

ambiente rischio comunicazione

Quadrimestrale di analisi e monitoraggio ambientale

numero 11
luglio 2016

IL VULCANO ISCHIA

amra

■ analysis and monitoring of environmental risk

In questo numero:

IL VULCANO ISCHIA

Editoriale

Ugo Leone

Ischia: un'isola vulcanica

Lucia Civetta, Massimo D'Antonio, Giovanni Orsi

Storia vulcanica e rischi geologici

Giuseppe Luongo

Frane sottomarine e tsunami

Stefano Tinti, Filippo Zaniboni, Maria Ausilia Paparo

Ischia come sorgente di energia geotermica

Paolo Gasparini

Radioattività e salute

Agostino Mazzella

Fauna, gestione e conservazione di un patrimonio naturale

Domenico Fulgione

Un'isola laboratorio per lo studio dell'acidificazione marina

Maria Cristina Gambi, Nuria Teixido

La "cura dell'acqua" e gli antichi: le terme

Rossana Valenti

Il sistema idrotermale e la sua radioattività

Paolo Gasparini

Scienziati a Ischia

a cura di Paolo Gasparini, Pietro Greco, Giuseppe Luongo

Ischia è un patrimonio naturale e culturale dell'umanità. Ma non lo sa

Pietro Greco

Un ricordo di Sebastiano Sciuti

Paolo Gasparini

Per Franco Mancusi

Paolo Gasparini, Ugo Leone

I numeri precedenti:

RISCHIO SISMICO

GESTIONE DEI RIFIUTI URBANI

DISSESTO IDROGEOLOGICO

DECIDERE NELL'INCERTEZZA

CHE SUCCEDA AI CAMPI FLEGREI?

RIFIUTI SPECIALI

BONIFICA DI SITI CONTAMINATI

LA COMUNICAZIONE DEL RISCHIO

NO RISK NO ENERGY

ESTINGUERSI O EVOLVERE?

Tutti i numeri di *Ambiente Rischio Comunicazione* possono essere scaricati gratuitamente dai siti www.amrcenter.com e www.doppiavoce.it.

Sommario

**numero 11
luglio 2016**

IL VULCANO ISCHIA

Editoriale <i>Ugo Leone</i>	2
Ischia: un'isola vulcanica <i>Lucia Civetta, Massimo D'Antonio, Giovanni Orsi</i>	4
Storia vulcanica e rischi geologici <i>Giuseppe Luongo</i>	13
Frane sottomarine e tsunami <i>Stefano Tinti, Filippo Zaniboni, Maria Ausilia Paparo</i>	20
Ischia come sorgente di energia geotermica <i>Paolo Gasparini</i>	30
Radioattività e salute <i>Agostino Mazzella</i>	34
Fauna, gestione e conservazione di un patrimonio naturale <i>Domenico Fulgione</i>	41
Un'isola laboratorio per lo studio dell'acidificazione marina <i>Maria Cristina Gambi, Nuria Teixido</i>	46
La "cura dell'acqua" e gli antichi: le terme <i>Rossana Valenti</i>	53
Il sistema idrotermale e la sua radioattività <i>Paolo Gasparini</i>	58
Scienziati a Ischia a cura di <i>Paolo Gasparini, Pietro Greco, Giuseppe Luongo</i>	62
Ischia è un patrimonio naturale e culturale dell'umanità. Ma non lo sa <i>Pietro Greco</i>	71
Un ricordo di Sebastiano Sciuti <i>Paolo Gasparini</i>	74
Per Franco Mancusi <i>Paolo Gasparini, Ugo Leone</i>	76
Notiziario AMRA	77
Gli autori	80

Editoriale

Ugo Leone

Ischia uguale mare, uguale termalismo, uguale turismo sono, generalmente, gli accostamenti che si fanno quando si parla della più grande isola dell'arcipelago napoletano. Ma ve ne sono altri più celati (l'abusivismo edilizio, per esempio) e meno conosciuti (il vulcanesimo, la sismicità, l'esposizione al rischio idrologico, la geotermia, per esempio) che fanno parte del grande patrimonio di quest'isola della quale, non a caso, si prese in seria considerazione la proposta di candidarla a patrimonio dell'umanità.

Né basta se leggiamo un *Reportage sui mille volti dell'isola* realizzato da Pasquale Raicaldo su *la Repubblica Napoli* on line (11 maggio 2016): «Pescatori dal volto arso dal sole, contadini dagli occhi vispi e intensi, commercianti sorridenti e ospitali, anziani che si scambiano effusioni sull'uscio di case color pastello».

Si tratta di una raccolta di foto di Emiliano Russo per una guida curata da Tiberia Iacono che si propone di rappresentare «un'immagine di Ischia più vicina alla realtà, sganciandola dallo stereotipo di postcard e puntando sul vissuto della popolazione locale, sulla dimensione umana» per ricavarne «un reportage ricco di umanità e tradizioni, colore e sorrisi».

Come si vede, si aggiungono elementi in un insieme di realtà, fatti, situazioni che in alcuni casi, apparentemente, potrebbero contrastare lo sviluppo del

turismo e magari anche per questo sono meno note e meno comunicate.

Come scriveva Amedeo Maiuri nel giugno 1947: «Si torna a parlare della valorizzazione turistica d'Ischia; se qualche anno fa poteva sembrare vana ostentazione di grandezza, oggi, oltre ad essere un atto di giustizia verso un'isola negletta, è anche una necessità e un buon impiego di quel che abbiamo in fatto di ricchezze naturali. Ma Ischia è tale delicata bellezza da imporre anzitutto un sentimento di rispettoso amore, che è quanto dire non contaminare, non tradire quello che è il patrimonio sacro dell'isola. E poiché valorizzare non è strafare per mania del grande, per ipertrofia e gonfiezza, gli errori del passato qualcosa dovrebbero insegnare».

Questo numero di *Ambiente Rischio Comunicazione* ha per titolo *Il vulcano Ischia*. Per titolo, ma non anche solo per tema perché intendiamo il termine vulcano, come è nell'uso corrente, quale sinonimo di vulcanico cioè di un'isola vulcanica non solo perché, come ben illustrano Lucia Civetta e Giuseppe Luongo, sede tuttora di vulcanismo attivo, ma perché – ed è questo il sinonimo di vulcanico – «dotata di grande fantasia e immaginazione, ricca di idee e di iniziative... fantasiosa, ingegnosa, inventiva, pirotecnica...». Insomma è un'isola che non si fa mancare niente: nel bene e nel male. È sul modo di combinare questi due aspetti – il bene e il male – che sta il problema. Che si può risolvere al meglio

non nascondendo e nascondendosi dietro al male per non turbare il bene, bensì mostrando come estirpando il male – là dove possibile – ad esempio bloccando l'abusivismo di qualunque tipo e in qualunque forma manifestato e convivendo con i suoi aspetti di naturale pericolosità, si potrà al meglio realizzare l'auspicio di Maiuri che prima ricordavo.

E, in questo modo, si può proporre con le carte in regola come esemplare modello. Tinti, Zaniboni e Paparo, nel loro intervento sugli tsunami scrivono che «Per la complessità e varietà dei fenomeni geologici che vi si osservano, Ischia rappresenta un vero e proprio laboratorio a cielo aperto». Se ai fenomeni geologici aggiungiamo l'insieme delle altre caratteristiche che prima elencavo possiamo ancor ampliare gli aspetti del “laboratorio Ischia”.

Ad esempio, secondo la proposta avanzata a fine 2015, per proporsi per la istituzione di un “Centro scientifico interdisciplinare di studi sulle acque minerali e termali” di valore internazionale. Un centro, cioè, nel quale geofisici, chimici, biologi, medici, storici, scienziati sociali lavorino insieme per fare ricerche sull'origine e sulle caratteristiche chimico-fisiche delle acque minerali e termali; sulle loro capacità terapeutiche; sul ruolo che hanno avuto nella storia e nella cultura dell'umanità.

Perché a Ischia e non altrove considerando che acque minerali e termali ve ne sono in vari centri? E perché non solo questi, ma anche altri “laboratori” nell'isola?

Una risposta che mi sembra vincente è che qui si può far valere quello che in altri siti e circostanze si definisce urbanesimo concorrenziale. Vale a dire che là dove esistono investimenti da fare e/o problemi da approfondire, e, in modo ancor più particolare, la ricerca scientifica da applicare, la sostanziale ubiquità delle scelte consente di privilegiare quei luoghi nei quali la amenità

delle risorse costituisce un motivo di attrazione per orientare la scelta di un luogo piuttosto che di un altro.

Si tratta di quelle che nella saggistica anglosassone si definiscono *amenity resources*. Cioè di quella particolare combinazione di clima, territorio, paesaggio, risorse idriche eccetera capaci di esercitare una forte attrazione su chi vive in altre parti del Paese (o all'esterno del Paese) che ne sono meno dotate. Si tratta, insomma, di risorse che si possono definire immateriali. Queste, da qualche tempo, da quando sono notevolmente mutati i tradizionali fattori di localizzazione industriale e l'industria è diventata praticamente ubiquitaria, hanno assunto particolare importanza e la loro disponibilità costituisce un elemento concorrenziale nella scelta degli insediamenti imprenditoriali e, tanto più e soprattutto, per i laboratori di ricerca scientifica.

Insomma la conclusione di queste considerazioni è che assumono un rilievo del tutto particolare le aree ampiamente dotate di risorse ambientali le quali, tra l'altro, proprio per la dotazione di *amenities* sono anche particolarmente “attraenti” per i quadri superiori manageriali e tecnico-scientifici. In esse, perciò, si creano le condizioni favorevoli oltre alla localizzazione di attività produttive, anche all'installazione di centri della ricerca scientifica di base e applicata. L'altra condizione da rispettare in quest'ultimo caso è che accanto alle risorse ambientali sia presente anche una soddisfacente dotazione di servizi. Non basta, cioè, l'attrazione esercitata dalla combinazione di clima, bellezze naturali e paesaggistiche. Occorre anche poter offrire un ambiente caratterizzato da una soddisfacente dotazione di servizi e attrezzature moderne.

In tutto ciò il “vulcano Ischia” si candida perfettamente.

Ischia: un'isola vulcanica

Lucia Civetta, Massimo D'Antonio, Giovanni Orsi

L'isola d'Ischia è la cima di un apparato vulcanico che si erge per circa 900 m dal fondo del mare, all'estremità nord-occidentale del Golfo di Napoli (Figura 1). Abitata fin dal Neolitico, l'isola oggi ospita una popolazione residente di oltre 60.000 persone (Figura 2), che ne fa la terza isola più popolata d'Italia, dopo Sicilia e Sardegna.

Ischia, che insieme a Procida e ai Campi Flegrei, è parte del Distretto Vulcanico

Flegreo è un campo vulcanico in cui nel tempo si sono susseguite varie eruzioni da differenti centri, e che, nel passato, probabilmente occupava un'area più ampia di quella attuale. Essa è costituita da vari tipi di rocce vulcaniche, generate da diversi tipi di eruzioni alimentate da diversi magmi, da depositi di frane e, subordinatamente, da rocce sedimentarie non vulcaniche. Queste ultime derivano da erosione di rocce preesistenti e rideposizione in ambiente marino o conti-

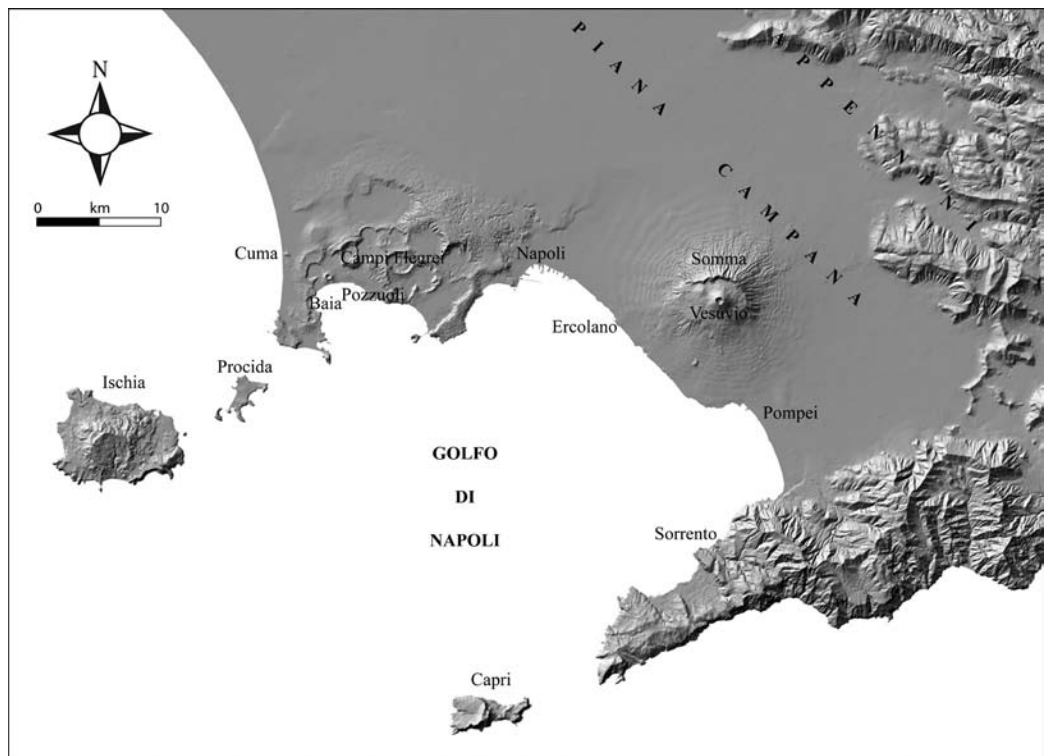


Figura 1. Modello digitale del terreno (DTM) dell'area napoletana, realizzato dal Laboratorio di Geomatica e Cartografia dell'INGV-Osservatorio Vesuviano.

Figura 2. Ortofoto di Ischia, prodotta dalla Compagnia Generale Riprese aeree S.p.A., Parma.



mentale. Le eruzioni vulcaniche che si sono avute sull'isola sono state sia di tipo effusivo che esplosivo. Le prime hanno prodotto duomi lavici e colate di lava. Le eruzioni esplosive sono state dominate sia da fasi magmatiche che freatomagmatiche (in queste ultime venivano coinvolte acque o di falde acquifere o di mare poco profondo). Le eruzioni magmatiche hanno generato prevalentemente colonne sostenute, che non collassavano sui fianchi del vulcano e quindi producevano solo caduta di particelle, ceneri e blocchi vari (depositi piroclastici da caduta). Le esplosioni freatomagmatiche hanno prodotto correnti piroclastiche e depositi piroclastici da flusso.

L'assetto morfologico dell'isola, che copre un'area di circa 46 km², è dominato dalla presenza nella sua parte centrale del Monte Epomeo, la cui cima è a quo-

ta 787 m s.l.m. (Figure 2 e 3). Altri alti morfologici includono gli allineamenti Capo Negro-Punta Imperatore, a direzione NO-SE, e Monte Cotto-Monte Vezzi, a direzione NE-SO, rispettivamente nel settore sud-occidentale e in quello sud-orientale (Figura 2). Il secondo delimita a SE l'area morfologicamente depressa in cui si è prevalentemente sviluppato il vulcanismo recente (Figura 4). Le caratteristiche della costa sono molto variabili. Nella parte meridionale dominano ripide scarpate intervallate da promontori e insenature, mentre in quella settentrionale il pendio degrada verso il mare. Forme di origine vulcanica quali duomi e colate di lava, con i crateri, sono molto diffuse, in particolare nei settori a est del Monte Epomeo in cui si sono avute le eruzioni più recenti (Figura 4).



Figura 3. Vista dei versanti nord-occidentali del Monte Epomeo dalla baia di Citara (Foto G. Orsi)

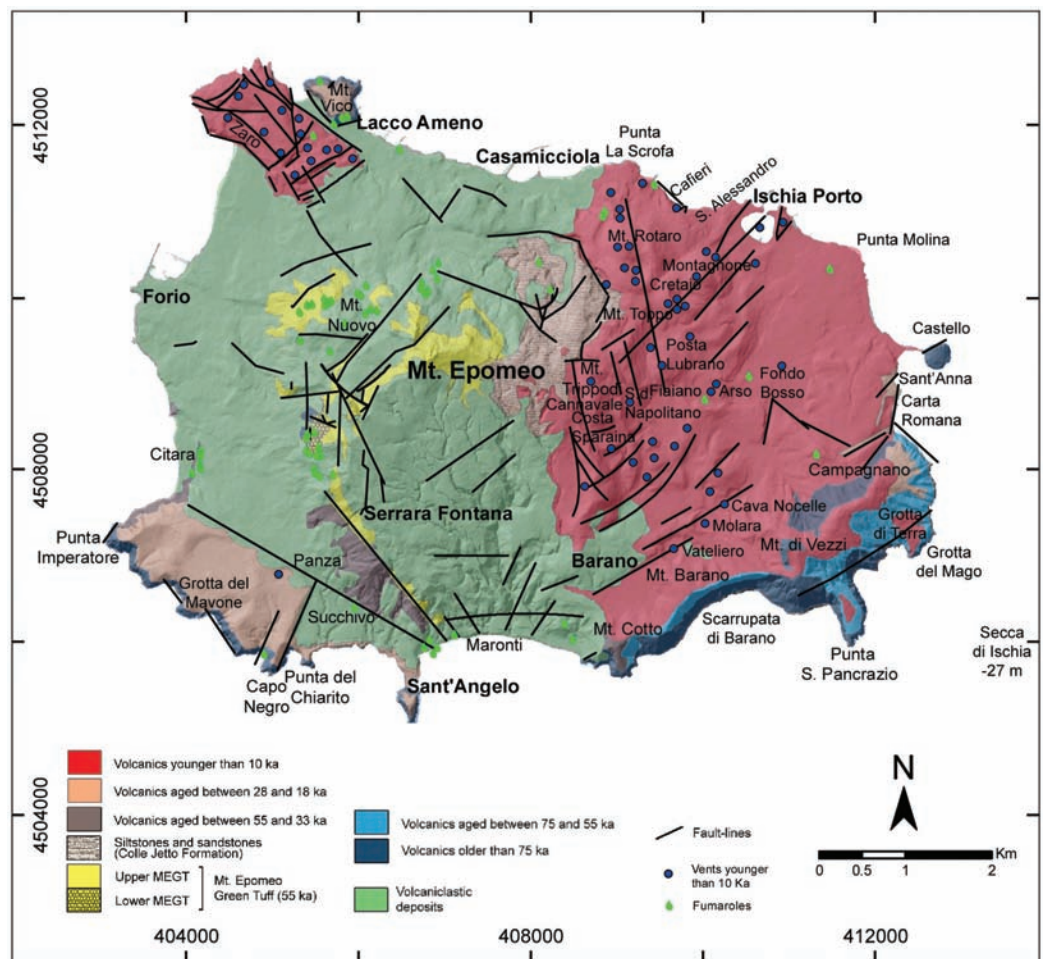


Figura 4. Carta geologica schematica di Ischia (modificata da Orsi et al., 2003).

La geologia di Ischia ha attratto l'interesse di molti ricercatori fin dalla fine del XVIII secolo. In tempi più recenti, Rittmann e Gottini [1] hanno prodot-

to una sintesi moderna dell'evoluzione del sistema vulcanico dell'isola., sull'età del vulcanismo. Negli ultimi decenni una serie di ricerche scientifiche han-

no contribuito al raggiungimento delle attuali conoscenze sul suo complesso assetto stratigrafico e strutturale [2-7], sul comportamento del sistema magmatico di alimentazione [8-11], sull'età del vulcanismo [2, 12, 13]. La ricostruzione della storia recente dell'isola si è anche avvalsa del contributo dell'archeologia, che ha permesso di datare con estrema precisione alcuni eventi vulcanici [14, 15]. I principali lineamenti geologici e strutturali sono schematicamente rappresentati in Figura 4, mentre l'evoluzione nel tempo dei principali eventi vulcanici e deformativi è sintetizzata in Figura 5.

L'età di inizio dell'attività vulcanica sull'isola non è precisamente nota, infatti le rocce più antiche datate, che non sono le più antiche in affioramento, hanno un'età di circa 150.000 anni e appartengono a un complesso vulcanico trachitico-fonolitico attualmente in parte eroso e ricoperto dai prodotti

dell'attività più recente, esposto nel settore sud-orientale dell'isola (Figure 4 e 5). I prodotti dell'attività successiva, che si sovrappongono a questo complesso sono costituiti da piccoli duomi lavici trachitico-fonolitici, i cui resti sono esposti lungo le coste dell'isola e hanno un'età compresa tra 150.000 e 75.000 anni (Figure 4 e 5). Uno di questi duomi è quello esogeno su cui è stato costruito il castello aragonese e la cui struttura interna, comprendente la zona di alimentazione e i relativi flussi lavici, è ben visibile lungo la falesia che lo delimita verso nord (Figura 6).

Il periodo tra 75.000 e 50.000 anni fa è stato quello di più intenso vulcanismo, con almeno 10 eruzioni esplosive tra le più devastanti di tutta la storia conosciuta di Ischia (Figure 4 e 5). La maggior parte di questi eventi, alimentati da magmi di composizione trachitica e fonolitica produsse colonne eruttive sostenute che generarono depositi pi-

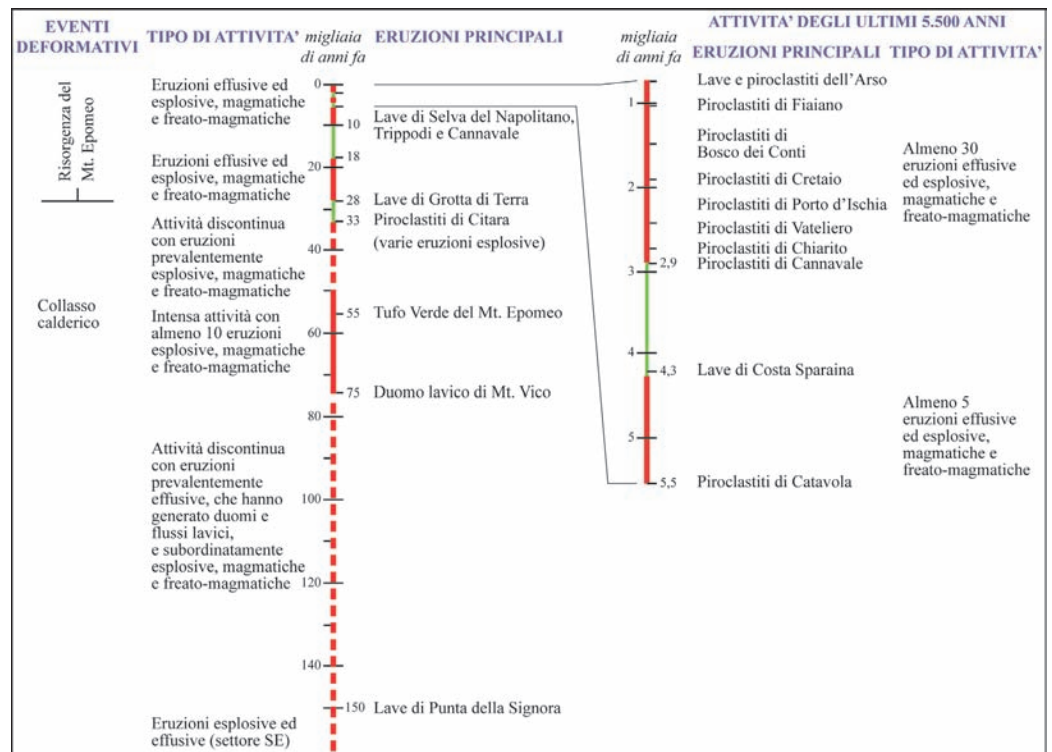


Figura 5. Cronogramma dell'attività vulcanica e deformativa a Ischia (modificata da Santacroce et al., 2003).

Figura 6. Falesia settentrionale del duomo lavico su cui è stato costruito il castello Aragonese, che mostra la struttura interna dell'edificio vulcanico (Foto G. Orsi).



roclastici da caduta, e correnti piroclastiche che devastarono ampie aree del territorio dell'isola a quel tempo. Circa 55.000 anni fa si ebbe l'eruzione del Tufo Verde del Monte Epomeo, l'evento a più alta magnitudo noto sull'isola e alimentato da magma trachitico (Figure 4 e 5). Questa eruzione verosimilmente fu accompagnata dal collasso di una caldera, che determinò lo sprofondamento della parte dell'isola che oggi è sede del Monte Epomeo (Figure 2 e 4). La depressione calderica fu invasa dal mare e sul suo fondo si adagiarono i depositi delle correnti piroclastiche dell'eruzione. Depositi di queste ultime ricoprirono in parte anche le adiacenti zone emerse che oggi formano gli alti morfologici alla periferia dell'isola, l'isola di Procida e parte dell'estremità sud-occidentale dei Campi Flegrei (Figure 1 e 4) [16]. La parte del Tufo Verde del Monte Epomeo depositata in ambiente subacqueo nella depressione calderica, è attualmente esposta al Monte Epomeo (Figura 3), mentre quella messa in posto in ambiente subaereo, affiora a Monte Vico e lungo la costa meridionale, a Sant'Angelo e alla Scarrupata di Barano (Figura 4). I prodotti di questa eruzione

includono un deposito piroclastico da caduta, affiorante nella porzione messa in posto in ambiente subaereo. Questo è sormontato da due spesse sequenze di piroclastiti da flusso separate da sedimenti marini che testimoniano una pausa nell'attività, affioranti nella porzione messa in posto in ambiente subacqueo. Alla fine dell'eruzione il fondo della caldera era a 70-120 m di profondità, e sul Tufo Verde del Monte Epomeo si depositarono sedimenti marini [17]. Successivamente, un fenomeno di risorgenza ha interessato il settore crostale collassato durante l'evoluzione della caldera, principalmente la sua porzione centrale, determinandone lo smembramento in una serie di blocchi dislocati in maniera differenziale, il principale dei quali è il blocco del Monte Epomeo (Figure 2 e 4) [3].

Dopo l'eruzione del Tufo Verde del Monte Epomeo, fino a circa 33.000 anni fa, il vulcanismo proseguì con una serie di eruzioni esplosive magmatiche e freatomagmatiche, alimentate da magmi di composizione prevalentemente trachitica e subordinatamente latitica, i cui depositi sono esposti lungo le scarpate tra Sant'Angelo e Punta Imperatore, a

Citara e a Monte Vico (Figure 4 e 5). Dopo una pausa di alcune migliaia di anni, l'eruzione di magma poco evoluto di Grotta di Terra, avvenuta circa 28.000 anni fa lungo l'attuale costa sud-orientale, segnò la ripresa dell'attività eruttiva (Figure 4 e 5). Il condotto di alimentazione di questa eruzione è ben visibile a Grotta del Mago, lungo la falesia del promontorio di Grotta di Terra (Figura 7). Questa attività continuò sporadicamente fino a 18.000 anni fa, con eruzioni effusive ed esplosive di magma trachitico, che produssero colate laviche, coni di tufo e depositi piroclastici. Le rocce appartenenti a questo periodo di attività sono ben esposte a Grotta del Mavone, a Monte Vezzi, nell'area di Sant'Anna e Carta Romana, a Monte Cotto e tra Punta Imperatore e Sant'Angelo (Figure 4 e 5).

Intorno a 10.000 anni fa, dopo una quiescenza di circa 8.000 anni, l'attività vulcanica riprese con le eruzioni effusive di Monte Trippodi, Selva del Napolitano e Cannavale, e ha prodotto 46 eruzioni fino a quella dell'Arso del 1302, l'ulti-

mo evento sull'isola (Figure 4 e 5). Negli ultimi 10.000 anni, periodi di intenso vulcanismo si sono alternati a periodi di quiescenza (Figura 5). L'attività vulcanica si è concentrata intorno a 10.000 e 5.000 anni fa, e fra circa 3.000 anni fa e il 1302. Le eruzioni, alimentate da magmi di composizione variabile da latitica a fonolitica, sono state effusive ed esplosive, hanno prodotto colate di lava e depositi piroclastici da caduta e da flusso, e hanno formato vari tipi di edifici vulcanici quali duomi lavici, coni di pomici, coni di scorie e coni di tufo. Esse sono state separate da periodi di quiescenza che, talora, hanno avuto durata di oltre un secolo. L'eruzione dell'Arso, ad esempio, avvenne dopo un tale periodo di quiescenza. La maggior parte dei centri eruttivi (Figura 4) è situata nella depressione morfologica a est del Monte Epomeo, in particolare, nell'area immediatamente a ridosso dei suoi versanti (Selva del Napolitano, Monte Trippodi, Costa Sparaina, Posta Lubrano, Monte Rotaro, Fondo d'Oglio e Montagnone), lungo la costa settentrionale (Punta La

Figura 7. Vista di Grotta del Mago alla base del versante sud-orientale del promontorio di Grotta di Terra che mostra la struttura del vulcano di Grotta di Terra le cui rocce sono di colore scuro. Si distinguono chiaramente il condotto di alimentazione, in corrispondenza della Grotta del Mago, e i depositi di scorie che mantellano rocce precedenti (Foto G. Orsi).



Scrofa, Cafieri, S. Alessandro), e al piede del versante settentrionale dell'allineamento di alti morfologici Monte Cotto-Monte Vezzi (Vateliero, Cava Nocelle, Molaro, Arso e Fondo Bosso). Al di fuori di quest'area sono stati attivi solo pochi centri, quali quello situato a mare in corrispondenza della Secca d'Ischia, a sud-est dell'isola, e quelli di Zaro e di Punta Chiarito. L'evento di più alta magnitudo è stato quello che circa 1.860 anni fa ha prodotto l'eruzione esplosiva di Cretaio, alimentata da magma trachitico [4]. Esso fu dominato da esplosioni magmatiche che produssero depositi da caduta, e una sola fase freatomagmatica con generazione di correnti piroclastiche diluite e turbolente.

L'ultima eruzione, avvenuta nel 1302 nell'area dell'Arso (Figura 4), durò circa due mesi e fu caratterizzata da fasi esplosive di bassa energia e da fasi effusive [14, 18]. Le prime produssero depositi da caduta nell'area circostante il cratere, mentre le seconde generarono colate di lava complessivamente lunghe 2,7 km e larghe fino a 1 km, che raggiunsero il mare nell'area di Punta Molina, poco a est del cratere in cui oggi è ubicato il porto di Ischia. Essa provocò la morte di uomini e animali, e l'inaridimento dei suoli. Molte persone fuggirono e si rifugiarono a Baia, Pozzuoli, Napoli e nelle isole di Procida e Capri (Figura 1).

Il sistema vulcanico di Ischia è legato a un complesso reticolo di strutture tettoniche e vulcano-tettoniche. Esso è ubicato all'intersezione di due sistemi di faglie regionali a direzione NE-SO e NO-SE, il primo dei quali interessa anche Procida e i Campi Flegrei [9]. La deformazione legata alla risorgenza è condizionata dalla parziale riattivazione delle stesse strutture e di faglie a direzione intorno N-S ed E-O che determinano la forma poligonale del blocco risorgente del Monte Epomeo. Dati geologici e petrologici suggeriscono che la risorgenza

è attiva almeno da circa 28.000 anni fa, quando un nuovo magma meno evoluto e quindi più caldo, si intruse nel sistema magmatico e una sua porzione alimentò l'eruzione di Grotta di Terra. Questa intrusione di magma è stata considerata la causa che determinò l'aumento di pressione nel sistema, che a sua volta innescò la risorgenza della caldera [3]. La dinamica della deformazione, che ha determinato il sollevamento del blocco del Monte Epomeo per circa 900 m, ha determinato le condizioni per la risalita dei magmi soprattutto nel settore orientale dell'isola, e, di conseguenza, la concentrazione dei centri eruttivi degli ultimi 10.000 anni quasi esclusivamente in questo settore.

Sull'isola vi sono numerose fumarole (Figura 4) e oltre 100 sorgenti termali che costituiscono un ricchissimo patrimonio idrotermale e di cui si conoscono le proprietà terapeutiche fin dall'antichità. Dalle sorgenti idrotermali, distribuite sia a mare che su tutta l'isola, sgorgano acque minerali, a temperatura generalmente superiore a 30°C e fino a 85°C. Molte delle acque sorgive sono radioattive per la presenza di radon. Le manifestazioni superficiali sono alimentate da acque meteoriche e marine, e da fluidi termali derivanti da due serbatoi idrotermali distinti e sovrapposti in cui arrivano gas profondi di probabile origine magmatica [19]. Molte fumarole e sorgenti sono sfruttate commercialmente per attività quali fangoterapia, balneoterapia, arenoterapia, inalazioni, stufe e irrigazione, e pertanto alimentano la fiorente economia locale basata sul turismo termale.

Ischia è stata sede di attività sismica fin dall'antichità come riportato da fonti storiche. Il più grosso terremoto prodotto negli ultimi secoli è quello di Casamicciola del 1882 [20] generatosi lungo le faglie che bordano a N il blocco risorgente del Monte Epomeo. Attualmente la sismicità consiste in sporadici eventi

di bassa magnitudo localizzati a piccola profondità nel settore settentrionale dell'isola [21].

Larga parte del territorio ischitano è interessata anche da fenomeni franosi che avvengono come risposta superficiale a uno stato di disequilibrio gravitativo innescato da deformazioni profonde [22, 23]. Movimenti gravitativi superficiali hanno determinato l'arrivo in mare di masse rocciose anche di notevoli dimensioni [24]. Tali eventi potrebbero innescare onde di tsunami che interesserebbero anche la prospiciente costa campana.

Dall'ultima eruzione il sistema magmatico dell'isola ha continuato a manifestare il suo persistente stato di attività attraverso la sismicità e le diffuse manifestazioni fumaroliche e idrotermali. Pertanto, essendo ancora attivo, il sistema è potenzialmente in grado di dare eruzioni in futuro. Considerando l'intensa urbanizzazione dell'isola, si deduce che anche il rischio vulcanico e quelli direttamente o indirettamente legati al magmatismo e al vulcanismo, sono elevati.

Gli ultimi 10.000 anni della storia vulcanica e deformativa di Ischia possono essere considerati come l'intervallo temporale di riferimento per la definizione dello stato attuale del sistema, e quindi anche per la valutazione della pericolosità vulcanica e di quella derivante da altri fenomeni a essa connessi. Ciò in quanto 10.000 anni fa il vulcanismo riprese dopo un periodo di 8.000 anni di quiescenza e con la stragrande maggioranza dei centri eruttivi ubicata in una diversa posizione strutturale rispetto a quelli dell'attività precedente. Tale posizione è stata condizionata dalla dinamica della risorgenza della caldera del Tufo Verde del Monte Epomeo. Negli ultimi 10.000 anni sono state riconosciute 46 unità vulcaniche, prodotte da eruzioni sia effusive che esplosive, magmatiche e freatomagmatiche. Le esplosioni magma-

tiche hanno avuto carattere variabile da stromboliano a stromboliano-violento e solo raramente hanno generato colonne eruttive instabili di tipo sub-pliniano che spesso sono collassate e hanno prodotto piccoli flussi piroclastici. Esplosioni freatomagmatiche hanno prodotto correnti piroclastiche di densità che solo in un caso, hanno sormontato significative barriere topografiche. Non è stata trovata alcuna relazione tra durata di un periodo di quiescenza e tipo e dimensione dell'eruzione che lo conclude; le eruzioni di più alta magnitudo non sono state precedute dai periodi di riposo più lunghi. Di conseguenza, la futura eruzione potrebbe essere sia effusiva che esplosiva e potrebbe avvenire con più alta probabilità nel settore orientale dell'isola. Un evento effusivo potrebbe produrre un duomo o una colata lavica, mentre un evento esplosivo potrebbe generare sia caduta di particelle che correnti piroclastiche.

