweb.it](http://www.sigeweb.it), dovrà essere debitamente compilata e inviata al seguente indirizzo e-mail: [eventi@sigeweb.it](mailto:eventi@sigeweb.it)

**CONVEGNO NAZIONALE  
ORGANIZZATO DALLA  
SOCIETÀ ITALIANA  
DI GEOLOGIA AMBIENTALE  
(SIGEA) - APS**

**Roma, 10 e 11 ottobre 2022  
Società Geografica Italiana  
Palazzetto Mattei  
Villa Celimontana  
Via della Navicella, 12 - Roma**



# **LA GEOLOGIA AMBIENTALE AL SERVIZIO DEL PAESE**

## **CELEBRAZIONE DEI 30 ANNI DI FONDAZIONE DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI GEOLOGIA AMBIENTALE (SIGEA) – APS**

### **PRIMA CIRCOLARE**

#### **PRESENTAZIONE**

Nel 1992 un gruppo di accademici, professionisti, funzionari pubblici si confrontano e dialogano per la promozione del ruolo delle Scienze della Terra con l'obiettivo di tutelare la salute e la sicurezza del territorio, ponendo l'attenzione sulle componenti ambientali per conservare le loro quantità e qualità attraverso l'utilizzazione più responsabile del territorio e delle sue risorse, in un crescente confronto, talora contrapposto, sullo sfruttamento del territorio e delle sue risorse naturali secondo un paradigma tecnocratico che ha esercitato il dominio eccessivo sulla politica, sull'economia e sul profitto, attraverso uno sviluppo "disattento" o addirittura privo di rispetto per l'uomo e l'ambiente.

Si creano le basi statutarie per costituire una associazione scientifica e culturale che affronterà in ambito nazionale la promozione della cultura geologica. Nasce così la Società Italiana di Geologia Ambientale in breve SIGEA, un'associazione che rompe gli schemi tradizionali dell'associazionismo di settore e opera negli anni in un circuito ampio con accademici, ricercatori di enti pubblici, professionisti e società civile.

In questi 30 anni anche la scienza e la tecnica hanno vissuto, e vivono tutt'oggi, momenti di notevole conflittualità e SIGEA ha promosso e ospitato un confronto tecnico e scientifico basato su dati, su lucide visioni, su progetti concreti e realizzabili per migliorare lo stato dell'ambiente e la qualità della vita, e non su ideologie.

Riteniamo che la vera transizione ecologica, necessaria per compensare lo sviluppo urbano e industriale pensato indipendentemente dagli effetti che questi possano arrecare agli equilibri ambientali e sociali, debba partire dalle analisi che emergono da posizioni anche divergenti sulla sostenibilità dello sviluppo, sulla velocità della crescita e del progresso, sulle aspettative economiche, sul principio di precauzione e su quello di non arrecare un danno significativo (DNSH - Do No Significant Harm). Contrapposizioni queste che come spesso è accaduto negli ultimi 30 anni trovano nel confronto intergenerazionali fattori di amplificazione. Solo il dibattito culturale, leale e aperto alle diverse posizioni, può essere utile a individuare i reali limiti dell'agire in un'ottica conservativa per i caratteri ambientali di un territorio, nell'interesse intergenerazionale, volto a garantire benessere alle popolazioni che lo abitano, con un occhio ben attento ai 17 obiettivi dell'Agenda 2030 (SDGs).

I contributi potranno essere proposti da tutti coloro che svolgono le loro attività di ricerca, professionali e imprenditoriali, nell'ambito della geologia ambientale e più in generale sui temi di tutela dell'ambiente e della transizione verso la sostenibilità dello sviluppo.

#### **RICHIESTA DI MEMORIE - SCADENZE**

Potranno essere proposte memorie scientifiche e tecniche relative alle seguenti tre sessioni:

- **1 Rischi geologici: azioni e interventi di mitigazione (alluvioni, frane, terremoti, erosione costiera, eruzioni vulcaniche, sprofondamenti del suolo).**
- **2. Risorse geologiche: utilizzo sostenibile, tutela e valorizzazione (acqua, lapidei, giacimenti minerari, paesaggi e geositi, fonti energetiche rinnovabili e non).**
- **3. Rischi ambientali: analisi, monitoraggio e tecniche di bonifica (cambiamento climatico, inquinamento della matrice solida, inquinamento della matrice liquida, amianto, gas endogeni nocivi, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, radon).**

I riassunti dei contributi (**massimo 3 pagine comprese tabelle e figure**) dovranno essere inviati **entro il 31 luglio 2022** all'indirizzo e-mail [30anni@sigeaweb.it](mailto:30anni@sigeaweb.it) seguendo le norme per gli autori reperibili sul sito <http://www.sigeweb.it/documenti/istruzioni-rivista.pdf>.

I riassunti saranno pubblicati in occasione del convegno.

I contributi estesi (**massimo 10 pagine comprese tabelle e figure**) dovranno essere inviati **entro il 31 dicembre 2022** all'indirizzo e-mail [30anni@sigeaweb.it](mailto:30anni@sigeaweb.it) seguendo le norme per gli autori reperibili sul sito <http://www.sigeweb.it/documenti/istruzioni-rivista.pdf>.

Gli autori riceveranno le valutazioni dei *referee* **entro il 31 gennaio 2023** e dovranno restituire il testo corretto **entro il 28 febbraio 2023**. Gli Atti del Convegno (presentazioni a invito e memorie accettate) saranno pubblicati su un supplemento della rivista ufficiale della SIGEA-APS: "Geologia dell'Ambiente".

**Segreteria organizzativa SIGEA-APS:** Eugenio Di Loreto, Antonello Fiore, Enrico Gennari, Michele Orifici, Vincent Ottaviani, Paola Pino d'Astore, Livia Soliani | Per informazioni, email: [30anni@sigeaweb.it](mailto:30anni@sigeaweb.it)

# « La **partecipazione** in continua **evoluzione** »

**Sostieni la SIGEA-APS**

**Iscriviti e rinnova la tua adesione  
per il 2022**

[www.sigeaweb.it](http://www.sigeaweb.it)



Società Italiana di Geologia Ambientale - APS

Insieme da 30 anni per promuovere la  
cultura geologica e la tutela dell'ambiente