Bibliografia

1. Rittman A., Gottini V. (1980) "L'isola d'Ischia". *Geologia. Boll. Serv. Geol. d'Italia*, 101:131-274.
2. Vezzoli L. (1988) "Island of Ischia". *Quad. La Ricerca Scientifica, Cons. Naz. Ric.*, 114(10), 122 pp.
3. Orsi G., Gallo G., Zanchi A. (1991) "Simple-shearing block resurgence in caldera depressions. A model from Pantelleria and Ischia". *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 47:1-11.
4. Orsi G., Gallo G., Heiken G., Wohletz K., Yu E., Bonani G. (1992) "A comprehensive study of the pumice formation and dispersal: The Cretaio Tephra of Ischia (Italy)". *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 53:329-354.
5. Acocella V., Funicello R. (1999) "The interaction between regional and local tectonics during resurgent doming: The case of the island of Ischia, Italy". *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 88:109-123.
6. Brown R.J., Orsi G., de Vita S. (2008) "New insights into Late Pleistocene explosive volcanic activity and caldera formation on Ischia (southern Italy)". *Bull. Volcanol.*, 70:583-603.
7. de Vita S., Sansivero F., Orsi G., Marotta E., Piochi M. (2010) "Volcanological and structural evolution of the Ischia resurgent caldera (Italy) over the past 10 k.y.". In: Groppelli G., Viereck-

- Goette L. (Eds.), "Stratigraphy and Geology of Volcanic Areas". *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 464:193-241.
8. Civetta L., Gallo G., Orsi G. (1991) "Sr-and Nd-isotope and trace-element constraints on the chemical evolution of the magmatic system of Ischia (Italy) in the last 55 ka". *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 46:213-230.
 9. Moretti R., Arienzo I., Orsi G., Civetta L., D'Antonio M. (2013) "The deep plumbing system of Ischia: a physico-chemical window on the fluid-saturated and CO₂-sustained Neapolitan volcanism (southern Italy)". *J. Petrol.*, 54:951-984.
 10. D'Antonio M., Tonarini S., Arienzo I., Civetta L., Dallai L., Moretti R., Orsi G., Andria M., Treccalli A. (2013) "Mantle and crustal processes in the magmatism of the Campania region: inferences from mineralogy, geochemistry, and Sr-Nd-O isotopes of young hybrid volcanics of the Ischia island (South Italy)". *Contrib. Mineral. Petrol.*, 165:1173-1194.
 11. Brown R.J., Civetta L., Arienzo I., D'Antonio M., Moretti R., Orsi G., Tomlinson E.L., Albert P.G., Menzies M.A. (2014) "Geochemical and isotopic insights into the assembly, evolution and disruption of a magmatic plumbing system before and after a cataclysmic caldera-collapse eruption at Ischia volcano (Italy)". *Contrib. Mineral. Petrol.*, 168:1-23.
 12. Orsi G., Piochi M., Campajola L., D'Onofrio A., Gialanella L., Terrasi F. (1996) "¹⁴C geochronological constraints for the volcanic history of the island of Ischia (Italy) over the last 5000 years". *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 71:249-257.
 13. Civetta L., De Vivo A., Orsi G., Polara G. (1999) "Il vulcanismo a Ischia in età greco-romana secondo le evidenze geologiche e le testimonianze storico-letterarie". *Vichiana: Rass. Stu. Filolog. Stor.*, 4a serie, Anno I, 1:15-32.
 14. Buchner G. (1986) "Eruzioni vulcaniche e fenomeni vulcano-tettonici di età preistorica e storica nell'Isola d'Ischia". In: Albore Livadie C. (Edit.), « Eruptions volcaniques, tremblements de terre et vie des hommes dans la Campanie antique ». *Pubbl. Centre Jean Bérard Naples*, II, VII:145-188.
 15. Gialanella C. (1994) "Pithecosa: Gli insediamenti di Punta Chiarito. Relazione preliminare". *Ann. Archeol. Storia Ant.*, 1:169-204.
 16. Rosi M., Sbrana A., Vezzoli L. (1988) "Correlazioni tefrostratigrafiche di alcuni livelli di Ischia, Procida e Campi Flegrei". *Mem. Soc. Geol. It.*, 41:1015-1027.
 17. Barra D., Cinque A., Italiano A., Scorziello R. (1992) "Il Pleistocene superiore marino di Ischia: paleoecologia e rapporti con l'evoluzione tettonica recente". *Studi Geol. Camerti*, 1:231-243.
 18. Chiesa S., Poli S., Vezzoli L. (1986) "Studio dell'ultima eruzione storica dell'isola di Ischia". *Boll. Gr. Naz. Vulcanol.*, CNR, 1:153-166.
 19. Di Napoli R., Aiuppa A., Bellomo S., Busca L., D'Alessandro W., Gagliano Candela E., Longo M., Pecoraino G., Valenza M. (2009) "A model for Ischia hydrothermal system: Evidences from the chemistry of thermal groundwaters". *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 186:133-159.
 20. Carlino S., Cubellis E., Marturano A. (2010) "The catastrophic 1883 earthquake at the island of Ischia (southern Italy): macroseismic data and the role of geological conditions". *Nat. Hazards*, 52:231-247.
 21. <http://www.ov.ingv.it/ov/it/bollettini/275.html>.
 22. de Vita S., Sansivero F., Orsi G., Marotta E. (2006) "Cyclical slope instability and volcanism related to volcano-tectonism in resurgent calderas: The Ischia island (Italy) case study". *Engin. Geol.*, 86:148-165.
 23. Della Seta M., Marotta E., Orsi G., De Vita S., Sansivero F., Fredi P. (2012) "Slope instability induced by volcano-tectonics as an additional source of hazard in active volcanic areas: the case of Ischia island (Italy)". *Bull. Volcanol.*, 74:79-106.
 24. de Alteriis G., Insinga D.D., Morabito S., Morra V., Chiocci F.L., Terrasi F., Lubritto C., Di Benedetto C., Pazzanese M. (2010) "Age of submarine debris avalanches and tephrostratigraphy offshore Ischia Island, Tyrrhenian Sea, Italy". *Mar. Geol.*, 278(1-4):1-18.

Storia vulcanica e rischi geologici

Giuseppe Luongo

Ischia è un campo vulcanico formatosi in seguito a numerose eruzioni effusive ed esplosive che hanno generato lava e rocce piroclastiche, sciolte e rinsaldate. L'isola è caratterizzata da attività sismica superficiale, di moderata energia ma di elevata intensità. Il susseguirsi di vari strati di roccia caratterizzati da diversa permeabilità favorisce, durante le forti piogge, la formazione di flussi ad alta energia cinetica che possono produrre frane e colate rapide di fango con effetti devastanti. Eruzioni, terremoti e alluvioni verificatisi nell'isola di Ischia, hanno prodotto una vasta letteratura. Inoltre relativamente al vulcanismo, ai fenomeni sismici, tsunami, alluvioni, si sono sviluppati miti, leggende, documenti storici, ritrovamenti archeologici.

Descrizioni documentate di eventi eruttivi storici sono disponibili solo per l'ultima eruzione del 1301-1302, mentre sono segnalati eventi eruttivi nei primi secoli dell'età Cristiana. Informazioni più complete sono disponibili per la sismicità storica, a partire dal terremoto del 1228 [1, 2]. Le informazioni riguardanti i disastri idrogeologici dell'isola cominciano a partire dal XVI secolo, quando una considerevole alluvione colpì l'isola. La storia vulcanica e sismica dell'isola di Ischia, così come la sua orografia, morfologia e instabilità dei versanti, caratterizzano quest'area come un territorio ad alto rischio geologico.

Eruzioni e rischio vulcanico

L'isola di Ischia è formata da rocce generate da centri eruttivi in gran parte distrutti o coperti da attività successive. Le rocce più antiche vengono datate circa 150.000 anni, mentre l'eruzione più recente è avvenuta nel 1301-1302 [3, 4] (Figura 1). La parte centrale dell'isola è costituita dalla struttura del Monte Epomeo, il cui sollevamento è correlato alla ripresa dell'attività della caldera, approssimativamente $10 \times 7 \text{ km}^2$ [5-7] formata dopo un'eruzione esplosiva (55.000 anni fa) che depositò il Tufo Verde del Monte Epomeo.

I margini del Monte Epomeo sono segnati da sistemi di faglie e fratture NW-SE, NE-SW e N-S, significative dal punto di vista strutturale, mentre il suo innalzamento (circa 800 m) è probabilmente avvenuto a scatti come può in parte dedursi dai terrazzi marini (Figura 2). La risorgenza della parte centrale dell'isola è stata interpretata come dovuta ad un incremento della pressione nella parte superiore di una camera magmatica superficiale.

Durante il processo di risorgenza il blocco del Monte Epomeo ha subito episodi di smantellamento attribuiti a flussi di detriti e crolli, come dimostrato dallo studio dei depositi sub-aerei e sommersi nel mare a sud dell'isola e dalla forma a ferro di cavallo del settore meridionale dell'Epomeo [8-10].

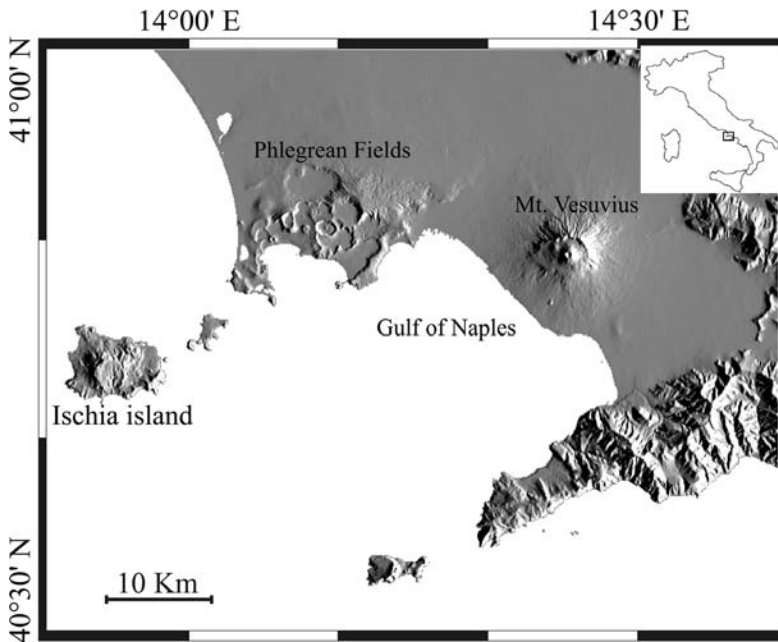
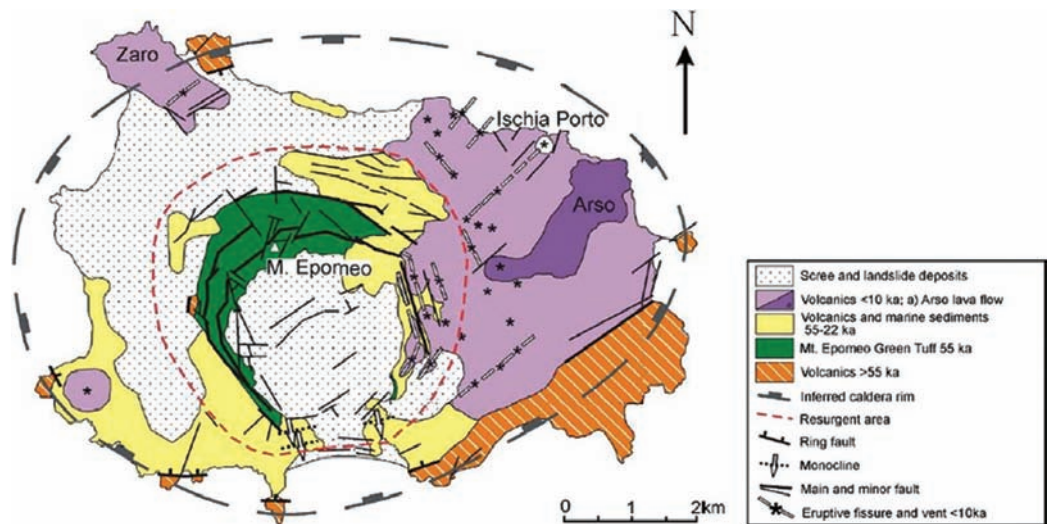


Figura 1. L'isola di Ischia e il Golfo di Napoli (DTM Osservatorio Vesuviano-INGV).

Figura 2. Principali caratteristiche strutturali e vulcaniche della caldera di Ischia che mostrano la risorgenza della struttura del Monte Epomeo e la localizzazione dei centri eruttivi < 10 ka [7, modificato].



Il parziale collasso del Monte Epomeo produsse una caldera con un diametro di circa 4 km lungo l'asse NE-SW (Figura 3). Lo stato attuale dell'isola è caratterizzato dalla stasi della risorgenza e dalla mancanza di attività eruttiva e sismica che riduce la possibilità di ulteriori collassi del Monte Epomeo. Una riattivazione o un incremento del corpo magmatico

superficiale, dovuto all'arrivo di nuovo magma, potrebbe generare intensi episodi di instabilità gravitazionale.

La storia eruttiva di Ischia, successivamente all'eruzione del Tufo Verde (circa 55.000 anni fa), viene divisa in tre periodi: 43-33.000 anni fa; 29-18.000 anni fa; 10.000 anni fa fino al 1302. È ragionevole supporre che il sollevamento del Monte Epomeo sia stato graduale, durante i periodi di quiescenza, cioè 55-43.000 anni fa, 33-29.000 anni fa, 18-10.000 anni fa. Secondo quest'ipotesi il tasso di risorgenza sarebbe di circa 3,3 cm a⁻¹.

Considerando i dati disponibili riguardo le deformazioni del suolo e la storia eruttiva e sismica, si ipotizza il seguente scenario sulla dinamica dell'isola:

1. il sollevamento è accompagnato da una sismicità da moderata a intensa, seguita da attività eruttiva durante la quale l'innalzamento si arresta;
2. la subsidenza si sviluppa senza attività sismica e vulcanica.

L'analisi compiuta sulla storia eruttiva, sismicità, deformazione del suolo, strutture geologiche e dinamica dell'isola con-

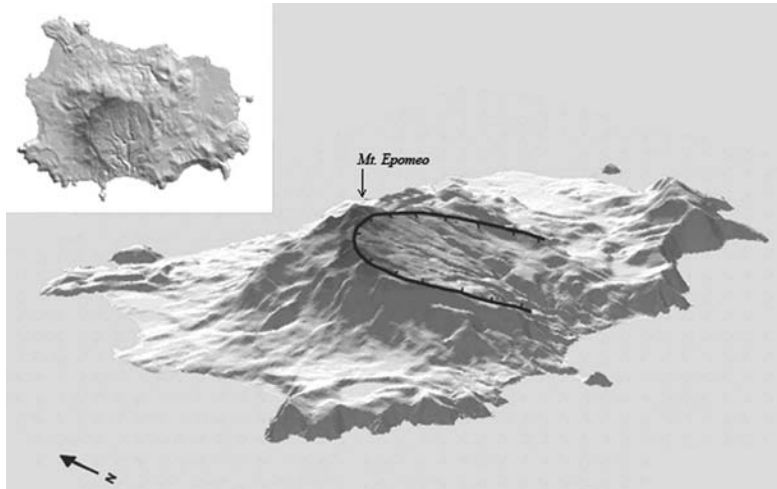


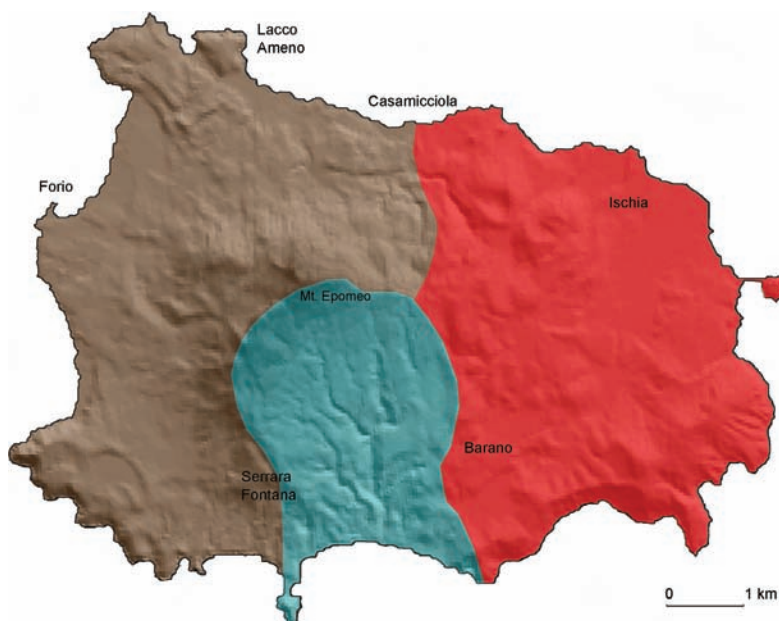
Figura 3. DTM dell'isola di Ischia (Compagnia Generale Riprese aeree – Programma IT 2000). Si noti la struttura del monte Epomeo con il bordo dell'area collassata (linea intera) [8].

sente di proporre la zonazione della pericolosità vulcanica di Ischia (Figura 4).

Terremoti e rischio sismico

La storia sismica dell'isola, che ha inizio nel 1228, mostra le peculiarità della sismicità nelle aree vulcaniche, quale la bassa energia generata dai terremoti e la loro forte intensità [1, 8].

Negli ultimi otto secoli è fatta menzione di molti eventi con epicentro nella parte

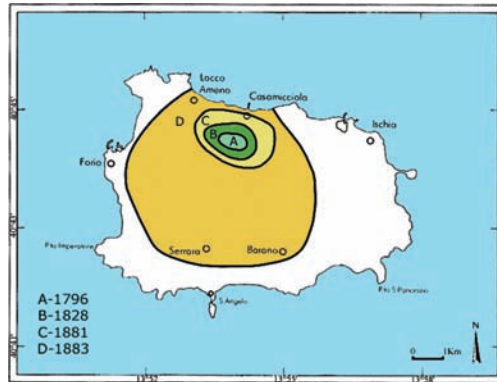


settentrionale dell'isola e intensità superiore al VII grado MCS (Scala Mercalli-Cancani-Sieberg, 1930) (Figura 5). Poiché si osserva che l'intensità diminuisce rapidamente dall'epicentro, il limite della zonazione della pericolosità sismica necessiterà di essere identificato con la maggior accuratezza possibile affinché si ottenga un valutazione affidabile del rischio. L'analisi degli effetti dei terremoti e delle strutture geologiche consente di risalire al campo di stress che genera i terremoti. Nelle zone vulcaniche quest'obiettivo è più difficile da perseguire dal momento che oltre al campo di stress che agisce a livello regionale, c'è quello generato dalla migrazione delle masse magmatiche verso la superficie e, per di più, le proprietà reologiche delle rocce sono condizionate dagli alti gradienti geotermici. Per valutare il livello di rischio di Ischia, associato ad un nuovo evento sismico prodotto da una ripresa della dinamica dell'isola, sarà necessario tener conto che l'isola è un grande centro turistico soprattutto in estate, quando si registra un incremento del valore esposto.

Il terremoto del 1883 è l'evento sismico più intenso che si sia verificato ad Ischia in tempi storici ed è il più ampiamente documentato sia in letteratura che nelle fonti non pubblicate (Archivio di Stato di Napoli). L'evento causò 2.333 morti e la distruzione del patrimonio storico e di quello ambientale di alcune aree dell'isola; i danni più ingenti si verificarono a

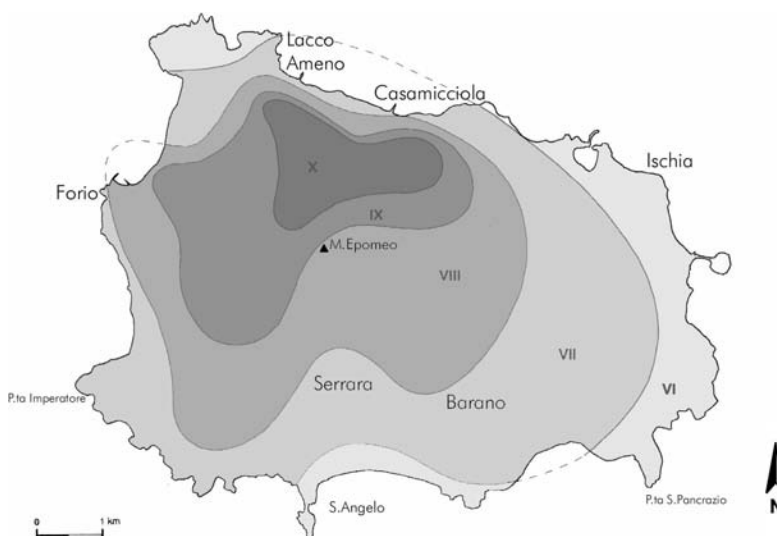
Figura 4. Mappa della zonazione della pericolosità vulcanica di Ischia per eventi futuri nell'isola. Tre aree sono indicate con diversa pericolosità: Area con la più alta probabilità di apertura di bocche eruttive (settore orientale dell'isola); Area esposta a corrente piroclastica densa (PDC) per grandi eventi (Volcanic Explosive Index - VEI ≥ 4) (settore settentrionale e settore occidentale dell'isola); Area esposta a collassi vulcano tettonici (settore meridionale dell'isola) [5].

Figura 5. Aree danneggiate dai principali terremoti nell'isola di Ischia, a partire dal 1796. I più forti danneggiamenti sono localizzati nella parte settentrionale dell'isola [1, 2].



Casamicciola (Figura 6). Questo evento è stata la prima catastrofe dall'Unità d'Italia ($I_{max} = XI$ grado MCS) e rappresenta un riferimento per la prevenzione delle catastrofi naturali; fu infatti dopo questo avvenimento che fu varata la prima Legge sulla Sicurezza Sismica in Italia, grazie alla quale furono identificate le zone a più basso rischio per gli insediamenti [11]. Dopo questo terremoto si registra un periodo di quiescenza sismica, a parte alcuni eventi isolati e di bassa energia avvertiti all'inizio del secolo scorso e sporadiche micro scosse registrate nei passati 20 anni nella parte settentrionale dell'isola [12, 13].

Figura 6. Mappa delle isosisme (Scala MCS) del terremoto di Casamicciola del 28 luglio 1883 [1, 15].



costruzione dettagliata dei suoi effetti su 3.917 edifici in 249 siti dell'isola. Per ciascun edificio, furono definiti: la posizione, la tipologia, la destinazione d'uso e il danno subito da ogni singola stanza e dall'intera struttura. Il dettaglio relativo al danno ha permesso di definire il processo di propagazione dell'energia sismica e il contributo delle strutture geologiche all'intensità sismica.

I dati disponibili relativi al terremoto del 28 luglio 1883 e la sismicità storica dell'isola sono stati gestiti dal GIS progettato per definire la pericolosità sismica [2, 14]. I siti danneggiati sono collocati principalmente nelle aree caratterizzate da depositi rimaneggiati di Tufo Verde, prodotti dal parziale smantellamento del Monte Epomeo. Si è altresì rilevato una rapida diminuzione dell'intensità verso la zona costiera di Casamicciola unitamente a una forte attenuazione nella parte orientale dell'isola, in corrispondenza delle aree di più recente attività vulcanica (ultimi 10.000 anni), e un minor danno nella zona delle colate di Zaro, nel settore nord-orientale. Inoltre i siti danneggiati sono distribuiti lungo la fascia delle faglie e delle fratture che delimitano la parte settentrionale e la parte occidentale del massiccio del Monte Epomeo.

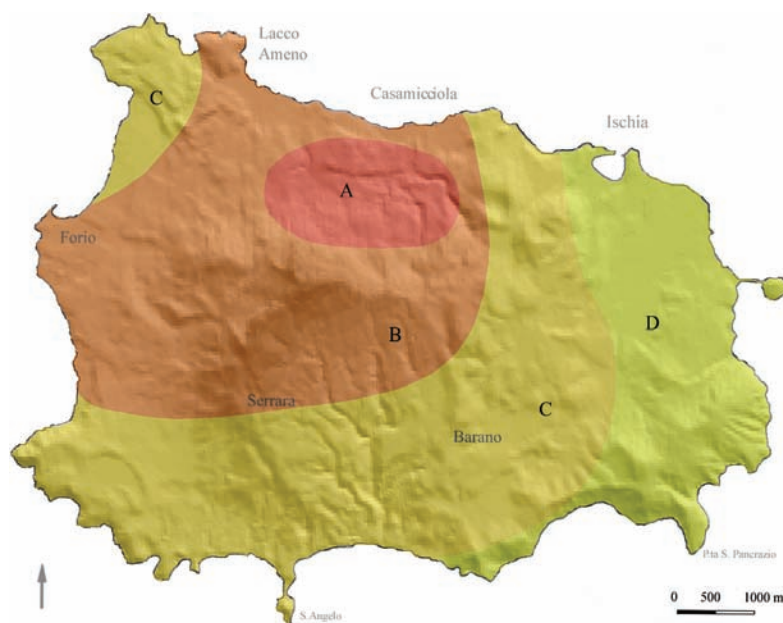
La complessa morfologia del territorio può contribuire all'incremento degli effetti di un futuro terremoto a Casamicciola, Lacco Ameno e Forio, dove i danni del terremoto del 1883 furono ingenti nelle zone caratterizzate da profonde incisioni del suolo o da forti variazioni di pendenza e dove furono osservati depositi di numerose frane.

I dati storici consentono di identificare il versante settentrionale del Monte Epomeo come l'area con la maggiore densità di epicentri, mentre l'analisi degli effetti del terremoto e la tettonica permettono di valutare il campo di stress che ha generato i terremoti. Gli unici parametri focali disponibili, ottenuti utilizzando dati ma-

crosismici, sono quelli relativi all'evento sismico del 1883: la sorgente sismica è una faglia diretta con elevato angolo di immersione verso sud, direzione E-W e profondità 1-2 km. La magnitudo è stata calcolata utilizzando le relazioni tra intensità-magnitudo e area di avvertibilità; il suo valore è tra 4,3 e 5,2 [1, 8, 15].

Il confronto tra la distribuzione del danno prodotto dal terremoto del 1883 e l'attuale sviluppo urbano dell'isola consente una valutazione del livello di rischio e della sua zonazione. Utilizzando questi dati si ottiene una rappresentazione sufficientemente completa per definire il *Danno Atteso* (DA) nell'area, nel caso di un evento sismico futuro con ipocentro localizzato nel settore settentrionale dell'isola [2, 5, 15]. La mappa ottenuta (Figura 7) identifica quattro aree (A, B, C, D) con un decrescente livello di scuotimento e quindi di danno atteso: A = alto; B = medio-alto; C = medio; D = basso. I vincoli per una classificazione quantitativa sono forniti dall'evento del 1883 (A = collasso e/o distruzione di più del 75% degli edifici; B = collasso e/o distruzione di circa il 50% degli edifici; C = collasso e seri danni nel 25% degli edifici; D = crepe diffuse).

Figura 7. Mappa del danno atteso nell'isola per un terremoto localizzato nel settore settentrionale con energia comparabile all'evento sismico del 1883. Sono identificate quattro zone – A, B, C, D – in ordine decrescente di danno [2, 15].



Rischio idrogeologico

Le informazioni storiche relative alle alluvioni sono in generale scarse. Dati più affidabili sono disponibili a partire dal XVI secolo. Un evento disastroso è avvenuto nel 1910 (24 ottobre); fu scatenato da una elevata instabilità atmosferica dovuta alla presenza di aria fredda ad alte altitudini [16-20]. Al giorno d'oggi un evento del genere può essere previsto grazie ad osservazioni satellitari, all'utilizzo di radar meteorologici e reti di monitoraggio purché sia noto il comportamento del suolo rispetto alle intense precipitazioni.

Tra il 23 e il 24 ottobre del 1910, un violento temporale colpì il Golfo di Napoli causando numerose vittime, ingenti danni agli edifici e alle attività produttive e modificazioni all'ambiente. Le aree colpite furono l'isola di Ischia, Napoli, i paesi dell'area vesuviana, la Penisola sorrentina e la Costiera amalfitana. Negli anni successivi un attento studio sul regime pluviometrico dell'isola d'Ischia ha consentito di zonare il territorio in base alle intensità delle precipitazioni; il valore più intenso (circa 1.000 mm/annui) è localizzato nel settore nord orientale [18] (Figura 8). Il nubifragio del 1910 sull'isola di Ischia produsse un disastro lungo il versante settentrionale del Monte Epomeo. Tale risultato è registrato dalle morfologie lobate dei flussi, dalla presenza di un bacino idrografico torrentizio ben sviluppato con profondi solchi nel terreno, dai numerosi massi di tufo verde collassati dal Monte Epomeo e una diffusa instabilità del suolo che produce flussi di detriti [19-20]. Numerose alluvioni e frane sono state registrate nella storia dell'isola; la frana più significativa è stata registrata il 30 aprile 2006 al Monte Vezi (settore sud orientale di Ischia) che causò 4 vittime. Il quadro che emerge dall'analisi dei dati raccolti e dalle varie fonti esaminate evidenzia l'elevata intensità dell'alluvio-

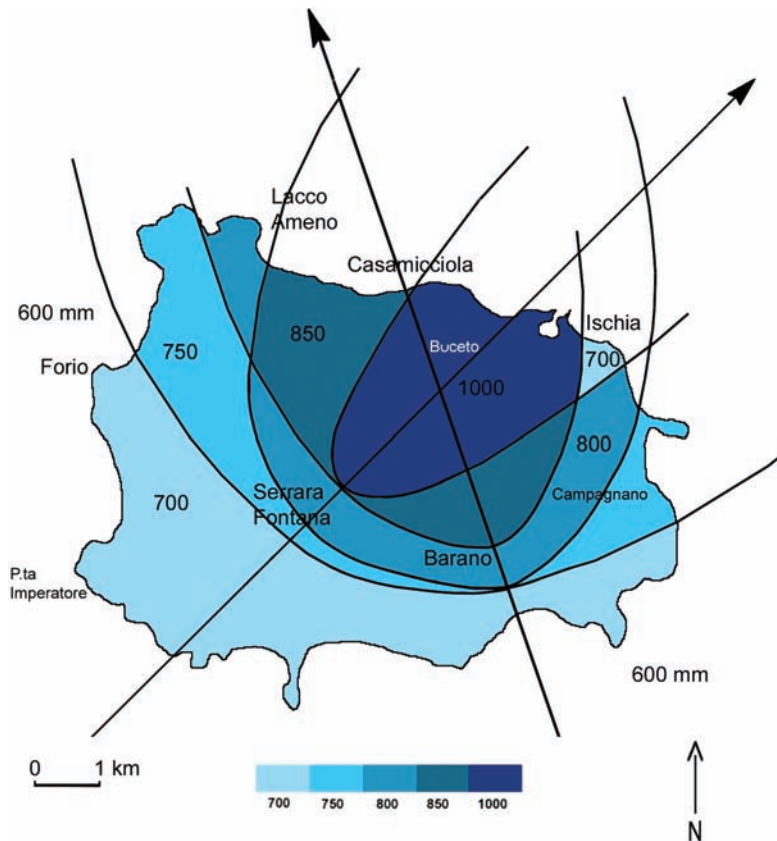


Figura 8. Mappa delle isoiete di Ischia. Le isoiete delineano diversi tassi di piovosità (mm y^{-1}). Le piogge più intense si verificano nel settore nord-orientale dell'isola (modificato da [18]).

ne del 24 ottobre 1910, mai registrata nell'isola in tempi storici. Le condizioni meteorologiche per la formazione di un tale evento sono le temperature del suolo relativamente elevate che generano un riscaldamento dell'atmosfera, un graduale incremento dei fenomeni convettivi e infine un forte decremento della pressione in superficie. Il nubifragio inizia a scemare in intensità quando il contributo dell'energia liberata dalla superficie terrestre diventa trascurabile. Lo stesso scenario meteorologico si è osservato per la frana del Monte Vezi del 30 aprile 2006 come può dedursi dalle carte del tempo al suolo e dalle mappe del geopotenziale di 500 hPa che evidenziano come il Mar Tirreno Meridionale fosse interessato da fenomeni compatibili con lo sviluppo di intensi processi convettivi sull'isola di Ischia. Congiuntamente alle tecniche di monitoraggio meteorologico dallo spazio, l'installazione

di una rete di stazioni di monitoraggio sull'isola di Ischia risulta indispensabile per registrare questi fenomeni turbolenti che possano interessare quest'area [17, 21]. Una tale rete può contribuire a rendere sempre più efficace ed efficiente, ad una scala dettagliata, i risultati ottenuti dall'uso di algoritmi matematici per la fisica dell'atmosfera. Dall'analisi del *Digital Terrain Model* (DTM) e lo studio delle classi di pendenza del suolo, unitamente ai dati storici, è stata prodotta la mappa della zonazione delle alluvioni (Figura 9). Questa evidenza che le principali zone generatrici di colate di fango sono localizzate nell'area del Monte Epomeo e che i principali flussi interessano in gran parte i versanti settentrionali e meridionali del Monte Epomeo.

Bibliografia

1. Cubellis E., Luongo G. (1998) *Il terremoto di Casamicciola del 28 luglio 1883. Il contesto fisico*, Monografia n. 1, Presidenza Consiglio dei Ministri, SSN, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, pp. 49-123.
2. Cubellis E., Carlino S., Iannuzzi R., Luongo G., Obrizzo F. (2004) "Management of Historical Seismic Data Using GIS: The Island of Ischia (Southern Italy)", *Nat. Hazard* 33, 379-393.
3. Vezzoli L. (a cura di) (1988), "Island of Ischia", *Quaderni de "La ricerca Scientifica"*, CNR, 114, Vol. 10.
4. Sbrana A., Toccaceli R.M. (a cura di) (2011) *Isola d'Ischia.*, Foglio 464 Carta Geologica della Regione Campania, Progetto CARG, scala 1:10.000. Litografia artistica Cartografica, Firenze.
5. Luongo G. (2014). *Elementi salienti su sismicità, storia vulcanica e alluvioni dell'isola d'Ischia per un modello concettuale di rischio geologico*. In: *Ischia, patrimonio dell'umanità*, U. Leone, P. Greco (a cura di) Doppia voce, Napoli, pp. 35-50. ISBN 978-88-89972-44-1
6. Orsi G., Gallo G., Zanchi A. (1991) "Simple-shearing block resurgence in caldera depressions. A model from Pantelleria and Ischia", *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 47, 1-11.
7. Vezzoli L., Principe C., Malfatti J., Arrighi S., Tanguy J.C., Le Goff M. (2009) "Modes and times of caldera resurgence: The < 10 ka evolution of Ischia Caldera, Italy, from high-precision archaeomagnetic dating", *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 186, 305-319.

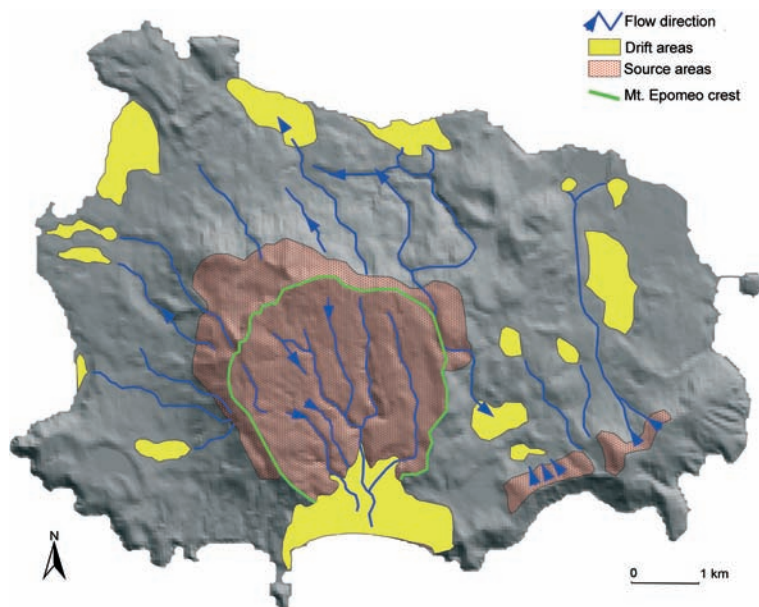


Figura 9. Mappa della zonazione delle alluvioni dell'isola. Le aree in giallo rappresentano le zone di accumulo dei detriti, le linee blu la direzione dei flussi, mentre le aree in rosso punteggiate sono le principali zone generatrici di colate di fango. La mappa viene ottenuta grazie al modello digitale del terreno dell'isola per tre classi di pendenza. Ciò permette di evidenziare sia le zone di scorrimento che quelle di sorgente, mentre le direzioni di flusso sono ottenute dall'analisi della distribuzione dei principali fondo valle. La zonazione è stata conseguita anche grazie all'analisi di dati storici delle principali alluvioni nell'isola a partire dal XVI secolo [5].

8. Carlino S., Cubellis E., Luongo G., Obrizzo F. (2006) "On the mechanics of caldera resurgence of Ischia Island". In: Troise C., De Natale G., Kilburn C.R.J. (Eds.), "Mechanism of Activity and Unrest at Large Calderas", *Geol. Soc. London Special Publication*, 269, 181-193.
9. Tibaldi A., Vezzoli L. (2004) "A new type of volcano flank failure: The resurgent caldera sector collapse, Ischia, Italy", *Geophys. Res. Lett.* 31, L14605, doi:10.1029/2004GL020419.
10. Chiocci F.L., de Alteriis G. (2006) "The Ischia Debris Avalanche: first clear submarine evidence in the Mediterranean of volcanic island prehistorical collapse", *Terra Nova*, 18, 202-209.
11. Luongo G., S. Carlino, E. Cubellis, I. Delizia, F. Obrizzo (2012) *Casamicciola 1883 Il sisma tra interpretazione scientifica e scelte politiche*. Bibliopolis, pp. 282 con XXX tavole a colori f.t. ISBN 978-88-7088-610-8.
12. De Natale G., Pinto S., Troise C., D'Alessandro G., Tammaro U. (1998) "Ischia: seismic surveillance". In: Gasparini P. (Ed.), "Data related to eruptive activity, unrest phenomena and other observations on the Italian active volcanoes. Geophysical monitoring of the Italian active volcanoes 1993-1995", *Acta Vulcanologica* 10 (1), 108-110.
13. Cubellis E., Marturano A. (2009) *Il terremoto del 5 aprile 2008 nell'isola d'Ischia: studio macrosismico*, Open File report n. 1 aprile 2009, <http://www.ov.ingv.it>.
14. Carlino S., Cubellis E., Marturano A. (2009) "The catastrophic 1883 earthquake at the Island of Ischia (southern Italy): macroseismic data and the role of geological conditions", *Natural Hazard*, doi: 10.1007/s11069-009-9367-2.
15. Luongo G., Carlino S., Cubellis E., Delizia I., Iannuzzi R., Obrizzo F. (2006) *Il terremoto di Casamicciola del 1883: una ricostruzione mancata*, Napoli, pp. 64.
16. Cubellis E., Carlino S., Iannuzzi R., Luongo G. (2009) "Eruptions, Earthquakes and flooding damage at Ischia Island", GEOITALIA 2009, VII Forum Italiano di scienze della Terra, Rimini 9-11 settembre 2009. Epitome 3, 461.
17. Cubellis E., Mazzarella A., Scagliola L. (2008) "1910 – L'alluvione nell'isola d'Ischia", *Ambiente Territorio*, 1, 48-53.
18. Mennella C. (1946) *Regime pluviometrico caratteristico dell'isola d'Ischia*. In: *Atti Centro Studi su l'Isola d'Ischia 1944-1970*, 119-213.
19. Del Prete S., Mele R. (2006) "Il contributo delle informazioni storiche per la valutazione della propensione al dissesto nell'isola d'Ischia (Campania)", *Rend. Soc. Geol. It.* 2, 29-47.
20. Guadagno F.M., Mele R. (1995) *Earthquakes induced landslides in the Island of Ischia (Southern Italy)*. In: David H. Bell (Ed.), *Landslide Glissements de terrain, 1951-1956*, A.A. Balkema/Rotterdam/ Brookfield, Proc. Sixth Int. Symposium on the landslides, New Zealand, 10-12 February 1992.
21. Mazzarella A., De Luise E. (2007) "The meteoric event of 30th april 2006 at Ischia Island, Italy", *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 2, 1-8.

Frane sottomarine e tsunami

Stefano Tinti, Filippo Zaniboni, Maria Ausilia Paparo

Frane e tsunami

Imaremoti causati da frane subaeree e/o sottomarine sono circa il 15% del totale secondo il catalogo Global Historical Tsunami Database (GHTD) del NOAA, pubblicamente disponibile all'indirizzo http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml [1]. La grande maggioranza degli tsunami (attorno al 72%) è di origine sismica. Non è una sorpresa quindi che i sistemi d'allarme per maremoti attualmente operativi non si occupino di maremoti generati da frane, ma invece siano stati progettati e realizzati per identificare in tempo reale i terremoti potenzialmente tsunamigenici e per stimare tempi di arrivo ed ampiezza delle possibili onde di maremoto a partire dalla stime di localizzazione ipocentrale e magnitudo. Per completare la statistica, si può osservare che il 5% dei maremoti è determinato dall'attività vulcanica, ed il 3% (i meteotsunami) è dovuto a particolari condizioni meteorologiche. Il catalogo contiene anche parecchi eventi (circa il 10%) di origine sconosciuta. È improbabile che siano stati provocati da un terremoto, in quanto un sisma, anche se sottomarino, difficilmente passa inosservato. Non si può escludere invece che siano stati generati da frane, che, soprattutto se sottomarine, sono per lo più anche oggi difficili da riconoscere, ed a maggior ragione lo erano nel passato. Eccezionale per dimensioni, anche se

non la più grande identificata, è la frana di Storegga, che si è staccata 150 km al largo della costa norvegese più di 8 mila anni fa. Potrebbe trattarsi anche di una sequenza di tre eventi franosi con volume totale di oltre 3.000 km³. Tracce del maremoto di Storegga sono state rinvenute in numerosi luoghi lungo le coste norvegesi e scozzesi ove il sollevamento della costa, dovuto al progressivo smantellamento delle pesanti calotte accumulate durante il periodo glaciale, le ha preservate dall'azione demolitrice della marea. Le stime, corrette per il sollevamento post-glaciale, e confermate dalle simulazioni numeriche, indicano che le onde di tsunami superarono i 10 metri di altezza su tratti di molte decine di chilometri. L'importanza di conoscere le cause che hanno innescato una frana di tale portata, la sua dinamica e di successivi effetti, è principalmente legata alla corretta valutazione della sicurezza delle attività di sfruttamento dei ricchi giacimenti di gas naturale (p.e. Ormen Lange) scoperti già da tempo nel mar di Norvegia [2, 3].

In tempi e luoghi a noi più vicini, un evento che ha avuto conseguenze tragiche in termini di perdita di vite umane è il maremoto di Scilla del 6 febbraio 1783, causato dal distacco di un costone di roccia di alcuni milioni di metri cubi dal Monte Paci, a 1 km circa dalla città sulla costa calabrese. Si era all'inizio di una forte crisi sismica cominciata il giorno prima con un fortissimo terremoto

to e che sarebbe proseguita per parecchi terribili mesi. Per evitare di rimanere sotto i crolli delle case, la maggior parte della popolazione di Scilla, terrorizzata dalle continue scosse, si era rifugiata sulla Marina Grande, un'ampia spiaggia a ovest del centro storico. Durante la notte, la frana precipitò a mare e generò onde di 8-9 metri che travolsero tutti coloro che si erano accampati sulla spiaggia, causando oltre 1.500 morti. Le testimonianze riferiscono di onde molto alte anche a Torre Faro, sulla parte siciliana dello Stretto di Messina (a 15 km di distanza), e in generale di effetti considerevoli per un tratto di costa di circa 40 km. Si tratta del maremoto italiano che ha causato il maggior numero di vittime, dopo lo tsunami associato al terremoto di Messina del 28 dicembre 1908. Simulazioni numeriche della frana e del conseguente maremoto effettuate di recente sono in grado di dare conto delle numerose osservazioni disponibili [4].

Emblematico è il maremoto del 17 luglio 1998 in Papua Nuova Guinea. Dopo un terremoto di magnitudo 7 con epicentro in mare a nord dell'isola, onde alte fino a 15 metri raggiunsero la laguna costiera di Sissano e distrussero 3 villaggi, uccidendo oltre 2000 persone. I primi studi assunsero che la causa dello tsunami fosse il terremoto sottomarino, ma le simulazioni numeriche mostrarono che quel terremoto non poteva generare onde così alte. Campagne batimetriche condotte poco tempo dopo rilevarono al largo una grossa nicchia di distacco a forma di anfiteatro e diedero forza all'ipotesi che la sorgente del maremoto fosse una frana sottomarina attivata dal terremoto stesso. Successivi studi, anche di natura numerica, confermarono la validità dell'ipotesi che ora è largamente accettata in letteratura [5]. Questo cambio di paradigma, con una frana che sostituisce un terremoto come origine dello tsunami, è stato da

allora applicato anche ad altri casi. Fra questi possiamo ricordare i maremoti siciliani dell'11 gennaio 1693 e del 28 dicembre 1908, fra i più grandi che hanno colpito l'Italia, sui quali si è aperto un dibattito non ancora concluso circa la vera sorgente: furono causati solo da un terremoto, oppure solo da frane sottomarine causate dal terremoto, o congiuntamente da terremoto e frane? Proprio il caso del maremoto di Papua Nuova Guinea ha contribuito a fare del ruolo delle frane sottomarine nella genesi degli tsunami un tema di ricerca di grande interesse.

Un caso memorabile è il maremoto del 1958 avvenuto in un bacino costiero semichiuso di forma allungata noto come Baia di Lituya, in Alaska. Qui lo scivolamento di una frana in mare ha sospinto l'acqua a risalire di ben 500 m lungo la sponda opposta distruggendo tutta la vegetazione arborea d'alto fusto. Anche la frana del Vajont (9 ottobre 1963), caduta nell'omonimo invaso artificiale creato per alimentare una centrale idroelettrica, ha generato una colossale ondata che è risalita lungo la sponda opposta per oltre 200 m fino a lambire i paesi di Erto e Casso. Sono questi gli unici casi documentati in cui l'acqua di un bacino è stata sospinta ad altezze così grandi.

I maremoti generati da frane spesso producono effetti rilevanti solo su tratti di costa limitati a qualche decina di km attorno alla zona ove la frana si verifica. Tuttavia, anche se sono fenomeni "locali", possono essere devastanti. Questo è il caso di numerosi eventi avvenuti in Italia. Il più noto è senza dubbio il maremoto di Stromboli del 30 dicembre 2002. Durante un periodo di intensa attività vulcanica, una frana sottomarina e, 7 minuti dopo, una frana subaerea si distaccarono lungo il pendio della Sciara del Fuoco (il versante di NO di Stromboli), provocando onde che raggiunsero i 10 metri nella zona abitata

di Ficogrande, a nord dell'isola, oltre 5 metri in molti altri tratti della costa a nord e ad est, e 2 metri nella vicina isola di Panarea. Fortunatamente non ci furono vittime, perché le coste che in estate sono molto affollate erano quasi deserte, ma i danni alle abitazioni ed alle infrastrutture furono ingenti (vedi [6] per la ricostruzione degli eventi e le testimonianze; [7] per le simulazioni numeriche).

Le onde dei maremoti da frana generalmente sono di periodo molto più breve (circa 1-2 minuti) di quelle prodotte dai terremoti. Quando onde di tale periodo investono piccoli bacini lungo la costa, come ad esempio, porti od insenature naturali, possono verificarsi fenomeni di risonanza, il che può provocare l'amplificazione e la prolungata persistenza delle oscillazioni del livello del mare, con considerevoli danni alle infrastrutture. È il caso di un evento praticamente sconosciuto al grande pubblico, avvenuto a Gioia Tauro nel 1977. Una parte dei detriti risultanti dalle lavorazioni nel porto e depositati lungo un margine sottomarino collassò e si incanalò lungo l'omonimo canyon, causando onde alte

fino a 5 metri e ingenti danni ad alcune strutture portuali. Studi numerici [8] hanno ricostruito la mappa di inondazione, ed hanno anche evidenziato che le onde di maremoto penetrando nel porto attraverso una bocca meridionale molto stretta, hanno eccitato i modi propri di oscillazione del porto con frequenza più bassa che dissipano energia molto lentamente.

Nella mappa della Figura 1, che è il risultato di ricerche condotte nel corso del progetto europeo TRANSFER, sono indicate le sorgenti di maremoto di origine non sismica nel Mediterraneo centrale. Anche se è parzialmente incompleta, se ne può dedurre che le coste italiane sono interessate da molte potenziali sorgenti. Ciò è dovuto alla presenza di:

- vulcani attivi (Stromboli, Vulcano, Etna, Ischia, Vesuvio);
- margini continentali ripidi vicini alla costa, caratterizzati da profondi canyon (Scarpata Ibleo-Maltese nella Sicilia orientale, le scarpate tirreniche e ioniche della Calabria, il Margine Adriatico meridionale al largo della Puglia, le scarpate del Mar Ligure e delle coste di Corsica e Sardegna);



Figura 1. Mappa delle sorgenti di maremoto non sismiche nel Mar Mediterraneo centrale (dal catalogo TRANSFER, www.transferproject.eu).

- collassi gravitativi da ripide zone costiere (Scilla).

Tra le varie sorgenti si distingue anche l'isola di Ischia, con i ripidi versanti del Monte Epomeo. I numerosi depositi di frana rinvenuti attorno alle sue coste testimoniano che le masse che si distaccano dai sui versanti possono scivolare in mare e possono generare maremoti.

Ischia: un laboratorio geologico a cielo aperto

Per la complessità e varietà dei fenomeni geologici che vi si osservano, Ischia rappresenta un vero e proprio laboratorio a cielo aperto. Sotto il profilo geologico, Ischia è una delle isole vulcaniche del Tirreno, collocata lungo il margine continentale campano. Strutturalmente appartiene al complesso vulcanico dei Campi Flegrei ed è considerata un vulcano attivo, la cui ultima colata lavica risale al 1301 d.C., con il nome di lava dell'Arso.

Al di sotto di Ischia è stata identificata una camera vulcanica le cui fasi di riempimento e svuotamento hanno determinato l'accrescimento e l'abbassamento dell'isola. Esistono diverse ipotesi sui processi che hanno portato il Monte Epomeo alla configurazione attuale. Tutte però concordano che il blocco si sia elevato di circa 800 m negli ultimi 33.000 anni, con un innalzamento medio di 20 mm per anno [9]. L'inizio di questa fase di accrescimento coinciderebbe con l'ultima eruzione vulcanica del Tufo di Citara (tra i 44.000 e i 33.000 anni fa). Oltre ai detriti superficiali dovuti all'esposizione agli agenti naturali, i principali materiali che caratterizzano Ischia sono di natura vulcanica, come ad esempio il Tufo Verde di Ischia risalente a 55.000 anni fa e prodotto dall'esplosione e successivo collasso della caldera. Proprio tale complessa e intensa attività geologica richiede particolare attenzione

per quanto riguarda lo studio del potenziale tsunamigenico. La presenza di numerosi versanti con elevato angolo di pendenza, per di più in un'area che è tettonicamente attiva, aumenta sensibilmente la possibilità di instabilità. Ulteriori fenomeni favorevoli alla destabilizzazione sono le abbondanti precipitazioni che in alcuni periodi dell'anno, saturando il terreno, danno vita a colate di fango, e le pressioni esercitate a certe profondità da gas intrappolati nel sottosuolo, la cui natura è osservata e monitorata lungo le fumarole dislocate per tutta l'isola, e la cui presenza provocherebbe la fragilità della roccia e il suo stato di fratturazione.

Basandosi sulla nomenclatura riportata in Varnes [10], una dettagliata campagna geomorfologica condotta di recente a terra ha individuato differenti tipologie di frana, ognuna delle quali è stata catalogata in base al meccanismo, al tipo di materiale coinvolto, alla causa di innesco e al modo in cui si è evoluta [11]. Crolli, ribaltamenti, scivolamenti e colamenti sono stati identificati grazie alle nicchie e ai rispettivi depositi. Se a questa indagine si aggiungono i risultati delle campagne batimetriche svolte attorno all'isola [12, 13], che hanno evidenziato la presenza di consistenti depositi sottomarini al largo delle coste settentrionale, occidentale e meridionale, si può dedurre che Ischia è caratterizzata da una spiccata attitudine alle frane, alcune delle quali possono aver raggiunto velocità tali da renderle potenzialmente tsunamigeniche e rischiose per la popolazione e le infrastrutture locali.

Frane tsunamigeniche a Ischia

Le indagini svolte al largo dell'isola sono iniziate nel 1998, e successivamente raffinate dal 2000 al 2004, utilizzando tecniche sonar, multibeam, indagini

sismiche e carotaggi: tali metodologie hanno permesso di identificare e caratterizzare depositi di frana a sud, ad ovest e a nord delle coste ischitane, quasi sempre composti da una mistura di fanghi e argille, mescolata a grossi blocchi rocciosi compatti. L'origine di tali detriti è ancora oggetto di discussione, ma è ragionevole ritenere che in molti casi la zona di provenienza sia situata lungo i versanti del Monte Epomeo, in base anche a semplici considerazioni morfologiche.

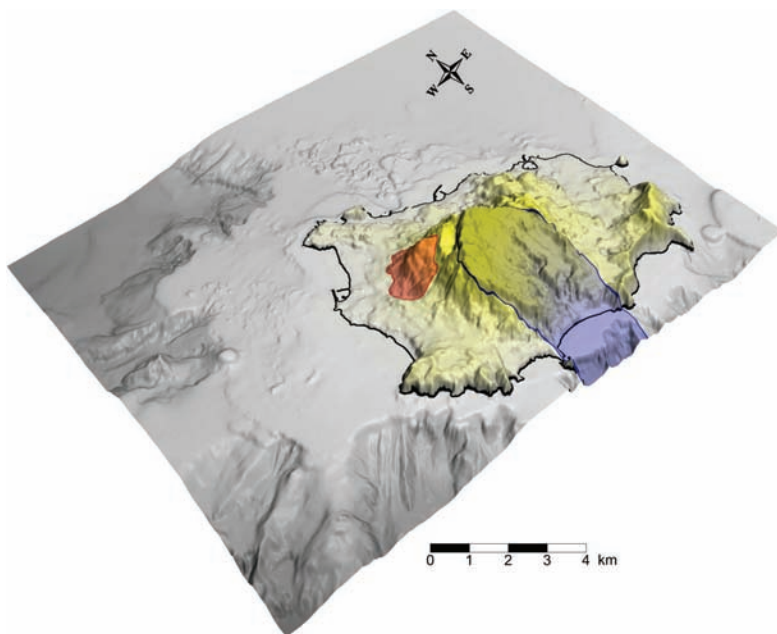
Il deposito più consistente è stato rinvenuto a sud di Ischia, nella vasta piana abissale sub-orizzontale che si stende a oltre 1.000 metri di profondità. La ricostruzione effettuata da Chiocci e de Alteriis [12] ricopre un'area di oltre 250 km². All'interno di tale deposito sono stati individuati grossi blocchi di dimensioni superiori ai 200 m e altezze tra i 30 e i 50 metri, mentre la parte detritica più fine raggiunge una distanza di oltre 50 km dalla costa. L'intera massa viene identificata come originata da un unico evento catastrofico, chiamato IDA (Ischia Debris Avalanche), probabil-

mente avvenuto in periodo preistorico, anche se le ultime analisi condotte sui carotaggi estratti ricollocherebbero la frana a periodi più recenti, come quello di colonizzazione Greca (VII sec. a.C.) [14]. Sempre secondo questa ipotesi, la nicchia di distacco coinciderebbe con il fianco meridionale del Monte Epomeo (vedi Figura 2, area contornata in blu). Di fatto si sarebbe verificato un vero e proprio collasso della caldera vulcanica, che avrebbe dato origine all'attuale forma a ferro di cavallo e alla conformazione asimmetrica del rilievo principale dell'isola. Sono state formulate anche altre teorie sull'origine di tale forma ad anfiteatro. Fra queste è stata avanzata l'ipotesi che essa sia il frutto della naturale erosione dovuta a fenomeni atmosferici o il risultato di una successione di piccole frane retrogressive e smottamenti, che nel corso dei secoli hanno scavato il fianco della montagna, lasciando profonde incisioni sul suolo tuttora visibili. È riconosciuto che una frana di questo genere avrebbe dovuto innescare uno tsunami, e alcune fonti storiche, riferite al periodo di colonizzazione greca, menzionano un abbassamento del livello del mare e il ritiro delle acque lungo la costa [14], entrambi fenomeni compatibili con uno tsunami.

Se IDA è un evento già accaduto, il Monte Nuovo è stato riconosciuto come una sorgente credibile di futura frana tsunamigenica. Il blocco roccioso che si trova sul fianco nord-occidentale del Monte Epomeo (area in rosso, Figura 2) è un'area non ancora franata, ma che è soggetta a deformazione gravitativa profonda (Deep-seated Gravitational slope deformation, DSGSD). Le immagini acquisite tramite il telerilevamento radar durante le campagne di misura condotte tra 1992 e il 2003 [15] dimostrano che l'intero blocco è affetto da una subsidenza che varia tra 1 e 5 mm per anno [11].

Indagini recenti hanno valutato la sta-

Figura 2. Mappa di Ischiaie dei fondali circostanti. L'area in blu è quella coinvolta nel collasso IDA, che avrebbe interessato tutto l'edificio vulcanico del Monte Epomeo. L'area in rosso invece riguarda la frana ipotetica del Monte Nuovo, lungo le pendici nord-occidentali.



bilità del blocco ed individuato le cause che condurrebbero il versante in uno stato di instabilità [16, 17]. In particolare sono stati indagati gli effetti dell'attività tettonica, perché è noto che sono numerosi i crolli e le frane sull'isola di Ischia riconducibili ad eventi sismici [18, 19]. Monte Nuovo si trova vicino ad una zona sismica attiva dove nel 1883 si è verificato il terremoto più forte nella storia dell'isola, ovvero il terremoto di Casamicciola di magnitudo 5,8 [20]. Ipotizzando che un terremoto simile si verifici lungo la faglia tettonica più vicina a Monte Nuovo e calcolando l'accelerazione sismica mediante relazioni di regressione ricavate dall'analisi dei terremoti italiani, Paparo et al. [16, 17] hanno calcolato la stabilità di alcuni profili lungo il corpo di frana tramite il metodo della Minima Deviazione Litostatica [21, 22] raggiungendo la conclusione che il blocco di Monte Nuovo potrebbe raggiungere condizioni di instabilità e provocare uno tsunami. I due scenari (IDA e Monte Nuovo) saranno descritti in modo dettagliato nella prossima sezione.

Simulazioni numeriche delle frane e dei maremoti

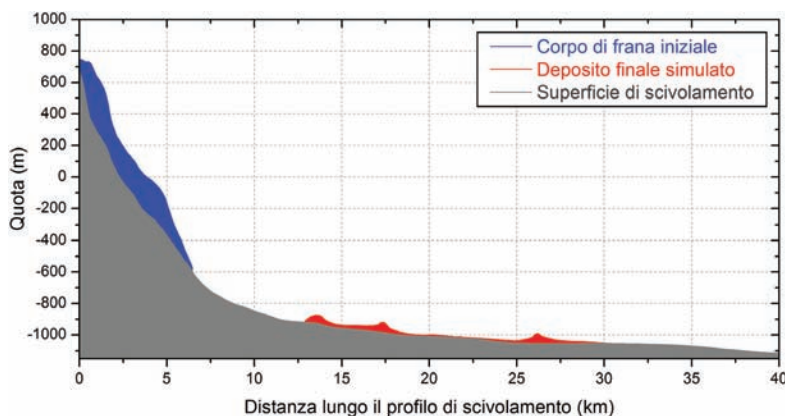
Per la simulazione numerica di IDA, è stato necessario ricostruire il versante

meridionale del Monte Epomeo nello stato di pre-collasso, aggiungendo alla massa attuale una massa compatibile con il volume dei depositi rinvenuti al largo della costa meridionale e tenendo conto della forma della nicchia di distacco. Si è scelta la classica struttura conica tipica dei vulcani (vedi profilo in Figura 3), ottenendo una massa di circa $3,7 \text{ km}^3$, che comprende una porzione sia subaerea che sottomarina, fino a circa 600 m sotto il livello del mare.

La simulazione del moto della frana è stata realizzata tramite il codice numerico UBO-BLOCK, interamente sviluppato e aggiornato dal Gruppo di Ricerca Maremoti dell'Università di Bologna (GRT). La frana simulata (v. Figura 3) percorre una distanza di oltre 30 km, con velocità molto elevate (fino a un massimo di 60 m/s), tipiche di crolli lungo pendii ripidi come quelli vulcanici. Dopo la prima fase di accelerazione, la velocità decresce quando il fondo marino si appiattisce e l'attrito prevale sulla gravità. Il deposito finale si attesta intorno ai 1000m di profondità, nella vasta piana a sud di Ischia.

La simulazione dello tsunami è effettuata tramite un codice numerico specifico, anch'esso creato e sviluppato dal GRT. Come si vede nelle immagini relative a diversi istanti della Figura 4, lo tsunami si propaga inizialmente verso sud con un fronte d'onda quasi circolare (caratteristico dei maremoti da frana) e positivo. Lo tsunami si allarga lateralmente ($t=3 \text{ min}$), arrivando a colpire dopo circa 6 minuti l'isola di Procida, a est. Le onde che si propagano lungo le coste di Ischia raggiungono e a volte superano i 10 m, e si può chiaramente notare (ai 6 e 8 minuti) una sequenza di creste e ventri d'onda che formano un treno di oscillazioni di grande ampiezza. Allargando lo zoom sull'intero Golfo di Napoli, si nota che Capri è colpita da un fronte molto alto (oltre 15 m) dopo 8 minuti, e che un fronte, ormai quasi parallelo alla costa,

Figura 3. Sezione longitudinale di IDA, presa lungo la traiettoria centrale di scivolamento. In grigio la superficie di scivolamento, in gran parte coincidente con la morfologia attuale; in blu la ricostruzione del cono vulcanico del Monte Epomeo, in gran parte collassato secondo l'ipotesi IDA; in rosso il deposito di frana al termine della simulazione.



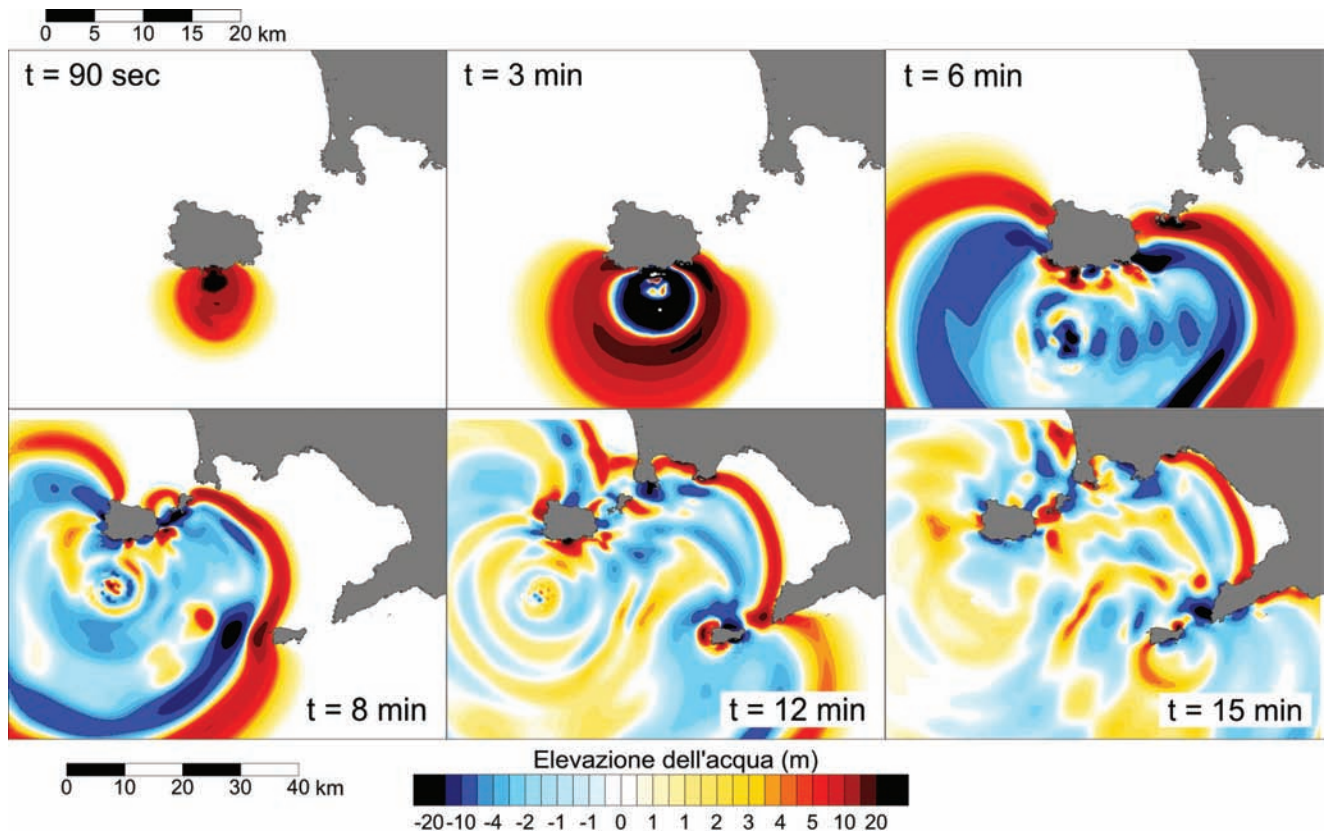


Figura 4. Propagazione del maremoto generato dallo scenario IDA, con i primi 3 grafici centrati attorno a Ischia e gli altri 3 allargati all'intero Golfo di Napoli.

entra nel Golfo e ne raggiunge le coste entro 15 minuti [23].

Per la frana potenziale di Monte Nuovo sono state compiute simulazioni utilizzando le stesse tecniche numeriche e la stessa procedura adottata per IDA. La ricostruzione della massa della frana è stata effettuata partendo dall'individuazione della superficie di rottura secondo gli studi di Dalla Seta et al. [11] e basandosi su semplici considerazioni morfologiche. Si ottiene così un volume di $0,16 \text{ km}^3$ e la configurazione riportata in Figura 5, con una massa molto compatta (in blu) posizionata a una quota di oltre 400 m.

La massa, dopo essersi totalmente distaccata, raggiunge rapidamente il mare e si allunga notevolmente, allontanandosi quasi 10 km dalla costa a profondità di oltre 500 metri, con spessori che raggiungono al massimo i 10 metri. Si

noti che la maggior parte del deposito si attesta nella piattaforma sottomarina a basso angolo al largo della costa occidentale, tra i 100 e i 200 metri di profondità. Dopo 30 secondi dall'innesco, la frana raggiunge la massima velocità di circa 30 m/s e, dopo 60 secondi investe la zona del porto di Forio (vedi anche Figura 6) ed entra in mare, generando un maremoto.

Dalle simulazioni si nota che la frana e l'onda generata viaggiano per qualche tempo a velocità simili, e in questa condizione (corrispondente a numero di Froude vicino ad 1) si ha il massimo trasferimento di energia dalla prima alla seconda.

Durante i primi 3 minuti dall'origine dello tsunami, un fronte positivo con altezza superiore ai 10 metri coinvolge l'intera baia di Forio, e nei successivi due minuti raggiunge ogni punto della

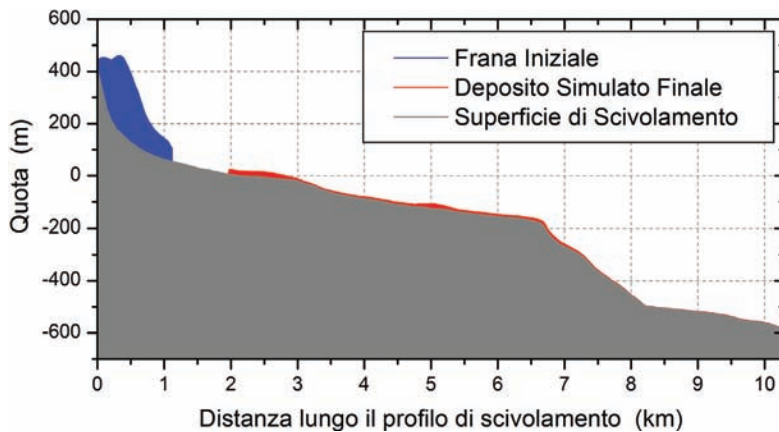


Figura 5. Sezione longitudinale della frana di Monte Nuovo. Massa iniziale della frana (in blu), e deposito simulato (in rosso).

costa occidentale dell'isola, investendo le città di Citara, Lacco Ameno e Casamicciola. L'andamento delle onde è variabile e fortemente dipendente dalla batimetria e dalla linea di costa. L'altezza della prima onda è quasi sempre minore rispetto alle successive [24]. Lungo la costa settentrionale si osserva un'attenuazione delle onde, con valori massimi di 4-5 metri presso Lacco Ameno e Casamicciola, mentre a sud si raggiungono circa 2 metri presso Sant'Angelo.

Dopo 10 minuti lo tsunami ha completamente toccato ogni punto delle coste ischitane e la costa occidentale dell'isola di Procida. La sua intensità diminuisce rapidamente a causa della dispersione di energia e l'altezza media delle onde è dell'ordine di un paio di metri. Muovendosi verso est, l'onda investe la costa tirrenica a nord dei Campi Flegrei, inondando soprattutto le zone caratterizzate da topografie piatte. È significativo notare come la zona di Castel Volturno, a 30 km a nord di Ischia, sia interessata da onde alte 2-3 metri, ma soprattutto da una penetrazione del mare di svariate centinaia di metri. Il Golfo di Napoli, verso sud-est, è schermato dalla presenza dell'isola di Procida e dal promontorio di Miseno, ma si nota nella zona di Sorrento un picco che raggiunge i 5 metri di elevazione, probabilmente un fenomeno

di eccitazione locale dovuto a una conformazione particolare della costa [24]. In Figura 6 viene mostrata la massima elevazione del maremoto, limitata alle coste di Ischia. Grafici di questo tipo sono utili, perché danno conto della distribuzione dell'energia di maremoto nel dominio studiato. Nel caso della frana di Monte Nuovo si vede come, a parte la zona di Forio direttamente investita dal moto franoso, sia soprattutto la costa settentrionale ad essere investita da onde considerevoli. Lo zoom nella zona Casamicciola-Lacco Ameno mostra anche le centinaia di edifici (segnati in blu in Figura 6) che sarebbero coinvolti dal maremoto, con inondazione che raggiungerebbe, in alcune zone, i 200 metri di penetrazione.

Conclusioni

Dopo una breve introduzione in cui sono stati ricordati alcuni dei casi più significativi di maremoti causati da frane in Italia e nel mondo, si è evidenziato che nel Mediterraneo Centrale sono numerose le sorgenti non sismiche di maremoto, per la presenza di vulcani attivi e di margini marini ad alto angolo. Ischia è un caso dove attività vulcanica, sismica e ripidità dei versanti sono fattori convergenti a determinare una forte suscettibilità alla franosità. Se si aggiunge che alcune frane possono raggiungere una velocità tale da penetrare in mare e che depositi di frana sono stati rinvenuti in mare, se ne deduce che esiste nell'isola un potenziale tsunamigenico indiscutibile, anche se informazioni storiche dirette su tsunami che hanno colpito l'isola non esistono nei cataloghi italiani di maremoti.

Si è dato conto degli studi compiuti su due casi di maremoto da frana:

1. lo tsunami generato dalla frana olocenica (o collocabile in tempi storici più recenti) del Monte Epomeo (IDA)

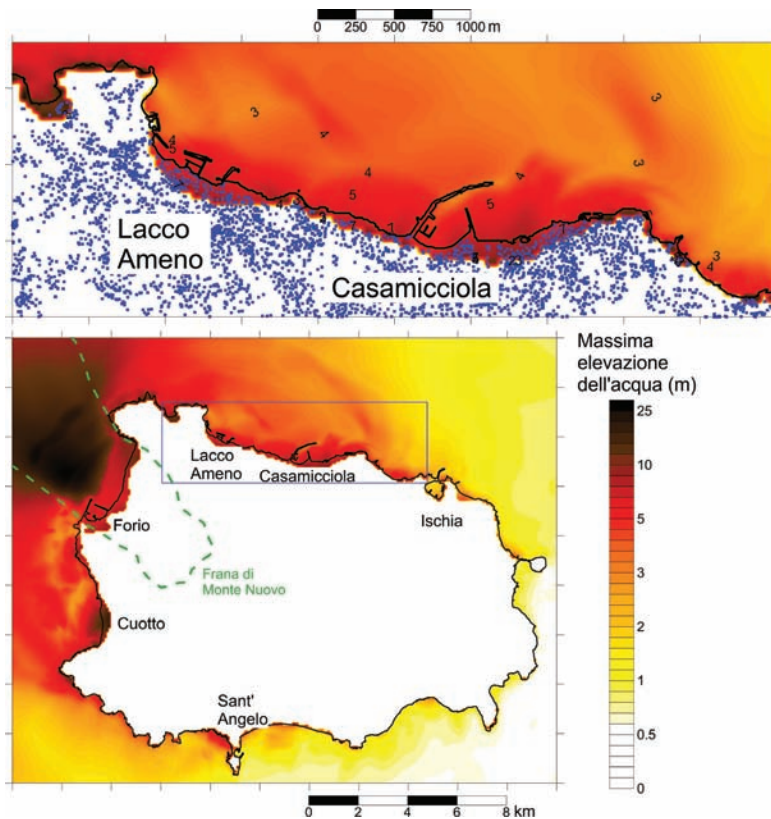


Figura 6. Massima elevazione del maremoto per lo scenario di Monte Nuovo. In verde è evidenziato il contorno della frana. In alto un ingrandimento della costa settentrionale di Ischia, con la posizione delle costruzioni riportate in blu.

- di cui sono stati individuati i depositi a mare per un volume di circa 3,7 km³ e
2. lo tsunami che potrebbe essere provocato dallo scivolamento a mare del blocco di Monte Nuovo, qualora fosse destabilizzato da un terremoto con epicentro prossimo di magnitudo simile a quello di Casamicciola del 1883.

I maremoti simulati hanno pattern di propagazione diversi, perché le sorgenti sono una a sud (IDA) e l'altra a nord-ovest (Monte Nuovo) dell'isola. Nel primo caso l'energia del maremoto si dirige prevalentemente verso sud e sud-est e penetra nel Golfo di Napoli, nel secondo si dirige verso nord e nord-est ed investe Procida e la costa settentrionale della Campania, inondando la zona attorno a Castel Volturno. In entrambi i casi comunque le onde più alte investono le coste dell'isola d'Ischia.

Occorre evidenziare che fino ad ora ricerche sistematiche su frane con potenziale tsunamigenico ad Ischia non sono state mai compiute, né è stata mai compiuta una sistematica valutazione della vulnerabilità e del rischio associato a frane e tsunami. Gli scenari qui descritti permettono di mettere a fuoco solo alcune tessere di un mosaico molto più complesso e articolato, per completare il quale è necessario allargare lo sguardo in una visione più ampia che comprenda non solo Ischia ma tutta la regione flegrea.

Bibliografia

1. National Geophysical Data Center / World Data Service (NGDC/WDS): *Global Historical Tsunami Database*. National Geophysical Data Center, NOAA. doi:10.7289/V5PN93H7.
2. Harbitz C.B. (1992) "Model simulations of tsunamis generated by the Storegga Slides". *Mar. Geol.* 105, 1-21.
3. Kvalstad T.J., Andresen L., Forsberg C.F., Berg K., Bryn P., Wangen M. (2005) "The Storegga Slide: evaluation of triggering sources and slide mechanics". *Marine and Petroleum Geology*, 22 (2005) 195-208, doi:10.1016/j.marpetgeo.2004.10.019.
4. Zaniboni F., Armigliato A., Tinti S. (2016) "A numerical investigation of the 1783 landslide-induced catastrophic tsunamis in Scilla, Italy". Submitted to *Natural Hazards*, S.I.: Advances in nonlinear wave research for hazard assessment.
5. Tappin D.R., Watts P., McMurty G.M., Lafoy Y., Matsumoto T. (2001) "The Sissano, Papua New Guinea tsunami of July, 1998—offshore evidence on the source mechanism". *Marine Geology* 175, 1-24. [http://dx.doi.org/10.1016/S0025-3227\(01\)00131-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0025-3227(01)00131-1).
6. Tinti S., Manucci A., Pagnoni G., Armigliato A., Zaniboni F. (2005) "The 30th December 2002 tsunami in Stromboli: sequence of the events reconstructed from the eyewitness accounts". *Nat. Hazards and Earth Syst. Sci.*, 5, 763-775, SRef-ID: 1684-9981/nhess/2005-5-763.
7. Tinti S., Pagnoni G., Zaniboni F. (2006) "The landslides and tsunamis of 30th December 2002 in Stromboli analysed through numerical simulations". *Bulletin of Volcanology*, 68, 462-479, doi: 10.1007/s00445-005-0022-9.
8. Zaniboni F., Armigliato A., Pagnoni G., Tinti S. (2014) "Continental margins as a source of tsunami hazard: the 1977 GioiaTauro (Italy) land-

- slide-tsunami investigated through numerical modelling”, *Marine Geology* 357 (2014) 210-217, doi: 10.1016/j.margeo.2014.08.011.
9. Gillot P.-Y., Chiesa S., Pasquarè G. and Vezzoli L. (1982) “33.000 year K/Ar dating of the volcano-tectonic horst of the isle of Ischia, gulf of Naples”. *Nature*, 229, 242-245.
 10. Varnes D.J. (1978) *Slope movement types and processes*. In: Schuster RL, Krizek RJ (eds) *Landslides, analysis and control*, special report 176: Transportation research board, National Academy of Sciences, Washington, DC., pp. 11-33.
 11. Della Seta M., Marotta E., Orsi G., De Vita S., Sansivero F., Fredi P. (2012) “Slope instability induced by volcano-tectonics as an additional source of hazard in active volcanic areas: the case of Ischia island (Italy)”. *B Volcanol* 74: 79-106, doi: 10.1007/s00445-011-0501-0.
 12. Chiocci F. L. e de Alteriis G., (2006) “The Ischia debris avalanche: first clear submarine evidence in the Mediterranean of a volcanic island pre-historical collapse”, *Terra Nova*, 18, 202-209.
 13. de Alteriis G. e Violante C. (2009) *Catastrophic landslides off Ischia volcanic island (Italy) during prehistory*. The Geological Society, London, Special Publications 322, pp 73-104.
 14. de Alteriis G., Insinga D.D., Morabito S., Morra F., Chiocci F.L., Terrasi F., Lubritto C., Di Benedetto C., Pazzanese M. (2010), “Age of submarine debris avalanches and tephrostratigraphy offshore Ischia Island, Tyrrhenian Sea, Italy”, *Mar. Geol.*, 278, 1-18, doi: 10.1016/j.margeo.2010.08.004.
 15. Manzo M., Ricciardi G. P., Casu F., Ventura G., Zeni G., Borgstrom S., berardino P., Del Gaudio C. and Lanari R. (2006) “Surface deformation analysis in the Ischia Island (Italy) based on spaceborne radar interferometry”. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 151 (2006) 399-416
 16. Paparo M.A., Tinti S., Zaniboni F., Pagnoni G. (2015a), *Assessment of the stability of the potentially tsunamigenic Monte-Nuovo landslide along the north-western flank of Mt. Epomeo (Ischia island, Italy)*, 26th IUGG General Assembly 2015, Prague, Czech Republic, June 22-July 2, 2015.
 17. Paparo M.A. e Tinti S. (2015b) *Tsunamigenic slope instability in northwestern Ischia triggered by earthquakes*, 34° Convegno GNGTS, Trieste, 17-19 Novembre 2015.
 18. de Vita S., Sansivero F., Orsi G., Marotta E. (2006) “Cyclical slope instability and volcanism related to volcano-tectonism in resurgent calderas: the Ischia island (Italy) case study”. *Eng. Geol.* 86: 148-165.
 19. Rapolla A., Paoletti V., Secomandi M., (2010) “Seismically-induced landslide susceptibility evaluation: Application of a new procedure to the island of Ischia, Campania Region, Southern Italy”. *Eng. Geol.* 114: 10-25.
 20. Guidoboni E., Ferrai G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensine G., (2007). *Catalogo dei forti terremoti in Italia 461 a.C.-1997*.
 21. Tinti S. e Manucci A. (2006) “Gravitational stability computed through the limit equilibrium method revisited”. *Geophys. J. Int.*, 164: 1-14.
 22. Tinti S. e Manucci A. (2008) “A new computational method based on the minimum lithostatic deviation (MLD) principle to analyse slope stability in the frame of the 2-D limit equilibrium theory”. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8: 671-683.
 23. Tinti S., Chiocci F. L., Zaniboni F., Pagnoni G., and de Alteriis G. (2011) “Numerical simulation of the tsunami generated by a past catastrophic landslide on the volcanic island of Ischia, Italy”, *Mar Geophys Res*, 32, 287-297, doi 10.1007/s11001-010-9109-6
 24. Zaniboni F., Pagnoni G., Tinti S., Della Seta M., Fredi P., Marotta E., Orsi G. (2013) “The potential failure of Monte Nuovo at Ischia Island (Southern Italy): numerical assessment of a likely induced tsunami and its effects on a densely inhabited area”, *Bull. Volcanol.*, 75: 763-776.

Ischia come sorgente di energia geotermica

Paolo Gasparini

Ischia, per le sue caratteristiche vulcano-tettoniche e idrogeologiche, è un vulcano particolarmente favorevole alla utilizzazione dell'energia geotermica per produrre energia elettrica, utilizzazione che è però ostacolata dalla alta densità abitativa di tutta la fascia che circonda il Monte Epomeo e dall'utilizzazione intensiva delle acque termo-minerali per scopi balneari e terapeutici.

La presenza di acque termali nell'isola è ben nota da diversi secoli. Uno studio sistematico delle sorgenti termali di Ischia è contenuto nel trattato pubblicato nel 1588 da Giulio Iasolino (*De rimedi naturali che sono nell'isola di Pithecusa, hoggi detta Ischia*), il quale propose l'utilizzazione delle acque termali per scopi terapeutici.

Agli inizi del '900 fu scoperto che alcune di queste acque erano fortemente radioattive per la presenza soprattutto dell'isotopo del Radon 222, derivante dal decadimento, via Radio 226, dell'Uranio 238 (vedi articolo sulle acque termali di Ischia in questo volume). La possibile presenza di un dicco di magma a piccola profondità (circa 2.000 metri), ipotizzata da Alfred Rittmann nel 1930 come causa del sollevamento del Monte Epomeo, stimolò un gruppo di ingegneri delle Università di Napoli (facenti capo a Felice Ippolito) e di Roma (diretti da Francesco Penta) ad iniziare una serie di ricerche, nell'ambito del "Centro Studi delle Risorse Naturali

dell'Italia Meridionale", sulla possibilità di produrre energia dalle acque termali. Queste ricerche destarono l'interesse di un gruppo di industriali, che videro in questa possibile fonte di energia l'occasione per venire incontro ad una delle maggiori esigenze industriali di quegli anni: trovare fonti energetiche che potessero supplire alla crescente carenza di carburanti.

Nel 1936 fu costituita la SARUFEN (Società Anonima Ricerca e Utilizzazione Forze Endogene Napoletane) trasformata, dal 1939, nella SAFEN (Società Anonima Forze Endogene Napoletane), il cui amministratore, l'Ing. Giuseppe Cenzato, diede subito un notevole impulso alle attività in questo campo. La SAFEN rimase in vita fino al 1963, anno in cui venne assorbita dall'ENEL.

La SAFEN si avvale di Ippolito, Penta e dello stesso Rittmann quali consulenti, e, dal 1939 al 1952, perforò 90 pozzi, dei quali 25 a meno di 100m per terme, alberghi e applicazioni sanitarie, e 11 fino a 1.156 m per eventuali applicazioni alla produzione di energia elettrica, nelle località di Fumarole di Panza, Maronti, Cetara e Sant'Angelo (Figura 1).

Diversi pozzi per energia elettrica furono ubicati vicino al mare in modo da utilizzare le acque marine per il raffreddamento del fluido motore (cloruro di etile). Le temperature dei fluidi non superarono i 176°C in pozzo e i 130°C a bocca pozzo con erogazioni modeste. I pozzi in riva al mare, non tubati, pre-

sentavano spesso emissioni intermittenti tipo geyser a causa della infiltrazione di acqua marina: non erano quindi utilizzabili per tentare una produzione di energia. Ad eccezione di un pozzo ubicato sulla spiaggia di Cetara (PC43 in Figura 1), che era caratterizzato da erogazione continua, con temperature fino a 176°C in pozzo e 130°C a bocca pozzo, e produzioni fino a 70 mc/h di acqua e 100 t/h di vapore. Esso permise alla SAFEN di conseguire due primati italiani nell'ambito dell'utilizzazione, allora rivoluzionaria, dei vapori umidi (e non gas secco) per produrre energia elettrica:

- la sperimentazione della prima centrale elettrica a "ciclo binario" (allora detta di Rankine), a cloruro di etile, da 500 kW installati (250 kW effettivi), che fu progettata nel 1939 e rimase operativa fino al 1942-43, quando l'attività fu sospesa per gli eventi bellici;
- la sperimentazione della prima centralina a flash, progettata nel 1951 e operativa dal 1952 al 1954, sempre da 500 kW installati e 275 kW effettivi,

100 t/h di vapore e acqua (titolo 14,4 %) con flash a contropressione e separatore e 50 t/h di vapore saturo a 138 °C (titolo 6,9%) al condensatore. I test furono sospesi nel 1954 per la scarsa potenza.

L'interesse per l'utilizzazione a fini elettrici della geotermia ischitana è ripreso da una decina di anni; sono stati presentati alcuni progetti da imprese private, ma la concessione di permessi da parte degli enti governativi, sia nazionali che regionale, va molto a rilento a causa delle perplessità della popolazione e degli industriali che utilizzano le acque termali superficiali a fini terapeutici. La prima è preoccupata essenzialmente degli impatti ambientali, i secondi di un impatto negativo sulle falde termali superficiali.

Una eccellente sintesi dei dati scientifici disponibili e delle attuali conoscenze sul potenziale geotermico dell'isola è stata pubblicata recentemente da ricercatori dell'Osservatorio Vesuviano-INGV [1]. Il punto di partenza per la valutazione del potenziale geotermico sono le informazioni raccolte nelle perforazioni profonde della SAFEN, riportate in Figura 2.

Nei tre pozzi la temperatura aumenta più o meno linearmente con la profondità raggiungendo valori tra 120° e 160°C a 150 m. Questo è l'andamento tipico della temperatura in rocce poco permeabili nelle quali il calore si trasmette essenzialmente per conduzione. A profondità maggiori, all'interno del tufo verde, la temperatura rimane grosso modo costante, andamento tipico in mezzi nei quali il calore viene trasportato per convezione. L'andamento della temperatura indica quindi che il tufo verde è altamente permeabile e le acque che lo attraversano trasportano verso la superficie il calore proveniente da sorgenti più profonde.

Questi dati sono stati integrati con informazioni sulla composizione chimica

Figura 1. Ubicazione delle perforazioni SAFEN. Le 6 per energia elettrica sono indicate in rosso (da [1]).

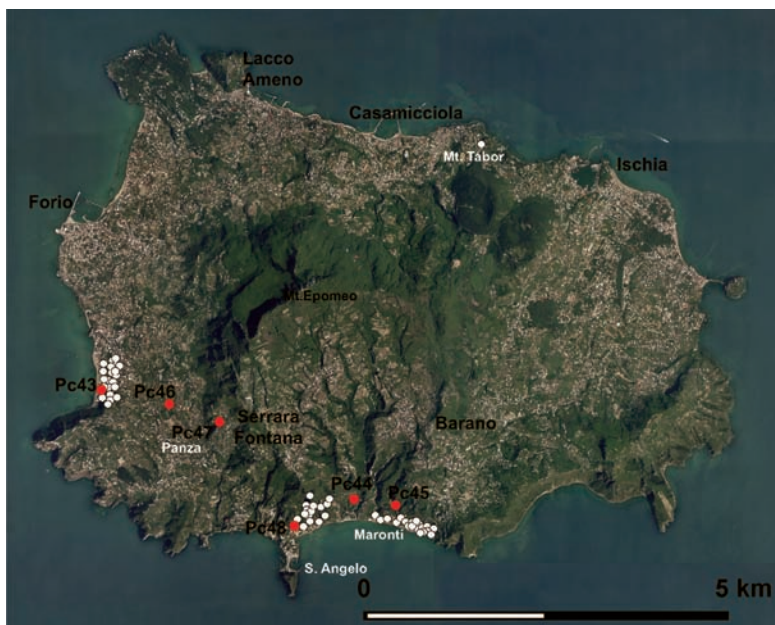
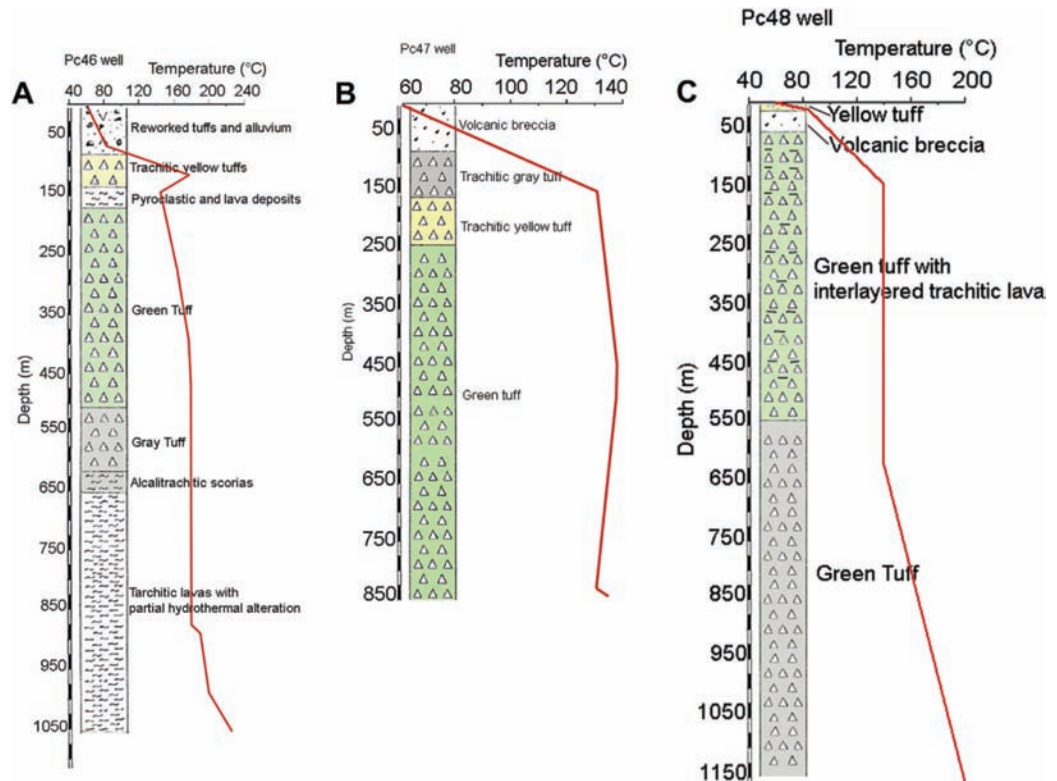


Figura 2. Variazione della temperatura con la profondità e stratigrafia dei pozzi SAFEN più profondi (Panza W, Panza e Sant'Angelo) (da [1]).



e isotopica delle acque in più di cento sorgenti distribuite intorno al Monte Epomeo, con un modello idrogeologico dell'isola e con dati vulcanologici.

Sulla base di tutte queste informazioni Carlino et al. [1] hanno elaborato il modello geotermico dell'isola schematizzato in Figura 3.

La principale sorgente di calore è il dicco di magma intruso a circa 2.000 m, che ha provocato il sollevamento del Monte Epomeo. Il magma è circondato da una zona di roccia alterata dal riscaldamento, attraverso la quale il calore si propaga essenzialmente per conduzione. La temperatura al di sopra di tale zona è stimabile intorno ai 350°C. Il meccanismo di trasporto del calore è fortemente dipendente dalla permeabilità delle rocce che, perlomeno da una profondità intorno agli 800 m, è sufficientemente alta da produrre un vigoroso moto convettivo delle falde acquifere.

Esistono probabilmente due principali

serbatoi geotermici, tutti a vapore-dominante, nel settore occidentale dell'isola:

- il più profondo si trova a circa 900 m, con una temperatura intorno ai 270°C e una pressione di 9 MPa;
- il più superficiale tra 150 e 500 m con una temperatura intorno tra 150° e 200°C e una pressione di 4 MPa.

I due sono separati da una zona a bassa permeabilità ed alta conduttività termica.

Nella parte centrale dell'isola dovrebbe esistere una zona ad alta permeabilità con fluido dominato dalla fase vapore, che non sembra confinato da rocce a conduttive a bassa permeabilità. Il potenziale geotermico di questi serbatoi è molto alto, probabilmente intorno a 1 GW.

Il timore che uno sfruttamento di questi serbatoi possa interferire negativamente con la portata e lo stato termico delle falde utilizzate dagli stabilimenti

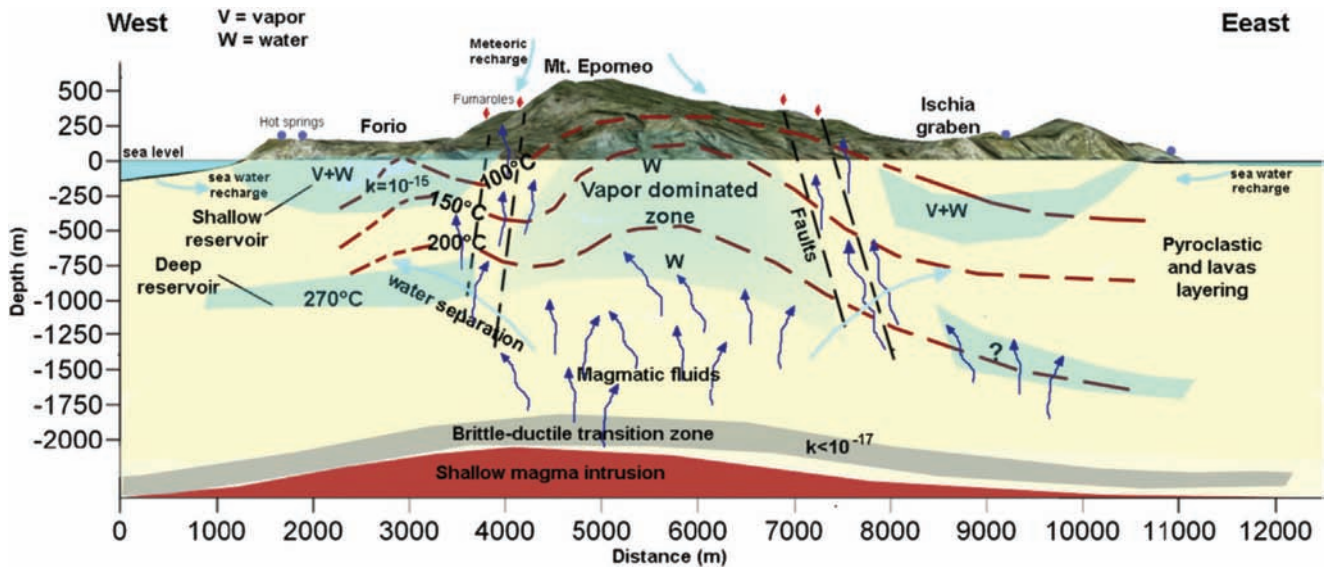


Figura 3. Modello geotermico dell'isola schematizzato (da [1]).

termali può essere mitigato dalla considerazione che queste ultime si trovano generalmente a profondità inferiori a 100m e sono completamente isolate, attraverso strati a bassissima permeabilità, dai suddetti serbatoi geotermici.

Le moderne tecniche utilizzate nella costruzione delle centrali geotermiche rendono questa risorsa poco invasiva e utilizzabile anche in aree abitate. Un esempio è l'utilizzazione di centraline di media e piccola potenza (5-10 MW elettrici) a ciclo chiuso, cioè con reiniezione nel serbatoio geotermico dei fluidi estratti. Carlino et al. [1] hanno dimostrato che l'utilizzazione di questi serbatoi per circa 30 anni avrebbe un effetto circoscritto a profondità maggiori di 400 m e non influenzerebbe significativamente le falde superficiali.

Le prospettive di utilizzazione dell'energia geotermica nell'isola sono essenzialmente legate alla costruzione di diverse centraline elettriche di piccola medio potenza (circa 10-15 MWe) a ciclo rigorosamente chiuso (con reiniezione dei fluidi estratti) lungo le falde sud occidentali del Monte Epomeo (non densa-

mente abitate), previa una verifica della significatività del contributo geotermico al mix energetico alimentante l'isola.

Bibliografia

1. S. Carlino*, R. Somma, A. Troiano, M.G. Di Giuseppe, C. Troise, G. De Natale (2013) "The geothermal system of Ischia Island (southern Italy): Critical, review and sustainability analysis of geothermal resource for electricity generation", *Renewable Energy* 62 (2014) 177 e 196.
- V. Paoletti, G. Langella, R. Di Napoli, A. Amoresano, S. Meo, G. Pecoraino, A. Aiuppa (2014) "A tool for evaluating geothermal power exploitability and its application to Ischia, Southern Italy", *Applied Energy*.
- V. Paoletti, R. Maio, F. Cella, G. Florio, K. Motschka, N. Roberti, et al. (2009) "The Ischia volcanic island (Southern Italy): inferences from potential field data interpretation". *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 179 (1 e 2):69e86.
- G. Verdiani (1986) *Il punto sulla ricerca geotermica nell'area napoletana e quale futuro per la geotermia ad Ischia?*, Convegno Casamicciola Terme 3 e 4 maggio 1986.
- A. Rittmann (1930) „Geologie der Insel Ischia“. *Z für Vulkanologie* Berlino; VI:268.

Radioattività e salute

Agostino Mazzella

Il tema della radioattività continua a sollecitare l'attenzione dell'opinione pubblica per vari motivi: recentemente, nel febbraio 2016, il Consiglio dei ministri ha approvato un provvedimento nel quale è stata adottata la direttiva della Comunità Europea (n. 51/2013) [1] che prevede il contenimento delle concentrazioni di sostanze radioattive presenti in acque destinate all'uomo.

L'umanità, da sempre, è esposta a sostanze naturali in grado di emettere radiazioni ionizzanti, dovute ad elementi radioattivi naturali che possono essere presenti non solo nell'acqua, ma anche nel suolo ed in aria. Le radiazioni emesse da queste sostanze sono in grado di ionizzare la materia e, per questo motivo, una volta assorbite dal corpo umano, possono procurare un danno biologico. Metà della dose naturale delle radiazioni assorbite dall'uomo proviene dal Radon 222 (Rn). Un gas nobile radioattivo, prodotto dal decadimento del radio, che a sua volta proviene dal decadimento dell'uranio, entrambi presenti nella crosta terrestre. Il radon è un gas inodore ed incolore, che, provenendo dal sottosuolo, si diffonde facilmente attraverso le rocce fino a raggiungere l'atmosfera, impiegando un tempo di dimezzamento di circa 4 giorni. In questa sua trasformazione genera prodotti di decadimento, anch'essi radioattivi, per giunta solidi. Per questa ragione, mentre il Rn, gas inerte, una volta inalato,

è incapace di fissarsi sul corpo umano, i suoi prodotti solidi, invece, possono localizzarsi soprattutto nelle strutture dell'albero della respirazione, dove divengono particolarmente dannosi, col rischio di generare neoplasie.

Il Rn ed alcuni suoi prodotti, quali il Po 218 e Po 214, emettono particelle alfa, altri, come Bi 214, Pb 214 e Pb 210, emettono elettroni, ovvero radiazioni beta. Di conseguenza, ancor più del Rn, la maggior pericolosità per la salute viene proprio dai suoi prodotti di decadimento (detti anche figli), fra questi – come vedremo in seguito – soprattutto i due nuclei di polonio, che, aderendo al particolato sospeso nell'aria, una volta inalati, vengono facilmente trattenuti nell'organismo. Le loro radiazioni emesse sono particelle alfa, che, risultando poco penetranti per la loro notevole massa e carica, interagiscono facilmente con la materia che attraversano, cedendovi tutta la loro energia, con un conseguente effetto ionizzante. Per frenare le alfa è sufficiente un foglio di carta o basta anche lo strato corneo della pelle, infatti, il rischio connesso ad esse non è legato alla loro irradiazione esterna, ma alla loro contaminazione interna.

La provenienza del radon e il suo contatto con l'uomo

Il radon, si è accennato, è un gas nobile presente prevalentemente nel sottosuolo

lo, i cui atomi, a seguito del processo di decadimento, hanno sufficiente energia per muoversi nel volume interstiziale delle rocce, da qui possono risalire verso l'atmosfera, spontaneamente o per effetto dello stress meccanico delle rocce, e solo una parte minore di essi, invece, entra in soluzione con le acque sotterranee. A causa del suo relativamente lungo tempo di dimezzamento (4 giorni), i nuclei di Rn, prima di decadere, possono percorrere anche notevoli distanze, fino ad arrivare a contatto diretto con la superficie terrestre e di qui raggiungere l'interno delle nostre abitazioni. Qui le vie d'accesso possono essere tante (Figura 1): attraverso eventuali fessure nella superficie di calpestio, tubazioni, e più in generale, impianti e finestre. La diffusa abitudine nell'area napoletana di utilizzare materiali edili di origine piroclastica, fa sì che il radon, accanto a questa via privilegiata di accesso alle nostre case, ne trovi un'altra: il tufo, infatti, insieme alla pozzolana e ai vari prodotti della lava presentano tutti un contenuto percentuale significativo di Rn, che dipende molto dalla granulome-

tria. Va però precisato che questo secondo contributo alla dose complessiva *in door* incide solo per il 15%-20% [2], la maggior parte resta quella proveniente dal sottosuolo.

In generale le radiazioni ionizzanti, proprio per la loro capacità di ionizzare la materia attraversata, producono un danno biologico che è possibile stimare sulla base di un sistema specifico dosimetrico. La legislazione italiana tutela la salute anche attraverso il rispetto dei limiti di dose efficace, limiti che tengono conto dell'esposizione, del tipo di radiazione (alfa, beta, gamma o altro) e dell'energia assorbita. La dose efficace annua globale assorbita dai membri della popolazione, non esposta per ragioni professionali, indipendentemente dal fondo naturale e dai valori dovuti ad indagini sanitarie, non può superare il millesimo di Sievert per anno. Nel caso del Rn, per assicurarsi che non venga superato questo limite di dose, viene misurata la concentrazione in aria di questo gas e viene espressa in *Bequerel per metro cubo* (Bq/mc), il che sta ad indicare il numero di disintegrazioni nucleari, e quindi di radiazioni emesse in un secondo, contenute in un metro cubo d'aria. Come si può intuire, le concentrazioni all'aperto sono poco significative, mentre sono particolarmente interessanti per scopi radioprotezionistici le esposizioni al chiuso (dette *in door*). La legislazione italiana (DM 241/2000) ha previsto che all'interno degli edifici vi sia una concentrazione massima di 200 Bq/mc, eccezionalmente, per strutture non in cemento, il limite massimo ammissibile è innalzato a 400 Bq/mc, e si impone una bonifica oltre i 500. Per quanto concerne, invece, la presenza di radon nelle acque destinate all'uomo, la citata direttiva europea del 2013 – ora introdotta anche in Italia – prevede una concentrazione massima di Rn in acqua nella misura di 100 Bq/litro, con la possibilità da parte degli stati comunitari di

Figura 1. Fonte: ISPeSL, *Il radon in Italia guida per il cittadino*, 2007 [3].



fissare anche limiti superiori a questo valore, nell'intervallo tra 100 e 1.000 Bq/litro. Va però precisato che le acque termali minerali radioattive non rientrano in questa fattispecie, in quanto vengono considerate curative.

Il rischio del radon per la salute

I danni somatici da radiazioni ionizzanti possono essere di tipo deterministico, che si manifestano solitamente in tempi brevi dall'esposizione, e la loro entità dipende quasi proporzionalmente dalla dose assorbita, e di tipo stocastico, che presentano invece un lungo periodo di latenza, e non dipendono espressamente dalla dose, ma si manifestano in forma statistica. Infine vi sono i danni genetici, anch'essi di natura stocastica, che invece si manifestano nella progenie degli individui esposti.

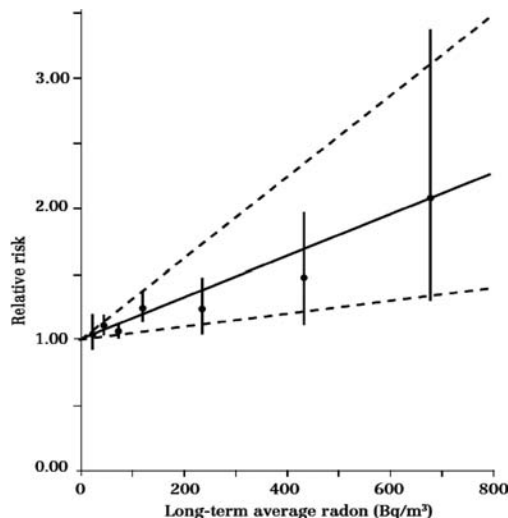
Sul piano microscopico le interazioni delle radiazioni ionizzanti con le molecole biologiche sono molteplici: vanno dalla rottura di un filamento di DNA, alla cancellazione di una base nucleotidica, alla produzione di radicali liberi, questi ultimi risultano notoriamente dannosi ai processi vitali. Analogamente, i danni sulla cellula possono coinvolgere, oltre ad alterazioni del DNA, anche la tenuta delle membrane, come quella nucleare, o la mitocondriale, con la conseguente morte o mutazione della cellula, con l'inattivazione dei geni soppressori tumorali e la conseguente promozione di una progressione cellulare maligna.

Come abbiamo visto, il radon, una volta inalato, dà luogo ad una produzione di discendenti radioattivi solidi, che si localizzano nelle strutture cellulari delle vie della respirazione, qui le particelle emesse, soprattutto alfa, danneggiano in modo considerevole le cellule dei bronchi principali (80 micrometri) ed i bronchioli (15 micrometri). Il danno

biologico è dovuto soprattutto ad un fatto: il *range* delle radiazioni alfa (percorso medio effettuato dalle radiazioni prima di fermarsi) è dello stesso ordine di grandezza di queste strutture, infatti le particelle alfa irradiate dal Rn e dai suoi figli hanno un attraversamento medio nel tessuto umano compreso tra i 40 e i 70 micrometri; poiché il loro potere ionizzante aumenta col diminuire della velocità, esse finiscono per cedere quasi tutta la loro energia nell'area di arresto, che coincide – come si evince dalla lunghezza del *range* – proprio con le dimensioni delle pareti dei bronchi e dei bronchioli. Il danno biologico che ne consegue può dar conto del notevole fattore rischio di cancro polmonare dovuto al radon per i soggetti esposti a questo gas.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità, attraverso l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC-rapporto 2015) [4, 5], ha confermato il radon nel gruppo I di sostanze per le quali vi è "sufficiente evidenza" di cancerogenicità polmonare, insieme al fumo di sigaretta e all'amianto, nello stesso rapporto figura anche il rischio di leucemia indotto da radon, ma per quest'ultima, la connessione è ancora ritenuta con "evidenza limitata". L'incidenza del rischio da radon di cancro ai polmoni è stata stimata tra il 3% ed il 14% su tutti i tumori polmonari [4]. L'ICRP (organismo radioprotezionistico internazionale) nella pubblicazione n. 115 del 2010 [6] ha affermato che questo fattore rischio è proporzionale alla concentrazione di Rn in aria inalata e non vi è un valore soglia al di sotto del quale il rischio sia nullo. L'Organizzazione Mondiale della Sanità ha fatto propri gli esiti delle misure effettuate da Darby nel 2005 [7] che prevedono un incremento del fattore rischio di cancro ai polmoni dovuto al radon del 8% ogni 100 Bq/mcubo di radon in concentrazione nell'aria (Figura 2).

Figura 2. Fonte: Darby 2005 [7].



Studi compiuti in Italia negli ultimi dieci anni [8, 9] hanno confermato la stessa correlazione tra rischio e concentrazioni di Rn. Le regioni italiane con un più alto fattore rischio sono il Lazio, la Lombardia, il Friuli e la Campania, con stime percentuali comprese tra il 16% e il 13%.

Particolare attenzione, per quanto attiene al fattore rischio in questione, va data alla concomitanza col fumo: come è noto, il rischio di contrarre cancro polmonare è molto più elevato per i fumatori rispetto ai non fumatori:

- il rischio è infatti quasi proporzionale al numero di sigarette fumate (fonte NIH) [10]
- secondo i dati del 2012 dell'agenzia regionale toscana ARPAT [11] il rischio di tumore polmonare per esposizione al Rn di un fumatore è di norma 25 volte maggiore di un non fumatore esposto alle stesse concentrazioni.

Ulteriori studi compiuti in Italia [12,13] hanno stabilito la seguente correlazione tra esposizione e rischio per fumatori e non fumatori, prendendo come riferimento una persona di 75 anni esposta continuamente ad una concentrazione di Rn rispettivamente di 100, 400, 800 Bq/mc:

Bq/mc	Non fumatori	Fumatori
100	(0,5%)	(12%)
400	(0,7%)	(16%)
800	(0,9%)	(22%)

Facendo un caso pratico, se si prendono 2.000 persone a caso della popolazione, metà fumatori e metà non-fumatori, entrambi esposti continuamente ad una concentrazione di Rn in aria di 400 Bq/mc, giunti all'età di 75 anni: nel primo gruppo si risconteranno circa 4-5 casi di tumore, nell'altro ben 160 casi. A titolo di esempio – in base a quest'ultimo studio – su 3.121 casi annui di tumore polmonare osservati in Lazio (nell'arco dei 20 anni antecedenti alla data di pubblicazione) ben 499 (16%) sono attribuibili all'esposizione al radon; in Campania, invece, 372 casi di tumori attribuiti su 2.822 osservati (13%) [12].

Le concentrazioni medie di Rn nelle abitazioni e nelle terme dell'isola d'Ischia

Le concentrazioni di radon presenti nelle abitazioni hanno di norma una grande variabilità, sia in senso spaziale che temporale. Edifici molto vicini possono avere concentrazioni molto diverse, ciò è vero soprattutto sull'isola d'Ischia, dove l'eterogeneità geologica è piuttosto ampia, a questo fattore va aggiunto un ulteriore elemento: la sensibile dipendenza dal piano di una abitazione, ove le concentrazioni si riducono in ragione inversa del numero dei piani [14]. Inoltre, vi è anche un'ampia variazione nel tempo, dovuta essenzialmente alle condizioni di ventilazione, che cambiano tra giorno e notte, estate e inverno, oltre agli altri parametri climatici. A causa di queste rilevanti fluttuazioni, per avere una stima precisa della concentrazione media di radon in un locale, è necessario monitorare le concentrazioni per un

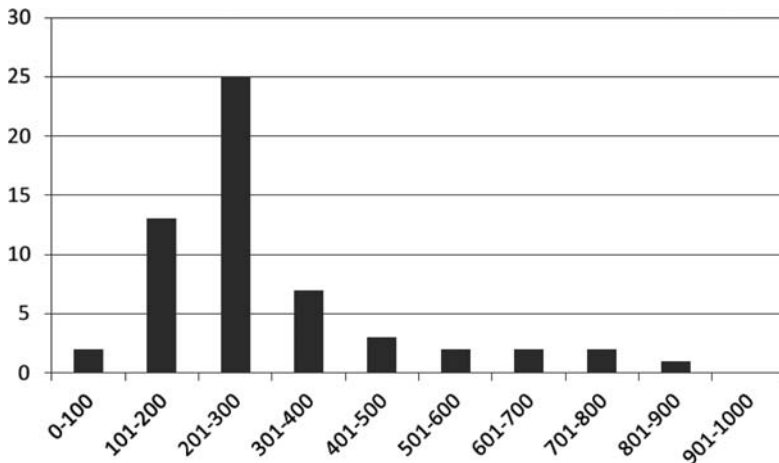
lungo periodo di tempo, di norma un anno. Per le misure solitamente si usano due tipi di rilevatori (riconosciuti dagli standard internazionali [4]): a tracce oppure elettretici; entrambi sono sensibili alle particelle alfa emesse durante il processo di decadimento del radon, in quanto sono in grado di memorizzarne la presenza, nel primo tipo, sotto forma di tracce, mentre nel secondo, con una caduta di tensione. Nel ventennio tra il 1990 e il 2010 in Italia si sono condotte numerose campagne di misura per individuare i livelli delle concentrazioni medie di Rn nelle abitazioni, in questi ultimi anni anche molte Regioni si sono attivate per un efficace monitoraggio. Le regioni italiane a più alta concentrazione di radon sono il Lazio con 119 Bq/mc, la Lombardia con 111, il Friuli con 99 e la Campania con 95 [13]; circa il 10% delle abitazioni di queste regioni presenta però delle concentrazioni superiori ai 200 Bq/mc che stanno ad indicare la soglia di allerta. Il problema è riuscire ad individuare quest'ultima fascia di abitazioni e ancor di più quella in cui si supera il limite dei 400 Bq/mc, in quei casi in cui l'esposizione – per così dire – diviene “patologica”. Va rimarcato, però, che vi possono essere situazioni in cui i valori medi regionali sono piuttosto modesti, ed è il caso della Toscana, con i suoi 48 Bq/mc, ma che all'analisi di uno studio più dettagliato comune per comune, può riscontrarsi un'incidenza significativa di casi con esposizione “patologica”. Infatti, dai dati ARPAT (Agenzia regionale della Toscana) del 2010 [11] si evince che in circa un terzo dei comuni toscani le concentrazioni risultano superiori ai limiti dei 200 Bq/mc, e di questi, oltre il 20% con valori anche superiori ai 300 Bq/mc. Ai fini della tutela della salute va sottolineata pertanto la necessità di disporre del maggior numero di dati possibili per poter elaborare uno screening attendibile della presenza di radon *in door*, in quanto il dato me-

dio regionale dell'esposizione *in door* diviene poco indicativo, piuttosto è utile una conoscenza puntuale dell'incidenza dei casi di esposizione “patologica”, che oltre tutto necessitano di un repentino intervento di bonifica. Purtroppo la Regione Campania, contrariamente ad altre regioni che si sono attivate in tal senso, non dispone ancora di una rete di monitoraggio del territorio, l'ultima campagna organica risale alla fine degli anni '90, condotta dal Dipartimento di Fisica dell'università di Napoli [15]. Mettendo a fuoco la situazione nell'isola d'Ischia possiamo dire che dagli anni '80 alla fine degli anni '90 vi sono state varie campagne di monitoraggio isolano del Rn promosse dall'ENEA, dal Dipartimento di Fisica dell'Università di Napoli e dall'INFN [16]. Questi ultimi, dal 2006 ai nostri giorni, hanno condotto vari progetti in collaborazione col liceo d'Ischia, per la determinazione delle concentrazioni di Rn in ambienti scolastici. Negli stessi anni il sottoscritto ha effettuato numerose misure anche in abitazioni isolate, soprattutto al fine di individuare i casi di esposizione particolarmente “patologica”, i risultati più recenti sono stati oggetto di pubblicazioni col Dipartimento di Fisica dell'Università di Napoli e con la sezione INFN di Napoli [17, 18]. Le misure sono state effettuate sia con rivelatori a traccia, sia con elettretici, con esposizioni di durata quindicinale ed annuale. I dati ottenuti con entrambi i metodi di misura hanno dato risultati confrontabili nei limiti dell'errore di misura, seguendo gli standard internazionali. Inoltre, misure di taratura degli elettretici della RAD ELEC E-PERM hanno confermato l'alto grado di affidabilità di questi dispositivi che, nelle rilevazioni successive sono stati utilizzati in via quasi del tutto esclusiva. La concentrazione media delle abitazioni isolate è stata di 262 Bq/mc, evidentemente non di molto inferiore al

limite massimo ammissibile di 400. La media, pur effettuata su un campione di un centinaio di casi, si discosta sensibilmente dal valore medio rilevato da altre campagne isolate in quanto – come si è detto – l'intento principale di queste misure era non solo quello meramente conoscitivo, quanto quello di poter prevenire situazioni di superamento delle concentrazioni massime ammissibili, proprio nell'ottica della prevenzione dei rischi per la salute. Infine riportiamo nell'istogramma della Figura 3 la frequenza dei casi di abitazioni isolate che presentano delle concentrazioni di radon comprese nei rispettivi intervalli di valori tra: 0-100, 100-200, ... fino a 800-900 Bq/mc.

Le concentrazioni di Rn nelle acque termali isolate alla sorgente è molto variabile: varia tra i 100 ed i 1.000 Bq/litro. La scarsa solubilità del Rn in acqua fa sì che gran parte di questo gas si diffonda facilmente nell'aria, in prossimità della superficie libera dell'acqua; il coefficiente di trasmissione è abbastanza alto, si stima che in condizioni di equilibrio si possa raggiungere anche il 70%. Questo ci spinge a considerare gli ambienti termali isolati luoghi in cui potenzialmente possano raggiungersi o anche superare i limiti massimi di concentrazione in aria. Naturalmente

Figura 3.
Distribuzione delle concentrazioni di Rn sull'isola d'Ischia [16].



te i valori che si misurano dipendono molto dalle condizioni di isolamento e di ventilazione dei locali in cui viene manipolata l'acqua radioattiva. Infatti in letteratura sono reperibili dati che ci dimostrano come nello stesso ambiente, pur con una manipolazione costante delle stesse quantità di acqua termale, si possano riscontrare concentrazioni in aria variabili nel tempo fino ad un fattore 20. Questo dato ci insegna due cose: da un lato quanto le scarse condizioni di isolamento e ventilazione dei locali termali possano produrre un accumulo "patologico" di Rn in aria, ma dall'altro, apprendiamo come un adeguato sistema di areazione degli stessi ambienti possa abbattere quelle concentrazioni, riconducendole in poco tempo a valori accettabili.

La mia esperienza di misure di radon nelle Antiche Terme Comunali effettuate nel corso degli anni novanta mi ha portato a questi risultati:

- nelle cabine di balneofangoterapia si sono rilevate concentrazioni di Rn in aria tra 74-296 Bq/mc (dipende molto dalle condizioni di ventilazione locale);
- nella cabina idromassaggio concentrazioni di Rn in aria tra 74-407 Bq/mc (quasi il 50% del Rn presente nell'acqua si libera in pochi minuti per l'azione meccanica dello spruzzo);
- nell'ambiente circostante alla piscina (al chiuso) concentrazioni di Rn in aria tra 68-296 Bq/mc (dopo circa 5 gg dal ricambio dell'acqua la concentrazione si dimezza, successivamente si stabilizzano i valori minimi indicati).

Tenendo conto che la *dose efficace media annua* dovuta all'esposizione alle radiazioni naturali in Italia risulta 2,8 mSv/anno, l'esposizione dei lavoratori termali può essere sensibilmente più alta della dose dovuta al fondo naturale. In Italia per il personale lavoratore

è prevista una *dose efficace annua* non superiore a 3mSv/anno, quindi il personale operante in cabine poco ventilate, soprattutto nelle cabine di idromassaggio, potrebbe superare di poco la dose massima ammissibile. Infatti, sulla base delle concentrazioni rilevate ho potuto stimare una dose media efficace annua per il personale termale compresa tra i 2,2 e i 4,4 mSv/anno. Ciò impone naturalmente una conoscenza puntuale delle concentrazioni e la messa in atto di un efficace sistema di ventilazione. Queste stime di dose del personale lavorativo sono molto vicine a quelle valutate recentemente dal Dipartimento di Fisica dell'Università di Napoli per alcune terme dell'isola d'Ischia [19]. L'esposizione in ambienti termali, per la popolazione che ne fa uso, è invece del tutto trascurabile, se si tiene conto che un ciclo terapeutico termale dura mediamente solo 12 giorni e quindi il fattore d'occupazione – su scala annua – è evidentemente irrilevante.

Bibliografia

1. Direttiva EURATOM 2013/51 del 22/12/2013.
2. UNSCEAR 2000 Report Vol. I.
3. ISPSEL (2007) *Il radon in Italia: guida per il cittadino*.
4. WHO (2010) *Handbook on Indoor Radon*.
5. IARC (2015) *List of classification by cancer sites with sufficient and limited evidence in humans*.
6. ICRP Publication 115 (2010) *Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon*.
7. Darby (2005) "Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data

from 13 European case-control studies", *British Med J*.

8. Bochicchio (2008) "The radon issue: considerations on regulatory approaches and exposure evaluations on the basis of recente epidemiological results", *App. Radiat. Isotopes*.
9. ISS (2004) *Piano Nazionale Radon*.
10. AA.VV. (2012) *Cigarette smoking and lung cancer-related risk estimates for the major histological types from a pooled analysis of case-control studies*, N.I.H.
11. Rapporto ARPAT 2010 sulle concentrazioni di Rn nelle abitazioni e nei luoghi di lavoro.
12. Bochicchio (2010) "Rischio di tumore polmonare attribuibile all'esposizione al radon nelle abitazioni delle Regioni italiane", ISS.
13. Bochicchio, Campos Venuti, Nuccetelli, Piermattei, Risica, Tommasino, Torri (1999) *Results of the National Survey on Radon Indoors in the all the 21 Italian Regions*, Proceedings of Radon in the Living Environment Workshop, aprile 1999.
14. ARPA Emilia Romagna (2007) *Il radon ambientale in Emilia Romagna*.
15. AA.VV. (1995) *Radioattività naturale nelle abitazioni – Risultati dell'indagine sull'esposizione in Campania*, Dipartimento di Fisica e Servizio di Radioprotezione Università Federico II di Napoli.
16. Venoso, De Cicco, Flores, Gialanella, Pugliese, Roca, Sabbarese (2009) "Radon concentrations in schools of the Neapolitan area", *Radiation Measurements*.
17. Pugliese, Quarto, Loffredo, Mazzella, Roca (2013) "Indoor Radon Concentrations in Dwellings of Ischia Island", *Journal of Environmental Protection*.
18. Quarto, Pugliese, Loffredo, Mazzella, Roca (2013) "Effectiveness of radon remedial action: a simple case study implemented in a school on the island of Ischia", *Journal of Environmental Protection*.
19. Pugliese, Quarto, Roca (2013) *Radon concentrations in air and water in the thermal spas of Ischia Island*, ISBE.

Fauna, gestione e conservazione di un patrimonio naturale

Domenico Fulgione

La gestione per la conservazione della biodiversità è uno strumento utile a fronteggiare la progressiva scomparsa di specie e habitat come conseguenza diretta ed indiretta delle attività umane.

Le specie in pericolo di estinzione subiscono un decremento numerico principalmente a causa della persecuzione diretta, della distruzione degli habitat, dell'introduzione di altre specie e dell'inquinamento. Per molti animali e vegetali è necessario l'intervento umano per assicurarne la sopravvivenza.

La dimensione del problema è tale che può essere definito come la "sesta estinzione", poiché la sua entità è confrontabile con quelle di altre estinzioni di massa documentate negli strati geologici.

Una specie persiste sulla Terra per circa 5-10 milioni di anni, questo dimostra come il processo di estinzione sia una fase naturale del processo evolutivo. Ma di solito l'estinzione è bilanciata da un processo di *speciazione* che ristabilisce il livello di diversità con la nascita di nuove specie. Purtroppo durante la *sesta estinzione* il processo di speciazione fatica a restituirci nuove specie per bilanciare il progressivo impoverimento indotto dall'umanità, la prima specie nella storia della vita sulla Terra a diventare una forza geofisica.

Ma ci servono proprio? Voglio dire, tutte le specie, anche alcuni fastidiosi e insignificanti insetti? Probabilmente sì! Se immaginiamo un mondo senza insetti,

nel giro di pochi anni trasformazioni cataclismatiche porterebbero all'estinzione anche la nostra specie.

Immaginiamo.

Le piante a fiore cesserebbero di riprodursi senza impollinatori, e nel giro di un secolo o due scomparirebbero gradualmente quelle erbacee prima, arbusti ed alberi poi. Questo innescherebbe l'estinzione di molte specie di uccelli e altri vertebrati terrestri che dipendono da siti riproduttivi, frutti e semi. I suoli precipiterebbero in una spirale di ansia perché gli insetti, e non i lombrichi, sono i principali aratori sulla terra. Da questa attività di rimescolamento dipendono tutti gli organismi che vivono nei primi strati del terreno: protozoi, nematodi, molluschi e anellidi.

Il degrado e la morte del suolo porterebbe alla scomparsa anche di quelle piante che non dipendono dagli insetti impollinatori, come le piante anemofile, felci e conifere. Queste si erano probabilmente espanse per assenza di competizione nelle aree dove erano scomparse le angiosperme.

Tutta questa massa di morte indurrebbe una crescita esponenziale di funghi e batteri che resterebbero dominanti per qualche secolo sul nostro pianeta, ormai brullo e lanuginoso. All'uomo resterebbero, come fonte trofica, le specie allevate e la dispensa rappresentata dal mare. Ma in ragione della massa umana si innescherebbe una competizione feroce tra i popoli nel reperimento delle risorse. Si

innescherebbero guerre per il controllo delle fonti di cibo, sempre più scarse. Intrappolati su un mondo sempre più inospitale, pregheremmo per il ritorno delle zanzare, delle api, delle formiche e di qualche pianta infestante.

Abbiamo giocato con le ipotesi, ma attenti ai pesticidi.

Di quali strumenti siamo dotati per affrontare questi temi, non per gioco, ma in maniera più razionale e realistica? Tra questi strumenti, lo studio dell'ecologia e dei processi evolutivi. Accrescere la nostra conoscenza sull'evoluzione, sulla relazione che esiste tra popolazioni e specie, significa poter calibrare le nostre azioni in modo da renderle compatibili e prevenire effetti a catena molto rischiosi.

Il biologo cerca continuamente strumenti di studio che gli consentano di imparare il funzionamento dei sistemi naturali. Il biologo evolutivo, il naturalista, l'ecologo delle popolazioni non dispone sempre di condizioni controllate o di un laboratorio entro cui sviluppare modelli predittivi che siano applicabili al contesto ambientale. L'estinzione e la speciazione si esplicano in sistemi difficilmente prevedibili e lo studio deve essere spostato dove questi fenomeni avvengono. Per questo le isole sono contesti preziosi. Laboratori in cui analizzare fenomeni esportabili sulla terraferma. Che le isole rappresentino straordinari laboratori lo dimostra l'impatto dei primi studi di biogeografia insulare sulla comunità scientifica che si occupava di conservazione. Quando MacArthur e Wilson nel 1967 enunciarono i principi di estinzione e speciazione che regolavano la diversità insulare fu immediatamente chiaro come questi principi potessero essere applicabili in un qualsiasi posto della Terra. Gradualmente sorsero e si svilupparono studi su sistemi terrestri, prime prove di lavoro sulla biologia della conservazione e sulle sue applicazioni. Nel 1978 Soulé e Wilcox

pubblicarono gli atti di un convegno che è considerato l'atto di nascita della biologia della conservazione, scienza della rarità e della diversità, secondo la visione sviluppata nel 1986 in un'opera curata sempre da Soulé.

L'isolamento condiziona la biologia delle popolazioni naturali, per questo e per altri motivi, le isole rappresentano serbatoi di diversità.

Le comunità animali e vegetali insulari sono diverse da quelle della terraferma appartenenti alla stessa specie. Molte teorie evolutive hanno tentato di spiegare questa strana piega che prendono le popolazioni poste in isolamento forzato con la *sindrome insulare*, la *regola insulare*, la *sindrome insulare inversa*.

Per esempio, se si considera l'isola come uno spazio definito, più o meno grande, in cui le variazioni climatiche, la disponibilità alimentare, l'affollamento, la difficoltà di sfuggire ad un predatore e la probabilità di subire catastrofi contribuiscono ad una forte instabilità, si capisce perché le popolazioni cercano soluzioni per trasferire, prima possibile, i propri geni alla generazione successiva. Così, le popolazioni *che di domani non han certezza* competono sfrenatamente per il cibo, sono aggressive, maturano precocemente, investendo molta energia nella riproduzione e nella produzione di uova.

Di solito queste caratteristiche trascinano con se anche altri tratti tipicamente insulari come lo spiccato cromatismo, motivo per cui alcune piccole isole sono frequentate da animali più scuri dei parenti della terraferma, colorati più intensamente o addirittura melanici.

Vivere su un'isola quindi può segnare il percorso evolutivo, rendendo peculiari le faune e le flore insulari anche riguardo le con specifiche della terraferma.

Le popolazioni insulari contribuiscono alla creazione di una straordinaria diversità di per se, che poi si mescola in un insieme di altre specie che cambia

nei vari periodi dell'anno secondo un preciso calendario popolato dalle specie stanziali e arricchito da quelle di passo, dalle nidificanti, e dalle specie che trascorrono sull'isola solo il periodo invernale, ovvero le svernanti.

Uno dei fenomeni che incrementa significativamente la diversità insulare a livello specifico riguarda, per esempio, le migrazioni degli uccelli. Tutte le specie che si spostano dal Continente africano verso l'Europa, durante la primavera, e viceversa, durante l'autunno, seguono precisi percorsi che interessano le isole. A queste si mescolano specie che invece seguono i meridiani, uccelli che lasciano i quartieri riproduttivi dell'est Europa per svernare nel bacino del Mediterraneo.

Ischia, in primavera e in autunno, è investita da ondate di gufi, usignoli, upupe e variopinti silvidi. Uccelli passeriformi, grossi rapaci, trampolieri che utilizzano l'isola come scalo lungo una rotta di migliaia di chilometri. Altri ci passano l'inverno, o decidono di nidificare. Ischia, come altri scali del Mediterraneo, per questi uccelli rappresenta la sopravvivenza.

La diversità delle specie che migrano, nidificano o svernano, rappresenta un patrimonio naturalistico dell'intera umanità e il bacino del Mediterraneo, con le sue isole, garantisce che tutto questo si preservi e si ripeta miracolosamente ogni anno.

Un *turnover* di fauna che arriva o che riparte, che si colloca in precise nicchie ecologiche offerte dall'isola. Le pinete dell'isola di Ischia (un sito di importanza comunitaria per la conservazione degli habitat, SIC-IT8030022) ospitano regoli (*Regulus regulus*) e fiorrancini (*Regulus ignicapilla*), tortore (*Streptopelia turtur*) e colombacci (*Columba palumbus*); i boschi a latifoglie e la macchia mediterranea del corpo centrale (sito di importanza comunitaria SIC-IT8030005) sono ambienti fondamentali alla so-

pravvivenza di Tordo sassello (*Turdus iliacus*), Tordo bottaccio (*Turdus philomelos*), Cesena (*Turdus pilaris*) e Torde-la (*Turdus viscivorus*). Le rupi costiere (altro SIC-IT8030026) ospitano una rara colonia di gabbiano corso (*Ichthyaetus audouinii*) un laride di grande importanza ecologica che nidifica sull'isola ormai da diversi anni.

Il falco pescatore (*Pandion haliaetus*), il pellegrino (*Falco peregrinus*) e il nibbio bruno (*Milvus migrans*) solcano i cieli di altri siti dell'isola che sono scaturiti dalla direttiva europea per la tutela habitat: la stazione di *Cyperus polystachyus* (SIC-IT8030034) e i fondali marini di Procida e Vivara (SIC-IT8030010).

La fauna cavernicola ischitana è arricchita da ortotteri, misidacei e i più vistosi pipistrelli come il ferro di cavallo maggiore (*Rhinolophus ferrumequinum*) e minore (*Rhinolophus hipposideros*).

L'effetto dell'isolamento si fa sentire su specie con una scarsa capacità dispersiva come piccoli rettili e anfibi. La popolazione ischitana di rospo smeraldino (*Bufo balearicus*) potrebbe rivelare interessanti peculiarità da un punto di vista evolutivo.

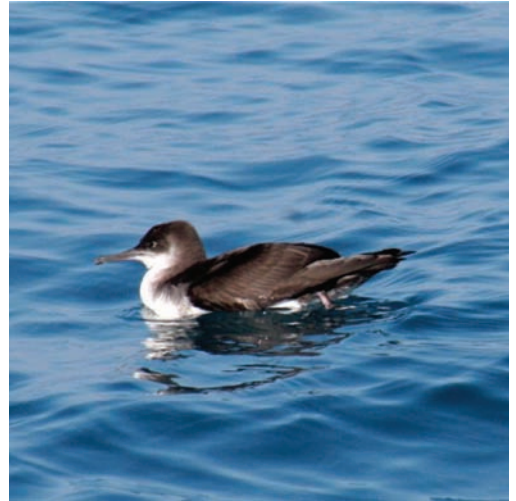
La diversità che è custodita dall'isola sopravvive in ragione di diverse componenti che interagiscono, come la collocazione spaziale di Ischia, dei suoi ambienti e della integrazione tra attività umana e biodiversità. Si tratta di un equilibrio che solo un'attenta gestione può rendere duraturo. Gestire la biodiversità è un complesso sistema di iniziative entro cui si innesta prima di tutto la conoscenza e la capacità di elaborare modelli predittivi.

La gestione di un patrimonio naturale se collegata alla conoscenza dei fenomeni che lo governano potrà svilupparsi senza limitazioni dogmatiche. Studiare i processi e le variabili coinvolte è l'unica strada percorribile per tutelare compatibilmente e consapevolmente la natura, garantendo anche uno sviluppo economico delle popolazioni locali. In questa

Airone guardabuoi
(*Bubulcus ibis*).
Foto di Domenico
Fulgione.



Berta minore
(*Puffinus yelkouan*).
Foto di Domenico
Fulgione.



Colombaccio
(*Columba palubus*).
Foto di Domenico
Fulgione.



Gabbiano corso
(*Ichthyaetus
audouinii*). Foto di
Domenico Fulgione.



visione deve comunque essere garantito un energico contrasto all'illecito (bracconaggio, devastazione e vandalismo) che impoverirebbe il bene da conservare, trascinando l'opinione pubblica verso una deviante forma di fruibilità. L'appostamento per la caccia alle specie migratrici che passano e sostano sull'isola è una forma di barbarie, non un diritto, ne uno sport, tantomeno una passione. Così, purtroppo, ingannate dai richiami, periscono centinaia di quaglie (*Coturnix coturnix*) che giungono sulle coste di Ischia durante il passo primaverile. Un fruibilità del bene ambientale basata sui principi della conservazione deve,

quindi, preoccuparsi di informare, emozionare e divertire. Deve basarsi su una precisa identità del bene e deve contribuire alla sua conservazione. La fruibilità è un importante volano di economia per le comunità locali che non devono intendere la conservazione dei beni naturalistici come una limitazione o una privazione di questi. Il bene ambientale è, prima di tutto, delle popolazioni locali che lo hanno conservato fino ad oggi. Lo hanno conservato attraverso uno sfruttamento equilibrato e compatibile. Cosa è successo, perché da un certo momento in poi è stato necessario attuare delle politiche di con-

Coniglio selvatico (*Oryctolagus cuniculus*). Foto di Domenico Fulgione.



Macaone (*Papilio machaon*). Foto di Domenico Fulgione.



Rospo (*Bufo bufo*). Foto di Maria Buglione.



servazioni più stringenti? Il progresso dei mezzi deputati allo sfruttamento ha sempre più affinato e ottimizzato la pesca, l'agricoltura, l'estrazione di materie e acqua. L'impatto demografico è aumentato considerevolmente, così come la capacità che l'uomo ha acquisito negli spostamenti viaggi ed esplorazioni. Ma non basta, non è solo questo che ha fatto virare le politiche di tutela verso una strategia della *privazione* piuttosto che della gestione. Se vogliamo innescare politiche di fruibilità compatibili con le economie locali, se vogliamo evitare scontri sociali tra cittadini e enti di gestione, dobbiamo necessariamente risolvere questo quesito,

dobbiamo capire come e quando si è rotto questo equilibrio.

Ischia merita questi livelli di attenzione nelle politiche di pianificazione territoriale. Il patrimonio naturalistico è parte integrante del sistema isola e delle attività umane. Lo sfruttamento delle risorse naturali del suolo del sottosuolo e del mare di cui è circondata non possono prescindere da uno studio dettagliato dei sistemi naturali. Una strada che conduce ad una corretta gestione che potrebbe evidenziare elementi di pregio che si aggiungono a quelli esistenti aumentando il valore turistico.

Un'isola laboratorio per lo studio dell'acidificazione marina

Maria Cristina Gambi, Nuria Teixido

L'isola d'Ischia è ben nota per le sue risorse ambientali, culturali e paesaggistiche sia a terra che a mare che hanno portato nel 2008 all'istituzione dell'Area Marina protetta del "Regno di Nettuno" [1], di diversi Geositi terrestri e marini [2], ed anche all'ipotesi di proporre l'isola come patrimonio mondiale naturale e culturale dell'umanità [3]. Ischia presenta una lunga e ben documentata storia vulcanica; le eruzioni hanno generato differenti rocce basaltiche e depositi di frane detritiche anche a mare [4], che fanno delle coste e dei fondali sommersi dell'isola un "arcipelago" di secche, scogli e faraglioni, canyons, duomi e resti di edifici vulcanici, falesie verticali e grotte semi-sommerse e sommerse. L'origine vulcanica di Ischia e la sua complessità geo-morfologica si riflette in una elevata varietà di ambienti sommersi con caratteristiche ecologiche molteplici che favoriscono una biodiversità elevata ed una struttura a mosaico di habitat e comunità [1]. Nell'isola di Ischia quindi le relazioni tra geologia e biologia sono strette ed imprescindibili per capire le emergenze naturalistiche ed ecologiche dei fondali marini. Il vulcanismo pregresso dell'area si manifesta ancora oggi attraverso una intensa attività idrotermale sia a terra che a mare, ma anche con fenomeni di emissioni gassose fredde e fumarole calde presenti in varie parti interne e costiere

dell'isola che testimoniano la presenza di cospicui depositi sub-crostaali soprattutto di CO_2 [5]. Le caratteristiche geochimiche ed isotopiche dei gas emessi varie aree dell'isola sono state studiate da diversi autori e sintetizzate da Tedesco [6], che identifica anche alcuni siti costieri nella parte nord-est ed est dell'isola interessati da emissioni sommerse composte al 95% da CO_2 e senza presenza di solfuri tossici, e che escono alla stessa temperatura delle acque circostanti. La peculiarità delle emissioni sommerse di CO_2 è di generare una naturale acidificazione delle acque (abbassamento del pH ed alterazione della chimica dei carbonati disciolti), quindi queste zone rappresentano "laboratori naturali" per studiare il problema dell'adattamento di singole specie nonché di intere comunità ed ecosistemi all'acidificazione marina, e vere "finestre sul futuro" per osservare nell'attuale i possibili scenari ecologici dei mari sulla base dei valori del pH previsti da alcuni modelli geochimici per il non lontano 2100 [7]. Uno dei siti di accumulo delle emissioni antropiche di CO_2 è appunto l'ambiente marino dove questo gas si dissolve per formare acido carbonico. Sebbene l'acqua di mare tamponi questo processo chimico, l'acidità dell'ambiente marino sta aumentando con un incremento del 30% di H^+ , pari ad un abbassamento di 0,1 unità del pH dall'era industriale ad oggi. Questo fenomeno è conosciuto

to come “acidificazione degli oceani”. È stato stimato che entro il 2100, se l’uso di combustibili fossili continuerà con i ritmi attuali, la caduta di pH nell’ambiente marino sarà addirittura di 0,3-0,4 unità [7]. L’acidificazione marina rappresenta quindi l’altra faccia del problema dell’immissione di CO₂ in atmosfera e del cambiamento climatico globale, e sta minacciando specie ed ecosistemi, soprattutto quelli costituiti da specie a guscio/scheletro calcareo (es., barriere coralline, coralligeno, coralli profondi ecc.). Esiste pertanto una notevole attenzione della comunità scientifica internazionale in questi ultimi anni anche da parte dei cosiddetti “policy makers” [8].

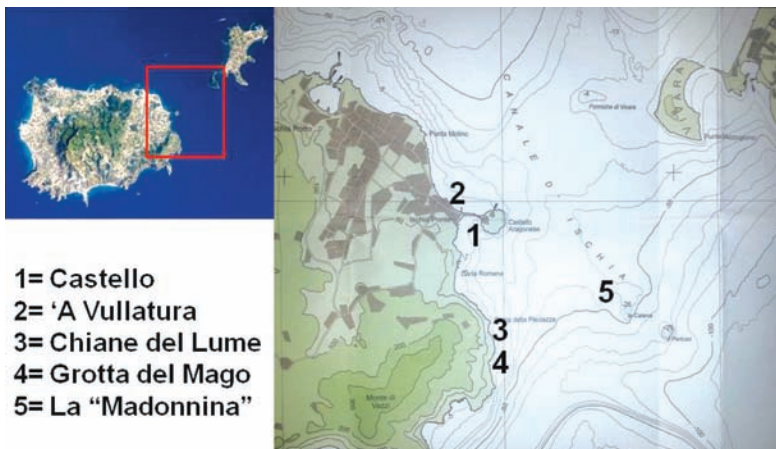
Ad Ischia i ricercatori della Stazione Zoologica studiano il problema dell’acidificazione marina da circa 10 anni concentrando le ricerche nella zona attorno alle coste del Castello d’Ischia, che rappresenta anche il primo sistema di questo tipo studiato al mondo [9] e ad oggi ancora tra i più interessanti ed investigati. A seguito della rilevanza dello studio *in situ* del problema dell’acidificazione degli oceani, dopo il Castello di Ischia, altri sistemi simili, dislocati sia in Mediterraneo (Italia, Spagna, Grecia) che in altri mari (Papua Nuova Guinea, Giappone, Azzorre, Messico) e definiti

come “CO₂ vents”, sono stati portati alla ribalta scientifica internazionale [10]. Da quanto si evince dalla letteratura ad oggi disponibile su questi peculiari ambienti, ogni area caratterizzata da emissioni vulcaniche di CO₂ possiede una sua “unicità”, pur se a volte il gradiente di pH, la chimica dei carbonati o alcuni organismi possono essere simili. Da qui l’importanza di ciascuna area per poter allargare lo spettro di organismi, habitat e condizioni ecologiche interessate da condizioni “natural” di acidificazione, ed espandere le nostre conoscenze sugli effetti in rapporto agli scenari futuri. Recentemente attorno alle coste di Ischia, ed in particolare nel settore nord-orientale ed adiacenze del canale di Ischia (Figura 1), sono state individuate altre zone di emissioni sommerse di CO₂ simili al Castello [10], e la cui esplorazione e studio è iniziata lo scorso anno e vede attualmente gli Autori ed altri loro collaboratori impegnati in una ricerca, denominata “Windows to the future” finanziata dalla National Geographic Society (USA). L’importanza di tali siti risiede nel fatto che le emissioni interessano molti altri tipi di habitat e specie, quali il coralligeno, le scogliere sommerse e le praterie di Posidonia più profonde, le grotte semi-oscuere e i fondi sabbiosi e detritici, permettendo in questo modo di estendere le osservazioni sugli effetti dell’acidificazione su un numero maggiore di specie e comunità. Le diverse aree di emissione di CO₂ studiate anche nell’ambito del progetto Windows to the future sono sotto brevemente descritte.

Il Castello Aragonese

Il Castello Aragonese (sito n. 1 in Figura 1), individuato come geosito marino dalla Regione Campania (n. 20), rappresenta anche l’unica area a mare sotto tutela archeologica dell’isola d’Ischia per

Figura 1. Mappa di Ischia (da [11]) con indicate le emissioni sommerse costiere dell’isola che sono studiate dai biologi della Stazione Zoologica di Napoli: 1 = Castello Aragonese; 2 = ‘a vullatura’ spiaggia la Mandra; 3 = Chiane del Lume; 4 = Grotta del Mago; 5 = secca la Madonnina (canale d’Ischia).



la presenza di antichi insediamenti di varie età, inclusi i recenti rinvenimenti della città romana di Aenaria (III sec. a.C.). Il Castello è un antico isolotto di origine vulcanica localizzato al bordo di una faglia [12] ed attualmente collegato ad Ischia da una strada ed un ponte, le cui coste sono interessate da intense emissioni di gas dal fondale marino, emissioni favorite appunto dalla presenza della faglia stessa. Questo gas è rappresentato per circa il 95% da anidride carbonica [6, 9], ed interessa una zona estesa per circa 150 m x 20 m lungo la parete rocciosa sia a nord che a sud dell'isolotto rispetto alla strada. Da questa zona di intense emissioni si origina un gradiente di acidità delle acque che da valori estremamente bassi (con medie tra 6,6 e 7,4 unità) raggiunge i valori normali di pH per le acque del Mediterraneo di 8,12 lungo un transetto che si sviluppa sia sul lato sud che nord del Castello. Gli habitat che caratterizzano queste aree sono principalmente fondi duri superficiali a densa copertura di macroalghe, e la prateria di *Posidonia oceanica* (Figura 2). Una sintesi delle ricerche svolte e la bibliografia relativa è reperibile in Gambi [13]. Nelle aree a maggiore acidificazione (emissioni più intense) si osserva una riduzione di oltre il 74% delle specie presenti invece nelle aree a pH normale nelle adiacenze del Castello.

'A Vullatura (La bollitura)

Questo sito si trova di fronte alla spiaggia della Mandra (sito n. 2 in Figura 1). I pescatori e marinai locali conoscono il fenomeno e hanno denominato la zona come "a vullatura" (la bollitura) perché l'attività di emissione è così intensa che le acque sembrano "ribollire" [14]. L'area si trova a circa 500 m dal lato nord-ovest del Castello Aragonese, allineata sulla stessa linea di faglia che scorre tra il Castello e le coste dell'isola. La zona interessata dalle emissioni si estende tra 6 e 3 m di profondità. Le bolle di CO₂ escono da un fondale di sabbia grossolana a 5-6 m (Figura 3); dal fondale si innalzano ampie zone di matte di *Posidonia*, che in alcuni punti è alta oltre 2,5 m, e che si sviluppa quindi a circa 3 m di profondità.

Oltre a *Posidonia* nell'area dominano le alghe *Flabellia petiolata* e *Codium bursa* e sui rizomi di *Posidonia* la spugna *Crambe crambe*. Le foglie di *Posidonia* si presentano prive di epifiti calcarei e piuttosto corte a causa di un forte pascolo da parte di pesci (e.g., *Diplodus sargus*). L'area è molto simile alle zone più acidificate del Castello, soprattutto nel lato sud, dove le emissioni interessano anche porzioni di prateria di *Posidonia*. Lo sviluppo verticale della matte di *Posidonia* e la densità delle bolle alla "vullatura" sono però maggiori.

Figura 2. Immagini della zona di massima emissione di bolle di CO₂ al Castello Aragonese con i principali habitat presenti. *Posidonia oceanica* (sinistra) e fondi rocciosi con dense coperture di macroalghe (destra) (Foto: B. Iacono).



Figura 3. Immagini dell'area "A vullatura" (la bollitura) (Foto: Gambi M.C.).



Le "chiane del Lume"

Questa zona (n. 3 in Figura 1) rappresenta una di 3 aree di emissione di gas contigue e localizzate tra la Baia di Cartaromana e la Grotta del Mago, lungo la costa est dell'isola. In questi siti l'emissione di gas è indicata anche nella carta CARG della Regione Campania [15], ed è anche conosciuta da pescatori e subacquei locali. La zona attualmente studiata da noi si trova circa 200 m fuori Punta del Lume ed è costituita da un'ampia radura a 10-12 m di profondità larga circa 25 m e lunga circa 50 m circondata quasi interamente da ampie macchie di *Posidonia oceanica* insediata su una matte di circa 50-60 cm di altezza. Le emissioni, sottili ma molto dense, fuoriescono dal fondo di ghiaia e lapillo della radura (Figura 4).

Uno dei lati della radura è delimitato da scogli e da un banco roccioso esteso

per circa 20 m di lunghezza e che con un pinnacolo si innalza da 10 a 4 m di profondità. Nella scogliera sommersa adiacente alle emissioni è presente un tipico popolamento infralitorale fotofilo piuttosto diversificato, e tra le specie "calcificanti", quelle potenzialmente più vulnerabili alla acidificazione, sono presenti l'alga bruna *Padina pavonica*, e la madrepora *Cladocora caespitosa*.

La Grotta del Mago

La grotta del Mago (sito n. 4 in Figura 1), è una cavità semisommersa che si apre lungo le coste sud est dell'isola d'Ischia, costituita da un'ampia entrata su una grande camera (40 m di lunghezza per 30 di larghezza) da cui si diparte uno stretto cunicolo lungo circa 60 m che termina in una camera più piccola completamente oscura. Il sito

Figura 4. "chiane del Lume" (10-12 m) emissioni di CO₂ su radura detritica, Posidonia e rocce (Foto: M.C. Gambi).



rappresenta uno dei primi sistemi di grotta studiati in Italia ed in cui è stato analizzato l'effetto sul benthos sia del gradiente di luce che di quello idrodinamico [16]. La grotta testimonia anche il notevole aumento del madreporario termofilo, *Astroides calycularis* (Figura 5), che domina il popolamento della grotta e il cui ricoprimento dal 1976 (anno dei primi rilievi in [16]) al 2003 è aumentato di quasi 8 volte, probabilmente come

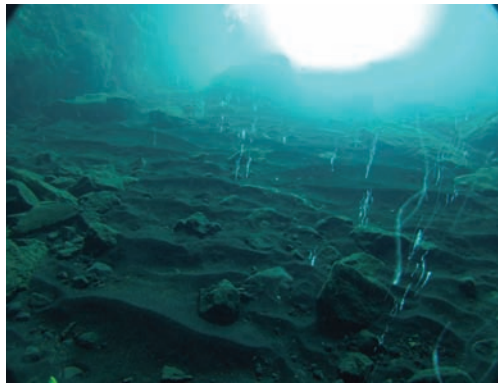


Figura 5. Fondale della camera grande della Grotta del Mago e dell'entrata della grotta con emissioni di bolle di CO₂ e particolare del popolamento sulla parte della camera grande con madrepora arancioni (*Astroides calycularis*) e spugne (Foto: M.C. Gambi, N. Teixido).

conseguenza dell'aumento medio della temperatura superficiale [17]. Sul fondo della camera grande della grotta (6-7 m di profondità), caratterizzato da ghiaia/sabbia grossolana e massi sparsi, sono presenti emissioni di CO₂ (Figura 5) che si estendono fino all'ingresso esterno della grotta. Tali emissioni, notate anche dai primi ricercatori che hanno lavorato in questo sistema [18], e da chi ha fatto rilievi successivamente [17], erano tuttavia molto scarse e disperse. Dai rilievi visivi del 2003 a quelli del 2014 [10] è stato notato un aumento sia dell'intensità che della distribuzione delle bolle di CO₂ che attualmente sono presenti in modo piuttosto omogeneo all'interno di tutta la camera grande.

Secca la “Madonnina”

Questa zona, localizzata nel canale d'Ischia (sito n. 5 in Figura 1) tra 36 e 48 m di profondità, prende il nome dal fatto che una piccola statua di bronzo rappresentante la Madonna è stata posta in un anfratto della parete a 43 m di profondità da un subacqueo locale quale ex-voto [19]. La secca, che è costituita di due grandi faraglioni, è localizzata a 400 m di distanza dal complesso di secche detto Catena-Pertuso che è ben segnalato nelle carte batimetriche dell'isola [11] (Figura 1). Le emissioni di gas sono sul fondo di sabbia grossolana a 47-48 m di profondità, ad una estremità dei due faraglioni e si sviluppano per circa 25 m di lunghezza ed una larghezza di 3-4 m dalle pareti rocciose. L'ambiente dovrebbe essere quello tipico di coralligeno, data la profondità e come testimonia la presenza di alcuni organismi caratteristici, quali numerosi esemplari di *Centrostephanus longispinus*, *Bonellia viridis*, *Palinurus elephas*, e cospicua presenza di *Aplysina aerophoba* in quasi tutti gli anfratti e spaccate dei due faraglioni, e densi banchi di *Anthias an-*

thias. Tuttavia, ad una visione d'insieme i due faraglioni sembrano spogli (Figura 6), in particolare sono totalmente assenti le tipiche gorgonie (*Paramuricea*, *Eunicella* spp., *Leptogorgia*, *Savalia*) comuni a queste profondità, briozoi e spugne perforanti, le pareti sia verticali che orizzontali del cappello sono molto poco colonizzate ed il coralligeno risulta poco strutturato con biocostruttori limitati ad alghe coralline incrostanti, con formazioni comunque non cospicue. L'ambiente descritto risulta molto povero soprattutto se paragonato alle secche attigue (site a soli 400 e 800 m di distanza) del complesso della Catena-Pertuso che, proprio per il regime elevato di corrente che caratterizza il canale di Ischia, presentano habitat e comunità del coralligeno tra le più diversificate (Figura 6), cospicue e spettacolari di Ischia [1], inserite nella zona A di riserva integrale dell'AMP, ma che non

sono interessate da emissioni di gas. Risulta pertanto spontaneo ipotizzare che l'impoverimento notevole osservato in questa zona sia dovuto all'effetto negativo delle emissioni per insediamento e crescita di molti degli organismi tipici del coralligeno soprattutto biocostruttori calcificanti (es., gorgonie, briozoi, alcune corallinacee, ecc.). È molto probabile che, data la profondità sempre al di sotto del termoclino stagionale (ad Ischia localizzato tra 15-20 di profondità), la stratificazione superficiale limiti il mescolamento della colonna d'acqua favorendo la permanenza delle acque acidificate in profondità. In conclusione, l'isola d'Ischia rappresenta nel suo complesso un vero grande laboratorio naturale per lo studio degli effetti e dei rischi del cambiamento climatico sull'ambiente marino del Mediterraneo con particolare riguardo all'acidificazione marina.

Figura 6. Immagini panoramiche delle pareti alla secca della "Madonnina" (48-36 m). A-B Si noti l'aspetto spoglio delle pareti verticali (A) ed orizzontali (cappello) (B) delle pareti e l'assenza totale di gorgonie ad altri biocostruttori cospicui e tipici del coralligeno (foto: P. Sorvino). C-D Pareti della secca del Pertuso (circa 800 dalla Madonnina) con lo sviluppo normale del coralligeno, soprattutto gorgonie rosse, *Paramuricea clavata* (foto: P. Sorvino).



Ringraziamenti

Il nostro ringraziamento a Pietro Sorvino (ANS Diving Ischia) per la segnalazione di emissioni di CO₂ alla secca della “Madonnina” ed alle “chiane del Lume”, ed a Giulio Lauro per l’aiuto nell’accesso alla “vullatura” di fronte alla spiaggia della Mandra. Si ringraziano anche il Cap. Vincenzo Rando e Bruno Iacono (SZN a Villa Dohrn) per il costante supporto a mare sia al Castello che nei nuovi siti di emissione di CO₂ attorno ad Ischia. Infine un ringraziamento speciale a Fiorenza Micheli, Kristy Kroeker e Kike Ballesteros per collaborare con noi allo studio “Windows to the future”, finanziato dalla National Geographic Society. Questo scritto rappresenta una sintesi di un articolo pubblicato da Gambi M.C. nel 2014 sul *Notiziario della Società Italiana di Biologia Marina (SIBM)*.

Bibliografia

- Gambi M.C., De Lauro M., Jannuzzi F. (a cura di) (2003) *Ambiente marino costiero e territorio delle isole Flegree (Ischia Procida Vivara - Golfo di Napoli). Risultati di uno studio multidisciplinare*. Accademia delle Scienze, Lettere ed Arti in Napoli, Memorie Società di Scienze Fisiche e Matematiche, Liguori Editore, Napoli, 425 pp.
- Monti L. (2011) *Isola d'Ischia. Guida geologico-ambientale*. Regione Campania Assessorato Difesa del Suolo. Litografia artistica cartografica. Firenze. 356 pp. + 3 carte 1:10.000.
- Leone U., Greco P. (a cura di) (2014) *Ischia Patrimonio dell'Umanità. Natura e cultura*. Doppiovoce, Napoli. ISBN 978-88-89972-44-1. 215 pp.
- de Alteriis G., Insinga D.D., Morabito S., Morra V., Chiocchi F.L., Terrasi F., Lubritto C., Di Benedetto C., Pazzanese M. (2010) “Age and submarine debris avalanches and tephrostratigraphy off shore Ischia Island. Tyrrhenian Sea, Italy”. *Marine Geology*, doi: 10.1016/j.margeo.2010.08.004.
- Pecoraino G., Brusca L., D'Alessandro W., Giammarco S., Inguacchiato S., Longo M. (2005) “Total CO₂ output from Ischia Island volcano (Italy)”. *Geochem. Journ.*, 39: 451-458.
- Tedesco D. (1996) “Chemical and isotopic investigation of fumarolic gases from Ischia Island (Southern Italy): evidence of magmatic and crustal contribution”. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 74: 233-24.
- Caldeira K., Wickett M.E. (2003) “Anthropogenic carbon and ocean pH”. *Nature*. 425, 365.
- IPCC 2013. Climate Change 2013 5th Assessment report. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- Hall-Spencer J.M., Rodolfo-Metalpa R., Martin S., Ransome E., Fine M., Turner S.M., Rowley S.J., Tedesco D., Buia M.C. (2008) “Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification”. *Nature*, 454: 96-99.
- Gambi M.C. (2014b) “Emissioni sommerse di CO₂ lungo le coste dell'isola d'Ischia. Rilievi su altre aree come possibili laboratori naturali per lo studio dell'acidificazione e cambiamento climatico a mare”. *Notiziario SIBM*, 66: 67-79 (www.sibm.it).
- de Alteriis G., Tonielli R., Passaro S., De Lauro M. (2006) *Isole Flegree (Ischia e Procida). Serie batimetrica dei fondali della Campania con carta allegata 1:30.000*. Liguori Editore, Napoli, 73 pp.
- Rittmann A., Gottini V. (1981) “L'Isola d'Ischia. Geologia”. *Bollettino del Servizio Geologico Italiano*, 101: 131-274.
- Gambi M.C. (2014a) *L'isola d'Ischia: un osservatorio speciale per lo studio del cambiamento climatico globale a mare*. In: *Ischia Patrimonio dell'Umanità. Natura e cultura*. A cura di: Leone U., P. Greco. Doppiovoce, Napoli, 71-97.
- Lauro G., com. pers.
- Sbrana A., Toccaceli R.M. (2011) *Carta Geologica della Regione Campania. Foglio 464 Isola d'Ischia*. Progetto CARG Campania, Assessorato Difesa del Suolo. Litografia artistica cartografica. Firenze. 216 pp + 1 carta: 10.000
- Cinelli F., Fresi E., Mazzella L., Pansini M., Pronzato R., Svoboda A. (1977) *Distribution of benthic phyto- and zoocoenoses along a light gradient in a superficial marine cave*. In: Keegan B.F., O'Ceidig P.O., Boaden, P.J.S. (eds), *Biology of Benthic organisms*, Pergamon Press, Oxford: 173-183.
- Dappiano M., Gambi M.C. (2004) “New data on occurrence of thermophile scleractinia (Cnidaria, Anthozoa) in the Phlaegrean islands (Ischia, Procida, Vivara - Gulf of Naples), with special attention to *Astroides calycularis*”. In: “Marine Biogeography of the Mediterranean Sea: selected topics”. *Biogeographia*, 25: 31-46.
- Cinelli F., Pronzato R., Pansini M. com. pers.
- Sorvino P., com. pers.

La “cura dell’acqua” e gli antichi: le terme

Rossana Valenti

Nel mondo romano le pratiche termali hanno un’assoluta centralità: l’originalità e la grandezza di quello che è stato definito da Domenico De Masi il “modello romano” risiede infatti non solo negli aspetti costituzionali e normativi, ma anche nella vita quotidiana. Le terme costituivano un luogo pubblico nel quale, almeno per cinque secoli, a partire dal II secolo a.C., si svolgeva, dalla mattina fino all’ora del tramonto, la maggior parte delle attività del cittadino romano, che mescolava la cura del corpo al divertimento, allo studio, agli affari, alla politica. Per almeno cinque secoli i Romani dedicarono agli edifici termali cura, investimenti finanziari, ricerca tecnica e formale.

Gli edifici termali sono la rappresentazione architettonica e organizzativa di questa pratica e della visione della vita ad essa sottesa: il bagno, da pratica prevalentemente igienica, entrò a far parte di una concezione nuova della cura del corpo, della medicina preventiva, della terapia psico-somatica; il concetto di salute passò dall’essere privi di malattie al sentirsi bene nel corpo e nell’anima, godendo il senso pieno della vita. Per tradurre in pratica questa idea occorreva un sistema organico di spazi e di edifici che rappresentassero la sintesi del bagno romano e del ginnasio greco, fondendo in modo equilibrato il benessere del corpo con quello della mente, le attività dell’individuo con la cura della

cosa pubblica, il lavoro con lo studio e il tempo libero.

Le terme fornirono la risposta concreta a questo bisogno di grande raffinatezza civile: a Roma furono costruite almeno un migliaio di terme e più ancora ne furono costruite, di ogni dimensione e qualità, in ogni angolo dell’Impero, destinate a diffondere ovunque l’estetica romana e il suo modello di vita, che non si basava solo ambienti per svagarsi e curarsi, ma su un sistema originale ed efficace per vivere e operare. Nelle terme, infatti, non vi erano solo bagni e piscine, palestre e farmacie, luoghi di ritrovo, viali per passeggiare e terrazze per abbronzarsi, ambienti destinati ai giochi, alle unzioni, alle sabbature, ma anche uffici, biblioteche, auditori, sale per esposizioni e incontri.

Oltre a essere efficace supporto del lavoro e dello svago, le terme furono anche occasione di crescita ed educazione estetica per le masse: vennero quindi costruite in forme eleganti, ornate di pitture, mosaici, marmi, impreziosite da capolavori immortali come il *Toro* o l’*Ercole* farnese, che decoravano le terme di Caracalla, o come il *Laocoonte* nelle terme di Traiano.

Le terme più grandi di tutta la romanità sono quelle di Diocleziano, fatte costruire, in soli otto anni, dal 298 al 306 d.C. Il nome Termini della stazione romana deriva appunto da *thermae* e passa poi a indicare un intero quartiere della città. Dentro le terme di Diocleziano, per

un'estensione di 13 ettari, c'erano bagni, giardini, palestre, biblioteche, uno spazio teatrale di cui abbiamo traccia in Piazza dell'Esedra col suo andamento a semicerchio; l'ingresso della Basilica di S. Maria degli Angeli, realizzata da Michelangelo per volere di papa Pio IV, riutilizza quello che rimane del *calidarium*, perché Michelangelo non osò turbare le strutture antiche tanto erano vaste e maestose. Riutilizzò per il vestibolo della Basilica il *tepidarium* delle terme, senza nulla mutare, e per l'aula centrale il *frigidarium*. Uno degli ambienti, grande 40 metri per 10, era un deposito d'acqua per le esigenze della *natatio*, la piscina scoperta, che era grande quasi quanto quattro piscine olimpioniche dei nostri giorni.

Per organizzare tutto questo (sappiamo che le terme di Diocleziano erano frequentate ogni giorno da 3.000 persone), occorreva un labirinto di acquedotti e tubature, una complessa struttura tecnica, basata su un impianto artificiale che riscaldasse l'acqua e la distribuisse nelle piscine e negli altri ambienti. Ce ne parla Seneca:

Facere solemus dracones et miliaria et complures formas in quibus aere tenui fistulas struimus per declive circumdantas, ut saepe eundem ignem ambiens aqua per tantum fluat spatii quantum efficiendo calori sat est; frigida itaque intrat, effluit calida. Idem sub terra Empedocles existimat fieri, quem non falli crede <Baianis>, quibus balnearia sine igne calefiunt.

(*Naturales Quaestiones* III 24, 2-3)

Siamo soliti fare serpentine, caldaie e parecchi oggetti di diversa forma in cui collochiamo tubi di rame sottili disposti a spirali discendenti: l'acqua circola diverse volte intorno allo stesso fuoco e scorre in uno spazio la cui lunghezza è sufficiente a portarla a un'alta temperatura. Così entra fredda ed esce calda.

Empedocle pensa che la stessa cosa avvenga sottoterra e gli abitanti di Baia, i cui bagni si scaldano senza fuoco, possono attestare che egli non si sbaglia.

Fin dall'antichità le fonti di Baia – fonti di acque calde e sulfuree – hanno costituito un fenomeno che non ha mancato di suscitare sorpresa e curiosità. Il fatto che acque e vapori caldi sgorgassero dalla superficie terrestre ha spinto diversi eruditi del mondo greco e latino a interrogarsi sulle cause di questo particolarissimo fenomeno. Tra questi, il filosofo Seneca, nel passo delle *Quaestiones naturales* sopra riportato, propone una spiegazione che si riaggancia a una teoria di Empedocle di Agrigento (V sec. a.C.), in base alla quale la presenza di sorgenti di acque calde come quelle di Baia sarebbe dovuta all'azione di diverse fonti di calore, che si trovano collocate in più punti del sottosuolo terrestre. Nel caso specifico di Baia, queste fonti di calore andrebbero a riscaldare delle correnti d'aria sotterranee che, a loro volta, circolando attraverso canali e tubature, renderebbero naturalmente calde le acque. Così continua, infatti, la descrizione di Seneca:

Spiritus in illa fervens loco aestua<ri>i infunditur; hic per tuos lapsus non aliter quam igne subdito parietes et vasa balnei calefacit; omnis denique frigida transitu mutatur in calidam nec trahit saporem e vapore<r>io, quia clausa praelabatur.

In essi [*scil.* I bagni di Baia] arriva una corrente d'aria resa calda per il passaggio attraverso uno sfiatatoio naturale; essa circola attraverso le tubazioni e scalda le pareti e le vasche del bagno come se del fuoco fosse stato messo sotto. Tutta l'acqua fredda, in tale passaggio, diviene calda. Dal momento che scorre racchiusa, il suo sapore non è alterato dal mezzo di riscaldamento.

Nel corso della tarda età repubblicana risiedono a Baia alcuni dei personaggi più importanti della vita pubblica romana, quali Mario, Pompeo, Cesare, Crasso, Ortensio, Varrone, Cicerone. Ma soprattutto vi risiede Sergio Orata, ricordato da diverse fonti perché proprio a Baia, oltre a impiantare i primi impianti di itticoltura della storia, avrebbe inventato anche i *pensiles balineae*:

Ostrearum vivaria primus omnium Sergius Orata invenit in Baiano aetate L. Crassi oratoris ante Marsicum bellum, nec gulae causa, sed avaritiae, magna vectigalia tali ex ingenio suo percipiens, ut qui primus pensiles invenerit balineas, ita mangonicatas villas subinde vendendo.

(Plinio il Vecchio, *Naturalis Historia*, IX 168)

All'epoca dell'oratore L. Crasso e prima della guerra marsica, Sergio Orata, primo fra tutti, creò a Baia degli allevamenti di ostriche, non per golosità, bensì per avidità, avendo intenzione di ricavare da una tale ingegnosità grandi guadagni, così come – lui che era stato il primo ad aver creato i “bagni sospesi” – aveva poi tratto grandi entrate, vendendo ville, di cui era aumentato il prezzo di mercato.

Sulla natura dei *pensiles balineae* (o *pensilia balinea*, com'è attestato in altre fonti) vi sono ancora molti dubbi. Secondo una prima ipotesi essi potrebbero corrispondere alle *suspensurae*, di cui parla anche Vitruvio, in *De architectura* V 10. Si tratta di una struttura architettonica costituita da piccoli pilastri a base quadrata e dell'altezza di mezzo metro, finalizzata a tenere sollevato il pavimento di una stanza, per permettere al suo interno la circolazione di aria calda proveniente dalle fornaci poste nel locale sottostante. Questo particolare sistema di riscaldamento, che prende il nome

di ipocausto, sarà usato soprattutto per riscaldare gli ambienti dei monumentali complessi termali che si diffonderanno a Roma, a partire dall'età augustea.

Secondo altre ipotesi, invece, l'espressione *pensiles balineae* potrebbe riferirsi a una pratica relativa all'itticoltura oppure indicare uno specifico trattamento termale, quale quello dei bagni di vapore, che sarà molto praticato a Baia soprattutto in età imperiale, sfruttando le sue fumarole naturali.

L'avvento del Principato segna un'altra tappa importante per la storia di Baia. La località flegrea, infatti, non solo continua a mantenere inalterato il suo prestigio, ma lo accresce, nel momento in cui diventa, sotto la gens giulio-claudia residenza imperiale.

La presenza di Nerone a Baia è testimoniata dalla tradizione popolare che attribuisce il nome di “stufe di Nerone” ai resti di un complesso termale, risalente alla prima età imperiale e sito sul Monte Nuovo, sul fianco prospiciente il lago di Lucrino. Le cosiddette “stufe di Nerone” sono appunto dei sudatori naturali, scavati nel tufo, con lo scopo di sfruttare, per fini terapeutici, la sorgente di acqua calda e le fumarole emananti dal suolo vulcanico, tuttora attive.

In età moderna le “stufe di Nerone” verranno conosciute col nome di sudatorio di Tritoli, come testimoniano Scipione Mazzarella, nel suo *Sito et antichità della città di Pozzuolo e del suo amenissimo distretto*, pubblicato a Napoli nel 1606, e Michele Luigi Muzio nella *Guida de' forestieri curiosi di vedere, e di riconoscere le cose più memorabili di Bozzoli, Baja, Cuma, Misero, Gaeta, ed altri luoghi circumvicini*, edita a Napoli nel 1709. E proprio parlando del tempio di Diana, che sorge presso il sudatorio di Tritoli, Muzio afferma: «si crede che fussero le terme di L. Pisone, dove Nerone soleva spesso andar da lui senza le guardie solite (come scrive Tacito) e forse sono quelle delle quali cantò Marziale: *Quid*

Nerone peius? Quid termis melius Neronianis?». I versi di Marziale, citati da Muzio sono tratti dall'epigramma VII 34, 4-5 e in essi il poeta esalta le terme volute da Nerone, contrapponendovi sarcasticamente l'immagine negativa tradizionalmente attribuita all'imperatore: «Cosa c'è peggio di Nerone? E cosa c'è di meglio delle terme di Nerone?». Sebbene le terme di Nerone di cui parla Marziale in questi versi non siano i sudatori di Baia, bensì, con ogni probabilità, le terme edificate dall'imperatore presso il Campo Marzio, a Roma nel 62 d.C., anche questo dato è indicativo del rapporto di Nerone con Baia. Come, infatti, rileva E. Champlin sia le terme di Campo Marzio che la favolosa reggia conosciuta con il nome di *Domus Aurea* assumono una forte valenza simbolica: come la *Domus Aurea* viene costruita su modello delle *villae* del litorale campano, allo stesso modo le Terme di Campo Marzio sono edificate per offrire al popolo di Roma i medesimi piaceri dei bagni di Baia. L'intento ideologico sotteso a questi due progetti architettonici è decisamente chiaro: portare – sia pure metaforicamente – nella capitale dell'Impero (Roma) la capitale del piacere (Baia).

Ma la fama di Baia e delle sue acque non è legata solo alla dimensione del piacere: in una lettera Cassiodoro scrive:

Perge igitur ad amoenos recessus: perge ad solem, ut ita dixerim, clariorem: ubi salubritate aeris temperata terris blandior est natura. Illic miraculis alta cogitatione perpensis cum arcanis mundi mens humana colloquitur nec admirari desinit quae ibi agi posse cognoscit. His itaque rebus deliciosa exercitatione saginati ad pulcherrima lavacra contenditis, quae sunt et miraculis plena et salutis qualitate pretiosa. Nam etsi hominum cura fabricata noscuntur, naturalibus certe ministeriis exhibentur. Fornaces ibi non roborata convecta

succendunt: cessante flamma perpetuus calor operatur: illic globi fumiferi nasciuntur: aura est purissima, quae ministrat vapores, sudores provocat dulciter anhelos: et tantum a communibus balneis salubrior invenitur, quantum ab humana industria celsior est natura. Videas illic undas perpetuis fumare gurgitibus, quae ita videntur lavantum explere desideria, ut humano credas studio temperatas.

Affrettati, dunque, va' in accoglienti ripari: va' sotto un sole, per così dire, più chiaro, dove la natura, temperata dalla salubrità dell'aria, è più dolce con i territori. Nel valutare con profondo impegno le meraviglie di quel sito, la mente dell'uomo dialoga con i misteri del mondo e non smette di ammirare fenomeni che li trova realizzati. Dunque, ben nutriti di questi cibi con un allenamento fatto di delizie, voi puntate a bagni bellissimi, che sono pieni di attrazioni e prezioso per la qualità della vita. Infatti, anche se è ben chiaro che sono realizzati dall'ingegno umano, ciò che forniscono si presenta come davvero naturale. Lì non c'è bisogno di ammassare legna per alimentare le caldaie, un calore costante è operativo anche se la fiamma viene meno, lì non si sa cosa siano le nuvole di fumo: c'è un'aria purissima, che produce vapori, provoca sudori che fanno dolcemente ansimare. Ed essa si rivela tanto più salubre rispetto ai comuni bagni, quanto più elevata è la natura rispetto allo spirito di impresa umano. Vedi lì le onde fumare in gorghi senza posa, onde che sembrano soddisfare tanto i desideri dei bagnanti da ritenerle regolate dall'attività dell'uomo.

La lettera è redatta da Cassiodoro per conto del re Atalarico che accorda una licenza per motivi di salute a un alto ufficiale. Siamo all'incirca nel 527. Il testo celebra le bellezze dei luoghi secondo

la nota topica delle “delizie baiane”, ma ne incrementa l’immagine addentrando nella descrizione minuta delle caratteristiche delle acque termali, i cui movimenti, la cui distribuzione dei vapori sono tanto perfetti e rispondenti alle esigenze umane da far pensare a un intervento dell’artificio umano. Ma tutta la lettera è pervasa da un senso di genuino stupore rispetto alla straordinaria sintonia tra la natura e la capacità dell’uomo di mettere a frutto le risorse dell’ambiente, una sintonia che assume talvolta il carattere di una gara generosa nell’offrire i reciproci doni. La descrizione è minuta e attenta ai minimi particolari: anche se non abbiamo certezza di una conoscenza diretta del luogo da parte dello scrittore, si rileva l’appassionata descrizione di una terra e della sua bellezza, che di lì a poco verrà violentemente colpita dalla guerra gotobizantina che avrà come teatro insanguinato proprio il Mezzogiorno d’Italia: Cassiodoro, dunque, celebra gli ultimi momenti in cui fu possibile godere delle amenità baiane.

La scomparsa delle terme dalla tradizione letteraria procede di pari passo con la progressiva riduzione della importanza delle terme come luogo di incontri, di piaceri (che la morale cristiana osteggia-

va: nel concilio di Laodicea del 363 d. C. fu proibito a tutte le donne l’accesso alle terme) e soprattutto con la visione dell’efficientismo industriale ha separato nettamente il lavoro e i suoi spazi dalla vita, il gioco dallo studio, il bello dal pratico.

Le terme hanno invece celebrato proprio questa unità, che ci impone di considerare le pratiche, le tecniche, le conoscenze tradizionali e locali come parti di un sistema complesso – storico, ecologico, ambientale – che può essere riproposto, adattandolo criticamente alle esigenze dei luoghi e dell’oggi, in un rapporto problematico, aperto, non retorico, con i saperi e le culture dell’acqua che la tradizione storica ci ha consegnato.

Bibliografia essenziale

- D. De Masi (2014) *Mappamundi*. Modelli di vita per una società senza orientamento, Milano.
- R. Luzzi (2011) *Non era tanto salubre quest’acqua: le acque di Baia in età romana*. In: R. Valenti (a cura di) *Intorno ai Campi Flegrei. Memorie dell’acqua e della terra*, Napoli, pp. 17-43.
- M. Squillante (2011) *Il luogo perfetto: la fama di Baia alle soglie del Medioevo*. In: R. Valenti (a cura di) *Intorno ai Campi Flegrei. Memorie dell’acqua e della terra*, Napoli, pp. 45-52.

Il sistema idrotermale e la sua radioattività

Paolo Gasparini

Ischia è caratterizzata da un idrotermalismo molto esteso, con un flusso di acque superficiali, stimato in circa 13,5 milioni di metri cubi per anno [1], che alimenta sorgenti con temperature fino a 90°C e composizione chimica abbastanza diversa nei differenti settori dell'isola.

Questo ingente sistema idrotermale è alimentato essenzialmente da tre fonti:

1. le acque meteoriche che penetrano al di sotto della superficie e si incanalano lungo un articolato sistema di strati superficiali ad alta permeabilità. L'elevata piovosità dell'isola (tra 700 e 1.000 mm di pioggia per anno) assicura un costante apporto di questa sorgente. L'influenza del Monte Epomeo sulla circolazione atmosferica locale produce una variazione spaziale della piovosità che è concentrata prevalentemente nel settore settentrionale.
2. le acque marine che penetrano all'interno dell'isola attraverso le vie d'accesso costituite dalle formazioni rocciose costiere ad alta permeabilità;
3. i gas vulcanici, ricchi acqua e anidride carbonica, che risalgono lungo il denso intrico di fratture verticali sviluppato intorno all'Epomeo. È questa la componente maggiormente responsabile della radioattività delle acque termali dell'isola.

Nell'ultimo decennio sono state effettuate numerose analisi sia della composizione chimica delle acque che della

composizione isotopica di alcuni elementi leggeri in esse presenti (Carbonio, Ossigeno, Idrogeno, ecc.) [2-4].

Esse hanno consentito di ricostruire in dettaglio le caratteristiche dei serbatoi idrici che alimentano le varie sorgenti, mostrando che esiste una stretta relazione tra la circolazione dei fluidi e la struttura tettonica dell'isola. La camera magmatica, la cui presenza a pochi chilometri di profondità (2-3 km) è ipotizzata in tutti i moderni modelli strutturali, costituisce la sorgente di energia per la circolazione dei fluidi. Essa innesca un moto convettivo che porta i fluidi più profondi negli strati permeabili superficiali, dove essi si mescolano con le acque di provenienza meteorica e marina che tendono a raffreddare il sistema.

In sintesi la idrotermalità dell'isola può essere ricondotta alla presenza di due sistemi di bacini di alimentazione, uno più profondo tra 300 e 1.000 m e l'altro a profondità inferiore a 250 m.

La grande variabilità spaziale della composizione è dovuta al diverso contributo delle tre sorgenti. Infatti le sorgenti con temperatura inferiore al 29°C hanno una composizione che indica chiaramente una provenienza da acque meteoriche e marine in proporzioni variabili da località a località. Generalmente le sorgenti ubicate lungo i pendii del Monte Epomeo ricevono un contributo predominante dalle acque piovane, mentre quelle lungo la costa

hanno ovviamente un contributo maggiore da acque marine.

Le acque a temperatura maggiore di 30°C hanno un contributo marino che si mescola a acque meteoriche fredde. Il riscaldamento è dovuto essenzialmente alla componente gassosa di provenienza profonda, e provoca tra l'altro una intensa interazione con la rocce nelle quali è localizzata la falda, con la conseguente migrazione nel fluido di elementi quali Silicio, Boro e Litio.

Una componente costante e caratteristica delle acque termali di Ischia è la presenza di elementi con isotopi radioattivi, essenzialmente Radio e Radon.

L'origine di questi elementi nelle acque è stata accertata da una serie di misure iniziata da Giuseppe Imbò alla fine degli anni '30 del secolo scorso, che confermarono i risultati raggiunti nei primi decenni del secolo da Marie Curie e da altri.

Per chiarire il contributo delle rocce alla radioattività delle falde, nel 1960 Giuseppe Imbò assegnò un rilievo radiometrico dell'intera isola d'Ischia come argomento di tesi per tre laureandi in Scienze Geologiche: Paolo Sabini, Antonio Rapolla e l'autore di questo articolo. Lo scopo del rilievo era quello di individuare le eventuali fratture attraverso le quali risaliva il Radon emesso da sorgenti profonde e avere allo stesso tempo un quadro della radioattività dei diversi prodotti vulcanici affioranti. Il rilievo era effettuato con contatori Geiger adatti a rilevare raggi gamma e le misure erano effettuate ad una decina di centimetri di altezza sopra il suolo. Venivano così misurate essenzialmente le radiazioni emesse da uno spessore di poche decine di cm della roccia superficiale e quelle emesse dai prodotti a vita breve e dal Pb-210 depositati dal Radon sulla superficie del suolo. L'idea era che la radioattività della roccia costituisse il *background* sul quale andavano individuate eventuali linee di frattura,

attraverso le quali risalivano fluidi profondi ricchi in Radio e Radon. Il rilievo individuò cinque zone elongate di alta radioattività (Figura 1) che potevano essere interpretate come linee di frattura: due nella zona di Lacco Ameno (una con direzione NE-SW, comprendeva la zona delle Terme di Regina Isabella, e l'altra con direzione perpendicolare lungo l'insenatura di San Montano), al Rione Bocca (sul margine occidentale dell'Epomeo) a Cartaromana e ai Maronti nella zona di Cava Scura. Inoltre alcune formazioni laviche più recenti (ad esempio Zaro, Monte Rotaro, Monte Vico, Costa Sparaina) erano caratterizzate da radioattività anormalmente elevata dovuta, come fu poi mostrato da misure di spettrometria gamma in laboratorio, da altissime concentrazioni di Th e U [5, 6].

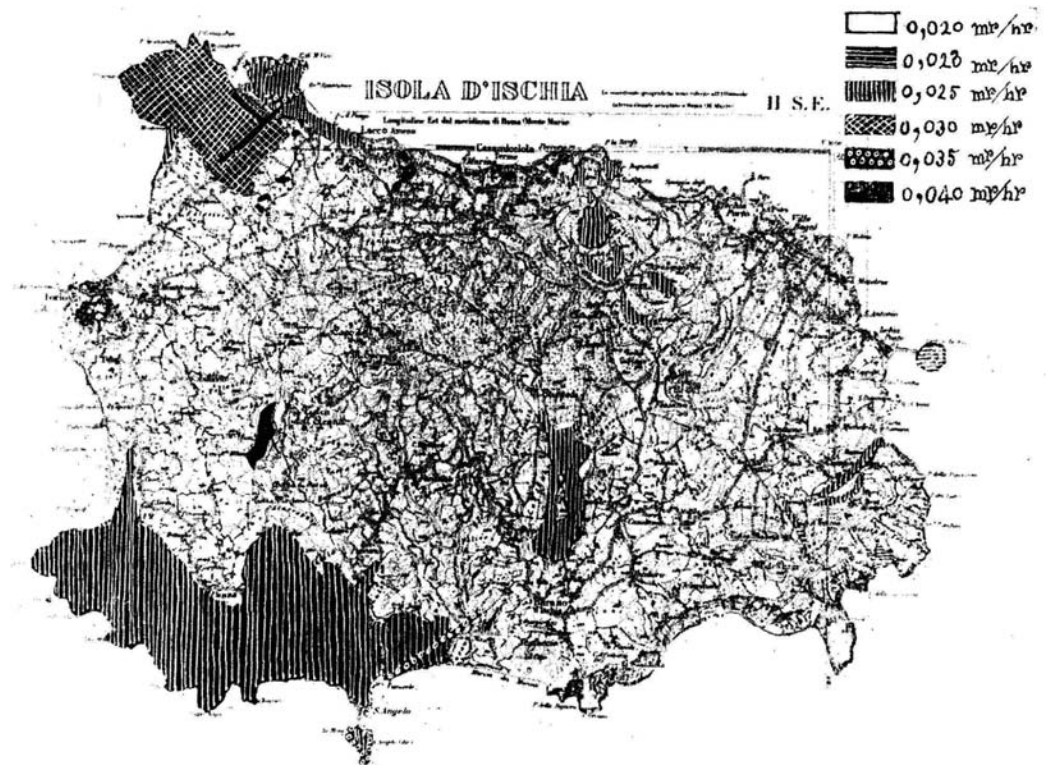
La carta radiometrica di Figura 1 è facilmente interpretabile se la si confronta con il modello di evoluzione vulcanotettonica dell'isola proposto da Alfred Rittmann [7] e sviluppato successivamente.

La parte centrale dell'isola è costituita dal massiccio dell'Epomeo, blocco di tufo verde sollevato da una tettonica compressiva. Il sollevamento massimo è stato di circa 900 m negli ultimi 33000 anni. Intorno al blocco in sollevamento si sono formate una serie di fratture distensive attraverso le quali sono risaliti, da una camera magmatica abbastanza superficiale, i magmi che hanno dato luogo alle ultime eruzioni.

Molti di questi magmi rappresentano gli ultimi stadi di differenziazione di una camera magmatica superficiale. Ciò vuol dire che il magma è in gran parte cristallizzato e i minerali formati sono principalmente silicati di ferro e magnesio. L'evoluzione della camera magmatica è schematizzata nella Figura 2.

Man mano che il magma si raffredda cominciano a cristallizzare i minerali a più alta temperatura di solidificazio-

Figura 1. Carta Radiometrica dell'Isola di Ischia.



ne, che sono essenzialmente silicati di ferro a e magnesio (olivina, pirosseni). Essendo più densi del liquido residuo essi tendono a scendere verso il fondo della camera magmatica; il liquido residuo si arricchisce progressivamente in silice. Nel liquido residuo andranno a confluire quegli elementi che, avendo caratteristiche ioniche non adatte, non sono riusciti a entrare nei reticoli dei minerali (elementi incompatibili). Il Torio e l'Uranio sono tra questi. Infatti la concentrazione del Th e dell'U nei prodotti eruttivi di Ischia aumenta drasticamente quando la concentrazione in silice è maggiore del 60% (vedi Figura 3). I prodotti di composizione trachiti-

co alcalina e fonolitica che circondano l'Epomeo sono quindi una sorgente continua di Radon che viene disciolto nelle acque che permeano queste rocce. La solubilità del Radon nell'acqua diminuisce rapidamente all'aumentare della temperatura e, a 60°C e pressione ordinaria, circa il 90% del Radon in soluzione viene emesso dalla falda e, se questa è ricoperta da rocce altamente permeabili, raggiunge la superficie del suolo. Le numerose perforazioni effettuate nell'isola, anche per sondarne il potenziale geotermico, hanno mostrato l'esistenza di temperature superiori ai 100°C a poche centinaia di metri di profondità in diverse aree intorno all'Epomeo.

Figura 2. Schema semplificato di evoluzione di una camera magmatica superficiale.

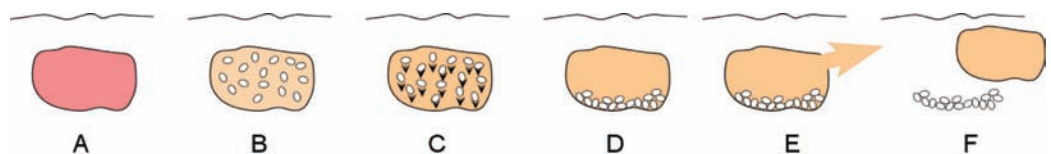
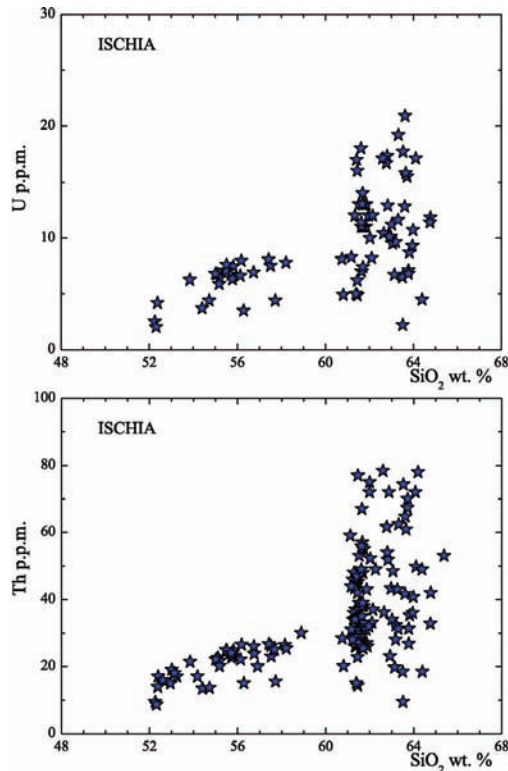


Figura 3.



In queste condizioni tutto il Radon emesso dalle rocce viene trasferito in superficie dove incontra falde più fredde, nelle quali entra in soluzione in percentuali che dipendono dalla temperatura della falda. La presenza di zone di alta permeabilità, dovute a dense fratturazioni superficiali, facilita il flusso del gas verso la superficie.

Bibliografia

1. P. Celico, D. Stanzione, L. Esposito, F. Formica, V. Piscopo and B. M. De Rosa (1999) "La complessità idrogeologica di un'area vulcanica attiva: L'Isola d'Ischia (Napoli-Campania)", *Boll. Soc. Geol. It.* 118, 485-504.
2. G. Chiodini, D. Granieri, R. Avino, S. Caliro, A. Costa, and C. Werner (2005) "Carbon dioxide diffuse degassing and estimation of heat release from volcanic and hydrothermal systems", *J. Geophys. Res.*, 110, B08204, doi:10.1029/2004JB003542.
3. A. Aiuppa, R. Avino, L. Brusca, S. Caliro, G. Chiodini, W. D'Alessandro, R. Favara, C. Federico, W. Ginevra, S. Inguaggiato, M. Longo, G. Pecoraino, M. Valenza (2006) "Mineral control of arsenic content in thermal waters from volcano-hosted hydrothermal systems: Insights from island of Ischia and Phlegrean Fields (Campanian Volcanic Province, Italy)", *Chemical Geology*, 229, 4, 30 May 2006, 313-330.
4. R. Di Napoli, R. Martorana, G. Orsi, A. Aiuppa, M. Camarda, S. De Gregorio, E. Gagliano Candela, D. Luzio, N. Messina, G. Pecoraino, M. Bitetto, S. de Vita, M. Valenza (2011) "The structure of a hydrothermal system from an integrated geochemical, geophysical, and geological approach: The Ischia Island case study", *AGU Journal*, DOI: 10.1029/2010GC003476.
5. P. Gasparini, A. Rapolla, P. Sabini (1961) *Considerazioni su di un rilevamento radiometrico dell'isola d'Ischia*, Atti XI Conv. Ass. Geofis. It, pp. 195-208.
6. P. Gasparini (1964) "Radioactivity of the lavas of the island of Ischia", *Ann. Osserv. Vesuv.*, Vol. 5.
7. A. Rittmann (1930) *Geologie der Insel Ischia*, Springer, Berlino.

Scienziati a Ischia

a cura di *Paolo Gasparini, Pietro Greco, Giuseppe Luongo*

Dobbiamo molto delle nostre conoscenze sull'isola d'Ischia a scienziati arrivati da paesi lontani i quali, attratti dalle caratteristiche dell'Isola, la visitarono per periodi molto brevi (per esempio Marie Sklodowska Curie), ci ritornarono più volte (ad esempio, Henry Johnston Levis, Giuseppe Mercalli, Alfred Rittmann) o addirittura scelsero di viverci per sempre (come Giulio Grablovitz e Paolo e Giorgio Buchner).

Un gruppo cospicuo di essi arrivò nell'Isola dopo il terremoto di Casamicciola del 1883, per studiarne l'origine e gli effetti. Tra questi, Giulio Grablovitz, Henry Johnston Levis, Giuseppe Mercalli, oltre a Francesco Genala e Michele Stefano De Rossi.



Giulio Grablovitz

(Trieste, 1846-Casamicciola, 1928)

Arrivò ad Ischia in seguito al terremoto che distrusse Casamicciola il 28 luglio del 1883. Studioso di astronomia e Fisica terrestre, aveva dimostrato grandi qualità di ricercatore nelle due discipline e quando, nel 1885, il Parlamento decise che sorgesse a Casamicciola il primo Osservatorio Geodinamico d'Italia, fu individuato come la persona più adatta per progettare e dirigerlo.

Grablovitz prese possesso del posto di direttore il 28 gennaio 1886. Nei primi mesi di attività si dedicò all'organizzazione del Servizio Geodinamica nell'isola,

ma la costruzione dell'Osservatorio di Casamicciola andò per le lunghe, ostacolata da mille avversità burocratiche e, nell'attesa, cominciò ad installare una rete di sensoria Porto d'Ischia. Nel tempo questa rimase la sua località prediletta, tanto che anche quando l'Osservatorio di Casamicciola cominciò a funzionare egli abitò sempre presso questa zona.

Grablovitz fu uno studioso di eventi catastrofici molto attento a non spaventare, ma neanche illudere la gente. Per non dare agli isolani, ossessionati dall'idea del terremoto, la sfavorevole impressione di una sua assenza, non si allontanava dall'isola nemmeno per le vacanze. Assolse con abilità e tatto il difficile compito di non nascondere nulla alle popolazioni, senza tuttavia indulgere in previsioni catastrofistiche.

Come molti sismologi di quel tempo, progettò e costruì gran parte degli strumenti che adoperava. I sensori sismici più adoperati erano il sismografo costruito da Luigi Palmieri, direttore dell'Osservatorio Vesuviano, e pochi altri, che fornivano grafici confusi, indecifrabili, che scientificamente rappresentavano pressoché nulla. Oltre ad indicare la giusta via per ottenere dei sismogrammi leggibili, Grablovitz fu il primo ad individuare la necessità che un Osservatorio sismico fosse dotato di due tipi di sensori: uno per registrare le onde ad alta frequenza dei terremoti vicini, e l'altra per registrare le onde a più lungo periodo dei terremoti lontani. Alle prime destinava



i già esistenti pendoli verticali corti, alla registrazione delle onde lunghe destinava un apparato da lui stesso ideato e cioè la Vasca Sismica. Più tardi modificò i pendoli orizzontali del Rebeur Paschwitz, riuscendo così a realizzare un apparato capace di rilevare onde sismiche di una svariata gamma di frequenze.

Dotato di profonda cultura astronomica poté tra le altre indagini studiare con competenza la frequenza dei terremoti in relazione all'angolo orario della luna, ed i rapporti che esistono tra i microsismi e l'azione luni-solare. Costruì orologi solari tali che, prima dell'introduzione della radio, gli fornivano dati orari sufficientemente esatti. Si occupò del difficile problema della deformazione periodica della parte solida del globo terrestre dovuta all'attrazione luni-solare (maree solide della Terra), e dei bradisismi. Istituì nell'isola una rete di punti geodinamici-trigonometrici con l'indicazione delle rispettive quote altimetriche, e degli azimut reciproci.

Utilizzò la sua esperienza sugli studi mareografici anche ad Ischia, impiantando a Porto d'Ischia un mareografo tipo Thomson, del quale per trentasette anni seguì le registrazioni. Lo spoglio dei diagrammi ed il loro confronto coi capisaldi vicini, gli accertarono un progressivo abbassamento del lato orientale dell'isola.

Mentre lavorava a un progetto per il potenziamento dei mezzi e del personale degli Osservatori di Ischia, il Governo nel 1923 soppresse l'Osservatorio Geodinamico di Casamicciola, nel contesto del riassetto e dei servizi meteorologici e geodinamici nazionali. Grablovitz fu collocato a riposo nel 1926 per raggiunti limiti di età e di anni di servizio e morì il 19 settembre 1928. La sua scomparsa fu motivo di grande lutto nella comunità scientifica internazionale per la genialità del personaggio e della sua attività pionieristica nello studio dei processi geodinamici. (P.Ga. – G.L.)

Henry James Johnston-Lavis

(Londra, 1856-Bourges, 1914)

Johnston-Lavis fu una figura insolita, ma non del tutto anomala, nel campo della vulcanologia. Dopo aver studiato medicina all'Università di Marsiglia e poi all'University College of London, ottenne il Diploma di Dottore in Medicina e Chirurgia all'Università di Napoli nel 1884. Esercitò per anni la sua professione presso la comunità anglo-americana di Napoli. Durante i suoi studi all'University College of London sviluppò uno spiccato interesse per la geologia e, in particolare, per la vulcanologia. Fu forse il primo dei numerosi scienziati di quella Università che nel corso del secolo scorso, e tuttora, ad eleggere i vulcani napoletani a oggetto preferito delle ricerche. Era a Napoli da poco più di un anno quando nel 1881 Casamicciola fu colpita dalla prima delle scosse distruttive che culminarono con il terremoto del 28 luglio 1883. Johnston-Lavis, che da poco aveva finito di studiare i poderosi trattati di Robert Mallet sul terremoto della Basilicata del 1857, si precipitò a Casamicciola, inizialmente per prestare la sua opera di medico, ma poi, per studiarne gli effetti del terremoto e comprenderne l'origine utilizzando i metodi di Mallet. Lo studio durò più settimane e lui tornò più volte sull'Isola, ma non era sul luogo quando avvenne il terremoto del 28 luglio 1883. Studiò in dettaglio anche gli effetti di questa scossa con i metodi di Mallet e dimostrò, in accordo con Mercalli, che tutte le scosse avvenute avevano un ipocentro molto superficiale. Il suo lavoro sul terremoto ebbe come risultato una serie di raccomandazioni da seguire nel progettare la ricostruzione. Johnston-Lavis fu un osservatore dettagliato e metodico, e coloro che lo hanno conosciuto, tra i quali lo scrittore Norman Douglas, lo descrivono come una persona di vasti interessi culturali (dalla medicina, all'antropologia, alla paleontologia), assiduo lavoratore, di

carattere forte e deciso. Entrò in polemica con tutti gli altri scienziati che si occuparono dei terremoti di Casamicciola, anche se con alcuni di essi (per esempio Mercalli) esisteva una sostanziale concordanza di vedute.

Nel 1893 divenne Professore di Vulcanologia all'Università di Napoli ma vi non tenne lezioni. Visse a Napoli fino al 1894 sviluppando l'attività professionale e la ricerca sui vulcani e sui terremoti. Tra gli anni 1880 e 1888 realizzò il rilievo geologico del Vesuvio alla scala 1:10.000. Una copia di tale carta è esposta all'Osservatorio Vesuviano nella sala intitolata proprio a Johnston-Lavis. Johnston-Lavis aveva sviluppato i suoi studi vulcanologici anche all'Etna, Lipari e isole Ponziane, e nell'area napoletana riconobbe una formazione complessa associata al vulcanismo flegreo che denominò "Breccia Museo" per la varietà dei prodotti in essa contenuti. Nel 1889 Lavis divenne membro della Società Geologica Italiana ed organizzò un'escursione sui vulcani dell'Italia Meridionale preparando una guida. Dopo aver lasciato Napoli nel 1894, per stabilirsi a Montecarlo, Lavis continuò ad interessarsi dei vulcani e a svolgere l'attività di Medico. Ritornò a Napoli nel 1909 per studiarvi l'eruzione del Vesuvio del 1906. Morì in un incidente d'auto nelle vicinanze di Bourges in Francia nell'agosto del 1914. (P.Ga. – G.L.)



Giuseppe Mercalli

(Milano, 1850-Napoli, 1914)

Quando ebbe dal Governo Italiano l'incarico di occuparsi del terremoto di Casamicciola del 1883, Giuseppe Mercalli insegnava ancora ai seminari di Milano e Monza ed aveva appena completato un lungo viaggio nelle Regioni Vulcaniche Italiane che avrebbe portato alla pubblicazione della sua prima grande opera *Vulcani e Fenomeni Vulcanici in Italia*. Il catastrofico terremoto di Casamiccio-

la del 28 luglio 1883 fu il primo grande evento sul quale Mercalli scrisse una dettagliata memoria, analizzandone gli effetti, cercando di capirne le cause, e fornendo le linee guida per la ricostruzione. Fu questo lavoro che lo rivelò al mondo scientifico, e in cui egli mostrò le caratteristiche che avrebbero distinto tutti i suoi successivi lavori. Era un osservatore coscienzioso e descriveva sempre con precisione di linguaggio e acume scientifico i fenomeni sismici e vulcanici cui assisteva. Dotato maggiormente di capacità analitiche piuttosto che sintetiche, fu cronista accurato di eruzioni e terremoti e, grazie alla vasta conoscenza della letteratura, confrontava tali eventi con altri avvenuti nel passato nella stessa area o in altre zone del pianeta prevedendo in questo modo la loro evoluzione successiva. Del terremoto di Casamicciola mise in evidenza l'influenza della costituzione e della morfologia del terreno sull'intensità dei danni. Inoltre, utilizzando il metodo macrosismico applicato da Robert Mallet nello studio del terremoto della Basilicata del 1857 (come aveva fatto anche Johnston-Lavis), mostrò che l'ipocentro del terremoto doveva essere estremamente superficiale. Indicò, infine, come dovevano essere progettati gli edifici nella ricostruzione per renderli meno vulnerabili. L'analisi lucida e dettagliata degli effetti e l'approccio pragmatico utilizzato, furono apprezzati anche dalle autorità governative che conferirono in seguito numerose volte a Mercalli l'incarico di redigere rapporti su terremoti ed eruzioni vulcaniche. In occasione del terremoto ligure del 23 febbraio 1887, per superare alcune difficoltà che la scala delle intensità sismiche allora adottata, la De Rossi Forel, presentava nel discriminare tra i gradi alti, cominciò elaborare una nuova scala di intensità sismica, che fu adottata dal Governo Italiano nel 1900 ed è universalmente nota come la Scala Mercalli. Nel 1888 Mercalli si trasferì a Reggio Calabria dove insegnò al Liceo Tommaso

Campanella. La scelta era stata guidata da motivazioni sismiche: le caratteristiche sismiche della zona gli facevano ritenere che nei prossimi anni sarebbe avvenuto un forte terremoto. Attese l'evento per qualche anno, ma nel 1893 preferì trasferirsi a Napoli, dove il Vesuvio era in continua attività. L'anno dopo avvenne a Reggio Calabria il terremoto che attendeva.

A Napoli insegnò al Liceo Vittorio Emanuele e si dedicò quasi esclusivamente allo studio del Vesuvio. Fu Direttore dell'Osservatorio Vesuviano dal 1911 alla sua morte. (P.Ga.)

Carl Wilhelm Casimir Fuchs

(Mannheim, 1837-Karlsruhe, 1886)

Professore di Geologia all'Università di Heidelberg, lavorò essenzialmente su problemi di geologia piuttosto che nel campo della sismologia e della vulcanologia. Va ricordato come autore di una monografia su Ischia, pubblicata nel 1870, che contiene una carta geologica dell'isola alla scala 1:25.000. Questa e la carta geologica pubblicata nel 1847 da Ferdinando Lopez Fonseca, consideravano il Monte Epomeo come la struttura vulcanica centrale dell'isola e costituirono i documenti di riferimento fino al 1930 quando fu pubblicata la carta 1:10.000 di Alfred Rittmann.

Marie Sklodowska Curie

(Varsavia, 1867-Passy, 1934)

Visitò brevemente l'isola d'Ischia per motivi di studio nel 1918, dopo che il suo prestigio scientifico era consolidato al punto di aver acquisito due premi Nobel: uno in Fisica per i suoi studi sulle radiazioni (nel 1903 insieme al marito Pierre Curie) e l'altro in Chimica nel 1911 per aver scoperto due elementi radioattivi, il Radio e il Polonio.



La visita avvenne nel corso di una ricognizione, effettuata su invito del Governo Italiano, sulle potenzialità esistenti nel nostro paese per l'utilizzazione a scopi terapeutici e militari di materiali radioattivi solidi, liquidi e gassosi. L'itinerario venne concordato con Camillo Porlezza, Professore di Chimica all'Università di Pisa, il quale fornì gli strumenti per effettuare le misure. Basandosi sui risultati ottenuti alcuni anni prima da due chimici di Karlsruhe: Carl Engler e Herman Sieveking, Porlezza incluse nell'itinerario alcuni giorni di misure all'isola d'Ischia. Gli scienziati arrivarono a Ischia con una torpediniera del Dipartimento marittimo, ed ebbero a disposizione un MAS per approdare ed effettuare le misure in diversi punti dell'isola. Venne confermato che i valori maggiori di radioattività si registravano in corrispondenza della sorgente delle Terme della Regina Isabella a Lacco Ameno, per la quale venne determinata una portata giornaliera di 250 metri cubi di acqua e una radioattività di 30 millicurie al giorno. Marie Curie ritenne che questi alti valori di radioattività dovessero essere legati alla presenza di emanazione di Radio più che al Radio disciolto nelle acque ed espresse l'idea che l'emanazione potesse essere direttamente estratta dall'acqua per essere utilizzata. In una conferenza tenuta a Parigi diciassette mesi dopo il suo viaggio in Italia e pubblicata nella *Revue Scientifique* Marie Curie ritornò sui risultati ottenuti ad Ischia affermando che «le acque e i gas naturali contengono a volte molta emanazione di radio. Questa è in genere prodotta nei laboratori per mezzo del radio, ma tale preparazione potrebbe essere in parte sostituita dall'impiego dell'emanazione delle sorgenti naturali dopo una conveniente purificazione. Esiste per esempio, in Italia, una sorgente che emette 250 metri cubi di acqua e 30 millicurie di emanazione al giorno». È evidente il riferimento alle Terme della Regina Isabella.

L'interesse mostrato dai governi per la radioattività era a quell'epoca essenzialmente legato alle applicazioni mediche. Già nei primi decenni del XX Secolo si era constatato come le radiazioni e le particelle emesse da un isotopo ad alta radioattività, come il Radio-226, avevano dato risultati incoraggianti nella cura di diversi tipi di tumori, distruggendo le cellule malate. La raccolta del radon direttamente dalle acque radioattive avrebbe potuto facilitare questo processo. La stessa Marie Curie mise comunque in guardia contro un uso incontrollato e non giustificato scientificamente della radioattività in medicina. Tra le applicazioni più pericolose vanno annoverate le "inalazioni" di Radon. Infatti se è vero che il Radon inalato decade abbastanza velocemente, i suoi prodotti solidi rimangono nelle vie respiratorie del paziente, se non vengono prese opportune precauzioni. Tra questi il Pb-210, che ha una mezza vita di 19,7 anni, permane per una percentuale abbastanza grande della vita del paziente, con effetti certamente non benefici.

Non credo che Marie Curie sia tornata in seguito ad Ischia ma, in moltissime conferenze tenute dopo la sua visita Marie Curie citò l'isola d'Ischia come uno dei casi più interessanti per lo studio della radioattività delle acque. (P.Ga.)

Alfred Rittmann

(Basilea, 1893-Piazza Armerina, 1980)



Alfred Rittmann è stato un vulcanologo e studioso della Terra che nel suo lungo percorso di ricerca ha affrontato una varietà di problemi vulcanologici e studiato l'attività eruttiva di numerosi vulcani, non ultimi l'Etna, lo Stromboli e il Vesuvio. È stato Presidente dell'Associazione Internazionale di Vulcanologia. A chi, per prenderlo in giro (ma non tanto) gli diceva che la vulcanologia è la scienza dei pennacchi di fumo, rispondeva «io

studio i pennacchi per capire come funziona tutta la locomotiva».

I lavori su Ischia rappresentano solo una piccola parte della sua vasta produzione scientifica, ma ad essi Rittmann era particolarmente affezionato e continuò a studiare l'Isola fino ai suoi ultimi anni.

I suoi contributi alla conoscenza della storia geo-dinamica dell'isola sono stati determinanti. Rittmann dimostrò che l'Epomeo non è un rudere di un vulcano centrale, come fino ad allora si era ritenuto, ma un horst vulcano-tettonico sollevato. Il tufo dell'Epomeo non è una formazione sottomarina, ma rappresenta una ignimbrite, vale a dire un deposito di nubi ardenti di formazione subarea, successivamente sprofondato e in seguito nuovamente sollevato probabilmente dall'intrusione di un dicco di magma. L'attività vulcanica si è sviluppata intorno al blocco sollevato, lungo le principali linee di frattura, alimentata dal dicco magmatico che ha sollevato l'Epomeo. Collaborando per alcune decine di anni con gli archeologi Paolo e, soprattutto, Giorgio Buchner, ha identificato le relazioni cronologiche tra i diversi centri eruttivi fornendo la prima stratigrafia vulcanica dell'isola.

Per me il ricordo di Rittmann è strettamente legato a Ischia. La prima cosa che ricordo di lui è la sua voce che, con uno strano accento tra napoletano e tedesco, risuonò sulla mia testa sovrastando il frastuono del traghetto che mi stava trasportando da Ischia a Napoli. «Questa è la mia carta, ma ci sono delle cose che non capisco». La voce veniva da un omone con pochi capelli, un sorriso tra il gentile e il divertito e un grosso sigaro tra i denti. Ero curvo con un mio collega a lavorare su una carta geologica dell'isola, ricopiata in gran parte da quella di Rittmann, che ci serviva come base per la tesi di laurea. Gli spiegammo che le variazioni erano il risultato delle nostre osservazioni. Su qualcuna si mostrò interessato, su altre non era d'accordo.

Gli raccontammo il lavoro che stavamo svolgendo e gli dicemmo chi ci seguiva. «Imbò è un buon geofisico, ma non capisce niente di geologia. Scherillo è un ottimo mineralogista, ma vale lo stesso discorso. Voi state lavorando bene, ma praticamente da soli. Se volete sono a vostra disposizione per consigliarvi». Ci informò dei suoi ultimi aggiornamenti e ci mandò, da Catania, delle note che aveva scritto. Non lo incontrai più durante la tesi, ma avemmo modo di frequentarci a lungo in seguito, fino agli ultimi anni della sua vita quando ci incontravamo per lunghe discussioni al Hotel Nettuno di Ischia Ponte, dove passava le vacanze. Rittmann ha avuto un ruolo di rilievo nella scienza della Terra non solo per gli studi sui vulcani, ma anche per il coraggio con il quale ha proposto e sostenuto teorie molto ardite, che spesso non sono state confermate da osservazioni successive, come il ruolo delle rocce calcaree e dolomitiche del basamento del Vesuvio sulla composizione del magma vesuviano, oppure quella secondo la quale il nucleo terrestre sarebbe formato da materia solare indifferenziata. Come ha scritto il premio Nobel per la Fisica Harold C. Urey nel 1952 anche in questo caso «... Rittmann e Kuhn rappresentarono un punto di partenza, costringendo molta gente a riesaminare idee che non erano state riviste da molto tempo con occhio critico». Per il progresso della ricerca, rivelare l'esistenza di un problema e muovere su di esso l'interesse del mondo scientifico può essere altrettanto importante che la formulazione di una legge fisica e di una teoria che regga per molto tempo all'evidenza sperimentale. (P.Ga.)



Giorgio e Paolo Buchner

(Norimberga, 1886-Ischia Porto, 1978)

(Monaco di Baviera, 1914-Ischia Porto, 2005)

Paolo Buchner, nel 1910, grazie a una borsa di studio, si recò a Napoli per

approfondire le sue ricerche presso la stazione zoologica Anton Dohrn, frequentata al tempo da molti studiosi di biologia.

Nel 1927 Buchner aveva acquistato ad Ischia, che aveva avuto modo di conoscere durante l'anno trascorso a Napoli, un terreno a vigneto, sulla collina di S. Alessandro, su cui costruì tra il 1928 e il 1930 una casa per le vacanze in puro stile mediterraneo. Sull'isola si stabilirà definitivamente dal 1944 dove continuerà i suoi studi di natura scientifica, dando alle stampe circa 112 opere tra articoli, relazioni e volumi, intervallando le opere scientifiche con vari scritti riguardanti Ischia.

Di Ischia prese a studiare i vari aspetti dell'origine e della storia, fondando nel 1944 assieme a monsignor Onofrio Buonocore il Centro studi sull'Isola d'Ischia. Significativi anche i lavori sulla cronologia delle eruzioni vulcaniche e sul termalismo.

Nel 1939 diede alle stampe *Case di pietra ad Ischia*, affascinato dalle antiche abitazioni scavate nei grossi blocchi di tufo staccatisi in tempi remoti dalla parte alta dell'Epomeo.

Elaborò poi uno studio denominato *La geologia dell'Isola d'Ischia*, una *Storia delle terme di Porto d'Ischia* e nel 1971 realizzò uno studio monografico su Jacques E. Chevalley de Rivaz, il medico franco-svizzero della corte borbonica che diede forte impulso al termalismo ischitano.

Il figlio Giorgio veniva descritto da Amedeo Maiuri, in *Passeggiate campane* (1982): Alla scoperta di Pithecusae (settembre 1942), scriveva «[...] sono accorso a vedere la prima scoperta archeologica dell'isola; un'umile e grande scoperta: il primo villaggio di capanne sorto nell'età del ferro attorno alle rocce del Castiglione. Si deve al più giovane paleontologo italiano, ancor fresco di studi dell'Università di Roma: a Giorgio Buchner che, da buon archeologo militante, ha fatto bivacco e cantiere nella vecchia stufa del

Castiglione [...] Sul piancito sconnesso è steso o ammicchiato un alto lenzuolo di cocciame: è la messe più ricca dello scavo. Per un profano potrebbe essere lo scarico della fornace d'un vasaio con il pentolame rotto andato a male, il ripulimento di un campo da semina dai cocci che l'ingombravano; è invece la documentazione preziosa della vita e dell'industria del più antico villaggio che sia apparso fin oggi sul suolo dell' isola. Giorgio si raccapazza fra quei mucchi di cocciame come il gioielliere fra le tette segrete delle sue oreficerie. Curvo a terra va a colpo sicuro, in mezzo a tutto quel tritume, a scegliere e a mostrarmi felice il grosso labbro d'un orlo, la curva d'una spalla, il fondo cavo d'un piede, completando sobriamente con il gesto della mano le parti mancanti. Erano vasi grossi e panciuti, ziri, giare e doli; erano insomma i pithoi che stando a un'ambigua etimologia discussa da antichi e da moderni, avrebbero dato grecamente nome all'isola: Pithecusai. Era l'isola dei pithéci, delle scimmie, dei Cercópi, dei maligni caudati folletti abitatori di bolge di fuoco, o non piuttosto di industriosi vasai e pentolai, facitori di pithoi? [...]».

Non c'è oggi studioso del mondo classico o del Mediterraneo antico che non conosca il nome e l'opera di Giorgio Buchner: pur nella vastissima gamma dei suoi interessi, egli soprattutto è, e resterà, sinonimo dell'euboica Pithekoussai, e dell'autentica rivoluzione che questa scoperta ha portato in tutte le nostre nozioni riguardanti la Magna Grecia, e di conseguenza anche la Grecia arcaica da un lato, e dall'altro l'Italia antica.

Nonostante numerose testimonianze – da Strabone (58 a.C.-21 o 25 d.C.), Tito Livio (59 a.C.-17 d.C.), fino allo storico tedesco di fine '800 Julius Beloch – suggerissero quanto meno di verificare se Ischia fosse stata effettivamente una colonia greca, l'interesse archeologico era rivolto altrove.

Le cose cambiarono quando, nel 1949, il poco più che trentenne archeologo tedesco Giorgio Buchner, già profondo conoscitore dell'isola (i genitori si erano stabiliti definitivamente a Ischia, in località Sant'Alessandro, nel 1943) ottenne la delega della soprintendenza per iniziare gli scavi in località San Montano, nel comune di Lacco Ameno.

Furono rinvenuti corredi con monili (vasi, piccole sculture di terracotta, brocche e coppe, scarabei egizi, lingotti di piombo, attrezzatura da pesca, pesi per telaio, strumenti da lavoro) e, soprattutto, la coppa di Nestore, custodita in una ricca tomba a cremazione, portata alla luce e ricomposta dallo stesso Buchner: si tratta di una kotyle alta una decina di centimetri e datata al 725 a.C.

Faceva parte del ricco corredo funebre appartenuto a un fanciullo di dieci anni. La coppa reca inciso su di un lato in alfabetoeuboico in direzione retrograda, come nella consuetudine fenicia, un epigramma formato da tre versi, che allude alla famosa coppa descritta in un passo dell'undicesimo libro dell'*Iliade* di Omero.

Nel 1947 Giorgio Buchner e il vulcanologo Alfred Rittmann crearono un museo, chiamato Museo dell'Isola d'Ischia, che più tardi sarebbe confluito, assieme ai reperti rinvenuti negli scavi successivi, nel Museo Archeologico di Pithecusae. Ischia fu infatti la prima colonia della Magna Grecia, non la più importante. Del resto, lo stesso Buchner insisteva molto sul fatto che certo Calcidesi ed Eretriesi non avevano scelto di sbarcare su un'isola dall'orografia difficile e, per di più, interessata da ricorrenti fenomeni vulcanici, con lo scopo primario di farne una colonia agricola.

La tesi più plausibile, caldeggiata dallo stesso studioso, è che Ischia era stata scelta per la sua posizione strategica al centro del Mediterraneo, ottima come base d'appoggio per i commerci con la poco distante etrusca isola d'Elba.

Resta la circostanza che senza Pithecusa, la prima colonia della Magna Grecia, si sarebbero diffuse solo più tardi nel Mediterraneo occidentale le coltivazioni della vite e dell'olio, così come è un fatto che i coloni provenienti dalla lontana isola di Eubea non esitarono a insediarsi stabilmente nella più grande delle isole flegree appena si resero conto della fertilità del suo suolo vulcanico, arrivando a contare nel periodo di massimo splendore quasi 10.000 abitanti. (P.Ga.)



Anton Dohrn

(Stettino, 1840-Monaco di Baviera, 1909)

Anton Dohrn lega il suo nome a Ischia a partire dal 1906, quando inizia a costruire, proprio sul porto, la *Villa dell'Acquario*, per ospitare gli studiosi che frequentano quella Stazione Zoologica con cui a Napoli il naturalista tedesco amico di penna di Charles Darwin ha, di fatto, inaugurato la moderna biologia marina.

Tutto era iniziato nel 1870, quando il tedesco, allora trentenne, giunge a Napoli con un carico di idee e la borsa vuota. Tra le molte idee la principale è quella di creare nella città partenopea qualcosa che non esiste al mondo: un centro di ricerca scientifica che trova sul mercato le risorse per sostenersi. La ricerca scientifica che Anton Dohrn intende promuovere è quanto di più lontano esista dal mercato: l'embriologia degli animali marini. Eppure il giovane è convinto che possa essere il mercato a fornirle le risorse necessarie.

Napoli fu scelta per tre motivi. Perché Francesco De Sanctis ne aveva fatto uno dei poli culturali più importanti nell'Europa della seconda parte del XIX secolo; perché è una grande e popolata città, con un mercato potenziale, anche turistico, esteso; perché ha il mare.

Nato a Stettino il 29 settembre 1840, Anton Dohrn è il figlio di Karl August Dohrn, il più famoso entomologo di tutta

la Germania. Ed è entomologo egli stesso, esperto di emitteri (l'ordine che comprende le cimici e la fillossera). Ma da quando ha letto l'*Origine delle specie* che Charles Darwin ha pubblicato nel 1859 è stato folgorato: il futuro non è nello studio dell'evoluzione della vita. E poiché la vita viene dal mare, è al mare che bisogna tornare. E in particolare, poiché l'ontogenesi (l'evoluzione dell'individuo) ricapitola la filogenesi (l'evoluzione delle specie) il futuro è nell'embriologia degli animali marini. Ovvero degli animali che vivono in abbondanza in quel mare Mediterraneo che bagna le spiagge napoletane.

Così sulla Riviera di Chiaia, nasce la stazione zoologica: il primo centro di ricerca sulla biologia marina al mondo. La stazione presenta anche due altre novità: un Acquario, che attira il grande pubblico e contribuisce a recuperare un po' di soldi; e dei "tavoli" che i ricercatori provenienti da tutto il mondo possono fittare per condurre i loro studi, avendo a disposizione le attrezzature necessarie e la materia prima (gli organismi marini).

L'idea si materializza e funziona. Il pubblico frequenta l'Acquario, ma soprattutto gli scienziati fittano i tavoli, producendo nuova conoscenza scientifica. Quando, nel 1897, la Stazione celebra i suoi primi 25 anni, ben 2.000 scienziati (la gran parte dell'intera comunità biologica mondiale) scrive ad Anton Dohrn: «È impossibile concepire cosa sarebbe oggi lo stato della scienza biologica senza l'influenza della Stazione».

In tutti questi anni Anton Dohrn viene spesso sull'isola d'Ischia, per riposare, ma anche per studiare la biologia marina dell'isola. Finché nel 1906 decide di costruire la *Villa* per ospitare i suoi amici scienziati. Il ruolo dell'isola, almeno in quegli anni, potrebbe sembrare marginale rispetto alla Stazione napoletana. Ma, a parte il fatto che l'ozio isolano degli ospiti spesso prestigiosi di Anton Dohrn è del tipo creativo, non mancano le ragioni

strettamente di studio. L'ecologia marina dell'isola ha aspetti unici, degni di essere studiati. E, dunque, non è un caso se, a distanza di qualche decennio, la *Villa dell'Acquario* si è trasformata in un centro dove si fa ricerca attiva sulle peculiari caratteristiche dell'ambiente marino che circonda Ischia proprio perché di interesse generale. Anton Dohrn morì a Monaco di Baviera il 26 settembre 1909. (P.Gr.)



Charles Lyell

(Kinnordy, 1797-Londra, 1875)

Quando, nel 1830, l'inglese Charles Lyell pubblicò i *Principles of Geology or The Modern Changes of the Earth and its inhabitants*, utilizzò come frontespizio l'immagine del "Tempio di Serapide" di Pozzuoli. Ma in questo libro – considerato sia l'atto inaugurale della moderna geologia sia una delle principali fonti di ispirazione di Charles Darwin e della sua teoria sull'evoluzione delle specie per selezione naturale del più adatto, esposta per la prima volta nel 1859 nel *The Origins of Species* – Charles Lyell parla a lungo anche di Ischia, sia ricostruendo la storia dei suoi vulcani intrecciata con quella politica, sia narrando di ritrovamenti di conchiglie fossili a oltre 600 metri di altezza, verso il Monte Epomeo. Molte righe sono spese nella descrizione dei motivi geologici (leggi eruzioni) che avevano costretto i colonizzatori greci giunti sull'isola nell'VIII secolo a.C. ad andarsene. E un focus è dedicato anche all'ultima eruzione vulcanica, quella cosiddetta dell'Arso, avvenuta nel 1302.

L'uomo considerato il fondatore della geologia moderna aveva visitato direttamente Ischia e anche di recente, nel 1828, dopo aver letto la descrizione delle rocce vulcaniche proposta da Gian Battista Brocchi. E nelle sue escursioni sull'Epomeo era stato accompagnato dal naturalista napoletano Oronzo Gabriele Costa, con cui condivideva l'idea che l'iso-

la avesse subito un sollevamento in tempi relativamente recenti. Unica spiegazione possibile per giustificare la presenza di conchiglie fossili sull'Epomeo.

Lo studio dell'isola d'Ischia dunque ha un ruolo non marginale nella teoria esposta nei *Principles* fondata, nella sua essenza, su cinque punti.

- 1) Quella della Terra è una storia evolutiva che si è svolta nel "tempo profondo", misurabile non in poche migliaia di anni (il vescovo James Ussher aveva calcolato che il pianeta fosse stato creato da Dio il 23 ottobre del 4004 a.C. alle ore 12.00) come sostengono i creazionisti che interpretano la Bibbia in senso letterale.
- 2) L'evoluzione della Terra è avvenuta secondo leggi costanti nello spazio e nel tempo.
- 3) Il passato può essere spiegato con le medesime cause che spiegano la dinamica presente. I processi evolutivi del pianeta Terra sono essenzialmente gli stessi.
- 4) L'evoluzione non avviene mediante una successione di eventi catastrofici, ma è graduale e costante.
- 5) La Terra non è sostanzialmente cambiata nel corso del "tempo profondo".

I primi tre punti sono condivisi dai geofisici contemporanei e costituiscono la base della moderna "scienza della Terra". Le nuove conoscenze prodotte dopo il 1830 dalla comunità dei geofisici impongono una ridefinizione degli ultimi due punti. Ma un fatto è certo: è anche grazie anche a fenomeni come quelli osservati a Ischia – le cicliche eruzioni vulcaniche, il ciclico sollevamento e abbassamento del suolo – che Charles Lyell ha elaborato la sua "teoria gradualista" in opposizione non solo a quella "creazionista" di molti religiosi, ma anche a quella "catastrofista" di molti scienziati suoi contemporanei. Ed è grazie a Lyell che Ischia è entrata nella storia della storia del pianeta Terra. (P.Gr.)

Ischia è un patrimonio naturale e culturale dell'umanità. Ma non lo sa

Pietro Greco

Lo hanno giustamente rilevato, su questo numero di ARC, Stefano Tinti, Filippo Zaniboni e Maria Ausilia Paparo: Ischia è un laboratorio a cielo aperto. Il concetto è stato ripreso, nel suo editoriale, anche da Ugo Leone. E nulla c'è di più vero, se l'isola è stata oggetto di studio da parte di gente del calibro di Charles Lyell, padre della geofisica moderna; di Marie Curie, madre della fisica della radioattività; di Giuseppe Mercalli, pioniera della moderna sismologia e vulcanologia.

Ischia è anche uno straordinario laboratorio a mare aperto, se è vero, come ci raccontano Maria Cristina Gambi e Nuria Teixido, che l'acidificazione naturale in alcune aree marine prospicienti l'isola costituiscono uno straordinario test per tentare di capire cosa succederà negli oceani da qui a fine secolo per effetto dei cambiamenti climatici.

Ancora. Ischia è uno straordinario laboratorio a cielo e mare aperto utile come pochi altri per studiare se e come la flora e la fauna a mare come a terra reagiscono al *climate change*. Ce ne parla più sopra da par suo Domenico Fulgione.

Ma c'è di più. Ischia non è solo un laboratorio naturale. È anche un laboratorio culturale. Non è, infatti, un caso che l'isola sia stata la prima colonia greca di tutto il Mediterraneo occidentale. E che per questo deve essere considerata madre di Cuma e nonna di Napoli. Non

è neppure un caso se sull'isola sia stata rinvenuto il primo esempio assoluto di scrittura alfabetica greca: l'iscrizione sulla famosa "coppa di Nestore". Molti gli archeologi, stranieri e italiani, che hanno studiato il passato dell'isola. Onore al merito va, oggi, a due studiosi, Costanza Gialanella e Alessandra Benini che con grande coraggio e determinazione stanno cercando di portare avanti questi studi.

Il fatto è che tutto questo Ischia non lo sa. È per molti versi un'isola senza consapevolezza e senza memoria. E, per questo, potrebbe essere proposta come un laboratorio di sociologia e di antropologia. L'isola è, secondo le statistiche economiche, molto ricca: il reddito medio per-capite dei suoi abitanti è tra i più alti d'Italia e forse d'Europa. Eppure falsifica uno dei teoremi della *ecological economics*, secondo cui la domanda di qualità ambientale dovrebbe crescere in maniera lineare con il reddito: sono lì a dimostrarlo l'alta intensità del traffico, la mancanza di un valido sistema di smaltimento dei rifiuti liquidi urbani e l'alta intensità di abusivismo edilizio (tra le più alte d'Italia e quindi d'Europa).

Allo stesso modo la consapevolezza di alcuni rischi – idrogeologico, sismico, vulcanico – è piuttosto carente. La gran parte delle sue abitazioni, antiche o moderne che siano, non sono state costruite in modo da minimizzare il rischio sismico e idrogeologico.

Anche la consapevolezza di alcune potenzialità non è esattamente ottimale. Il grande geologo Felice Ippolito, che pure la frequentava, sosteneva che a Ischia si persegue l'esatto contrario di una corretta politica energetica: l'isola possiede una risorsa impagabile, la geotermia, e semplicemente la dissipa.

Ma perché Ischia ha scarsa consapevolezza del suo patrimonio naturale e scarsa memoria della sua storia? Non è semplice rispondere. Probabilmente sta pagando un prezzo piuttosto salato sia alla sua demografia – Ischia è la più popolata sebbene non sia la maggiore delle piccole isole italiane – sia alla rapidità con cui si è trasformata da isola a economia agricola a isola a economia turistica. Ma non vorremmo addentrarci in questo tipo di analisi perché non abbiamo le necessarie competenze storiche, sociologiche né antropologiche. Stiamo ai fatti, quelli empiricamente verificabili. E i fatti ci dicono che anche comunità piccole e medie possono acquisire una notevole consapevolezza del valore del proprio patrimonio, naturale e culturale, e conservare una notevole memoria della propria storia.

C'è una cittadina in Piemonte, Pollenzo, una frazione di Bra con 750 abitanti, collocata nel cuore delle Langhe-Roero, che l'UNESCO riconosce come patrimonio dell'umanità, che ha fatto tesoro delle sue risorse naturali (le colline adatte alla viticoltura) e culturali (la tecnologia di vinificazione). E così, per conservarle e valorizzarle quelle sue risorse, ha creato tra le sue ristrette mura la prima università enogastronomica al mondo. Risultato: accorrono a Pollenzo giovani da tutto il mondo per studiare l'enogastronomia e portano spesso con sé le loro (ricche) famiglie. Il tutto ha prodotto tre benefici risultati: le Langhe hanno trovato un modo estremamente valido e visibile per rinnovare la propria tradizione con l'unico modo oggi possibile, attraverso l'alta formazione e

la ricerca scientifica; hanno rilanciato in maniera inaspettata la propria economia agricola e turistica; hanno dato un'opportunità di lavoro qualificato e sostenibile ai propri giovani.

Bolzano è, invece, una città di 150.000 abitanti (il doppio della popolazione ischitana) capoluogo dell'Alto Adige. Da una ventina di anni ospita Ötzi, la mummia di Similaun rinvenuta nel 1991 sulle Alpi Venoste, al confine tra Italia e Austria. Ebbene, Bolzano non si è limitata ad accogliere passivamente il prezioso patrimonio antropologico e culturale. Ha deciso di farne la leva per uno sviluppo che abbina turismo e cultura, creando un centro di ricerca scientifica sulle mummie che in pochissimi anni si è imposto come uno dei più avanzati al mondo. Anche in questo caso abbiamo un esempio di valorizzazione lucida e sostenibile di un patrimonio naturale e culturale fondato su ricerca scientifica e alta formazione.

Veniamo dunque a Ischia. Al suo patrimonio naturale e culturale che, sia detto con tutto il rispetto, è molto più grande e ricco di quello di Pollenzo o di Bolzano. Perché non valorizzarlo, come suggerisce anche Ugo Leone col suo editoriale, utilizzando la ricetta sperimentata a Pollenzo e a Bolzano: creando uno o più centri di ricerca interdisciplinari che metta in rete ai centri esistenti (della Stazione Zoologica Anton Dohrn; dell'INGV; della Soprintendenza ai beni archeologici) per studiare e, quindi, valorizzare le sue acque termali; i suoi laboratori a mare e a cielo aperto; il suo patrimonio storico o, addirittura, per proporsi come centro promotore di un progetto mediterraneo per lo studio geofisico, naturalistico e storico e per lo sviluppo sostenibile delle piccole isole? E non potrebbero essere, questi centri, pensati anche per educare a una corretta percezione e gestione dei rischi ambientali di tipo idrogeologico, sismico e vulcanico? Non sarebbero centri di

questo genere un volano per rilanciare l'economia dell'isola secondo un percorso sostenibile in grado di restituire all'isola la sua identità perduta?

Le domande non ci portano in un'altra isola, quella di Utopia cara a Tommaso Moro. Pollenzo, Bolzano e tanti altri centri piccoli e medi d'Italia e d'Europa dimostrano che le domande ammettono risposte realistiche. L'isola avrebbe anche le risorse economiche per portare avanti progetti del genere, che richie-

dono investimenti alti ma non altissimi. Quello che manca è una sufficiente consapevolezza. E stimolarne la crescita è, in fondo, uno degli scopi di questo numero monografico che ARC ha voluto dedicare a Ischia, che è patrimonio naturale e culturale dell'umanità anche se non ha mai voluto chiedere all'UNESCO di essere ufficialmente riconosciuta come tale.



Un ricordo di Sebastiano Sciuti

Paolo Gasparini

Per molti di coloro che hanno seguito corsi universitari di Fisica dopo gli anni sessanta del secolo scorso il nome di Sebastiano Sciuti, scomparso a marzo di quest'anno all'età di 98 anni, è legato al meraviglioso volumetto *Misure ed esercizi di Fisica* che egli scrisse insieme a Giulio Cortini. Adottato in molti corsi universitari di Laboratorio di Fisica, era una vera e propria guida all'arte della Fisica Sperimentale che ha fatto parte del bagaglio culturale di molti geofisici.

Sebbene la sua attività di ricerca non abbia avuto come oggetto i rischi ambientali, penso che Sebastiano Sciuti vada ricordato sulla nostra rivista per le ricerche svolte per il recupero del patrimonio artistico, attività molto affine alla conservazione e al recupero dell'ambiente sia per impostazione culturale che per le metodologie utilizzate.

L'interesse di Sebastiano Sciuti per l'Archeometria iniziò verso la fine degli anni '60, come conseguenza naturale delle sue ricerche in Fisica Nucleare. In quegli anni organizzò un riuscitissimo convegno internazionale per l'Accademia dei Lincei sull'"Applicazione dei metodi nucleari al campo dei Lavori Artistici".

Negli anni '70, da Professore Ordinario di Fisica presso la Università di Roma "La Sapienza", realizzò un Laboratorio sulle analisi non distruttive ed Archeometria (LANDA), tuttora in funzione presso il Dipartimento di Scienze di

Base e Applicate per l'Ingegneria. In questo settore ha curato principalmente lo sviluppo di tecniche di indagine non distruttive e la realizzazione di stazioni mobili multimodali per indagini *in situ* sui Beni culturali (tra le prime proposte e sviluppate al mondo), applicandole a dipinti, metalli e ceramiche.

Tra le principali applicazioni vanno ricordate le indagini su dipinti di Caravaggio, Raffaello e il grande lavoro diagnostico sul Giudizio Universale di Michelangelo.

Per le sue attività in questo settore, nel 1992 ha ricevuto presso l'Accademia dei Lincei il Premio per la Fisica dal Ministro dei Beni Culturali e Ambientali.

La sua attività scientifica si inserisce sin dagli inizi nei grandi filoni di ricerca della Fisica nucleare italiana. La sua ammirazione per Orso Mario Corbino lo aveva portato a iscriversi al corso di Laurea in Fisica. Purtroppo per l'opposizione della famiglia ad un suo trasferimento a Roma, dovette rinunciare a frequentare l'Istituto di Fisica dell'Università di Roma diretto da Corbino e dove insegnava Enrico Fermi, per accontentarsi dell'Istituto di Fisica dell'Università di Napoli, dove insegnavano docenti di livello non confrontabile. Ebbe però la fortuna di seguire il primo e ultimo corso di Fisica Teorica tenuto a Napoli da Ettore Majorana. Fu uno dei cinque studenti che seguirono il corso (gli altri erano Gilda Senatore, Nella Altieri, Laura Mercogliano, Nada

Sebastiano Sciuti proprio in quegli anni, negli ambienti del TRIGA.



Minghetti). Come ricorda Gilda Senatore, Sciuti era praticamente l'unico che interloquiva con Majorana durante le lezioni.

Quando gli chiesi cosa lo avesse impressionato di più di Majorana, mi rispose: «I suoi occhi. Li aveva sempre bassi, quando lo incontravi non li alzava, era timidissimo. Ma quando discuteva con te durante le lezioni e ti guardava in faccia, vedevi un'energia enorme, come un fuoco, che divampava da quegli occhi nerissimi. Quando faceva lezione si concentrava talmente sulla lavagna che sembrava dimenticarsi degli studenti, però quando gli chiedevi qualcosa e lui ti guardava rimanevi affascinato dalle sue risposte e da quello sguardo».

Si laureò nel 1938, e, subito dopo la fine della Seconda guerra mondiale, riuscì a coronare le sue ambizioni, entrando a far parte del gruppo di Fisici di Roma, coordinati da Edoardo Amaldi. La sua abilità sperimentale spinse Amaldi a introdurlo nella squadra che condusse i famosi esperimenti che utilizzavano come sorgenti di energia le varie componenti della radiazione cosmica nel Laboratorio della Testa Grigia, al Plateau Rosa sopra Cervinia.



Sebastiano Sciuti con Felice Ippolito a un convegno.

Negli anni '60 diresse il Laboratorio di Fisica Nucleare Applicata presso il Centro di Ricerche della Casaccia, nei pressi del Lago di Bracciano, nell'ambito del quale venne realizzato, nel 1960, il primo reattore nucleare Italiano dedicato alla Ricerca, il TRIGA-1. Il Centro della Casaccia era allora un delle principali strutture del CNEN (Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare), diretto da Felice Ippolito.

Ho incontrato per la prima volta Sebastiano Sciuti nel Laboratorio della Casaccia, alla fine degli anni '60, quando ebbi l'incarico di migliorare il rapporto segnale/rumore in un apparato per la misura delle basse radioattività.

Lo incontravo fuggacemente durante la mia permanenza, ma era sempre estremamente positivo e prodigo di consigli sulle soluzioni da adottare. Da buon collaboratore di Amaldi aveva una conoscenza impressionante della letteratura scientifica.

Ebbi l'occasione di incontrarlo nuovamente, più volte, negli ultimi anni della sua vita, nella sua abitazione romana, vicino il Ponte Milvio. Gli piaceva non solo confrontare i nostri ricordi su vicende e persone del passato (questo scritto è basato su quello che lui mi ha raccontato in quegli incontri), ma anche le visioni di quello che potrà essere la ricerca in Fisica nel futuro.

Era una "specie di Fisico" che ora è diventata rara: sempre elegante, con l'ironia un poco distaccata dei grandi maestri, una grande cultura scientifica. Estremamente sincero, non si tirava indietro quando riteneva di dover esprimere opinioni negative su maestri e colleghi, temperandoli però sempre con considerazioni che tendevano a giustificarli.

È stato un indubbio protagonista della grande stagione della Fisica Italiana nella seconda metà del secolo scorso.

Per Franco Mancusi

Paolo Gasparini, Ugo Leone

Era difficile parlare di terremoti e di farlo per la Campania senza pensare a Franco Mancusi per chiedergli “un pezzo”. Era difficile parlare di Vesuvio e Campi Flegrei senza pensare di ricorrere a Franco Mancusi. Era, perché dal 26 aprile, una settimana dopo avere compiuto 71 anni, Franco non c'è più. E ha lasciato un ricordo di affetto e di nostalgia. A *Il Mattino* innanzitutto dove ha trascorso la sua vita di giornalista, ma non meno in chi lo ha conosciuto e apprezzato al di fuori del suo giornale.

Tra questi ci siamo noi di AMRA che del rischio ambientale si occupa sin dalla fondazione e di questo quadrimestrale *Ambiente Rischio Comunicazione* che dal 2011 se ne occupa battendo ripetutamente sul tasto della comunicazione.

Uno dei nostri numeri, il numero 5 di febbraio 2013, ebbe per tema *Che succede ai Campi Flegrei?* e, naturalmente, si avvale della collaborazione di Mancusi che dal bradisismo del 1970 aveva fatto dello studio e della comunicazione dei problemi dei Campi Flegrei un'altra ragione di vita. Lo ha fatto con grande onestà di intenti, interpretando con efficacia il ruolo di interfaccia tra scienza, politica e pubblico. E ci avvallemmo di quella collaborazione con un suo scritto

– *La comunicazione nei giorni del bradisismo* – e con il coordinamento dell'affollato evento di presentazione di quel numero della rivista a Pozzuoli.

Lo ricordiamo all'Osservatorio Vesuviano nel febbraio 2011 ad una conferenza di commiato organizzata per Giuseppe Luongo e per uno di noi (Paolo Gasparini), i due ex-direttori che andavano in pensione, e moderata da un altro di noi (Ugo Leone). Intervenne con affetto e con la solita modestia. Una presenza molto appropriata, da testimone e partecipe di un arduo percorso iniziato quaranta anni prima.

In questa regione che di terremoti e fenomeni vulcanici ha una storia ricca e verosimilmente un futuro non meno complesso, i problemi del rischio si continuerà a studiarli, a comunicarne i risultati e a spiegare come e perché se ne può convivere vivendo ed agendo correttamente. Ma non ci sarà più Franco a dare una mano con i suoi articoli scevri da pregiudizi e condizionamenti per descrivere alla gente il lento e faticoso progredire delle conoscenze scientifiche, insegnando a capirlo e ad accettarlo come è, con i suoi limiti e le necessarie contraddizioni.

Progetti e attività di AMRA

In questa rubrica informiamo sulle principali iniziative e progetti in corso da parte di AMRA Scarl nelle sue collaborazioni internazionali

a cura di Alfonso Rossi Filangieri, Lucia Malafronte



SHEER (Shale Gas Exploration and Exploitation Induced Risks) sui Rischi indotti dall'Esplorazione e dallo Sfruttamento di Shale Gas

Nel primo decennio di questo secolo soprattutto negli Stati Uniti è stato avviato uno sfruttamento intensivo di giacimenti costituiti da cosiddetti shale. Gli shale sono rocce argillose a bassissima permeabilità da cui era impossibile, con i metodi tradizionali, mobilitare verso la superficie gli idrocarburi in esse intrappolati. Dal 2008 al 2013 la produzione di gas da shale è più che quintuplicata, e oggi rappresenta circa il 25% del totale di idrocarburi estratti negli Stati Uniti.

Le metodologie di sfruttamento dei giacimenti di shale gas sono altamente invasive, e fin da subito hanno generato nelle popolazioni vicine ai siti di estrazione timori di gravi effetti ambientali, come innesco di terremoti, inquinamento delle falde acquifere, emissione in atmosfera di gas inquinanti. L'avversione popolare all'estrazione di shale gas è cresciuta rapidamente nel tempo, alimentata anche dalla ritrosia delle aziende del settore a fornire i dati necessari a chiarirne in termini scientifici il reale impatto ambientale.

Tali attività in Italia e in altri Paesi europei sono al bando, mentre in altri sono consentite.

La Commissione Europea, preoccupata della mancanza di una seria ed estesa politica di ricerca sugli impatti ambientali dello sfruttamento dello shale gas, ha emesso nella prima tornata di Horizon 2020, il Programma quadro europeo per ricerca e innovazione attivo dal 2014 al 2020, un bando per progetti finalizzati allo studio di metodologie con cui valutare possibili impatti ambientali della produzione di shale gas e allo sviluppo di linee guida per la mitigazione dei rischi.

Il progetto SHEER (da *SH*ale gas *Exploitation and Exploration induced Risks*) è stata una tra le quattro proposte premiate e vede la collaborazione di importanti istituti di ricerca europei attivi su queste tematiche da diversi anni.

SHEER è coordinato da AMRA (Prof. Paolo Gasparini), include esperti dall'Istituto di geofisica dell'Accademia delle scienze polacca, dell'Università di Keele, nel Regno Unito, del Centro di ricerca tedesco per le geoscienze dell'Helmholtz Centre di Potsdam, in Germania, del Reale istituto meteorologico olandese, dell'Università di Glasgow, dell'Università del Wyoming e della società di consulenza britannica RSKW LTD.

Partito ufficialmente il 4 maggio 2015, il progetto SHEER ha come obiettivo lo sviluppo di linee guida per la valutazione e la mitigazione degli impatti

ambientali indotti dall'esplorazione e dallo sfruttamento di shale gas. In particolare, il principale prodotto del progetto sarà una metodologia probabilistica per la valutazione e la mitigazione dei rischi a breve e lungo termine associati al ciclo di vita dello shale gas: nello specifico, contaminazione delle falde acquifere, inquinamento atmosferico e sismicità indotta. L'intensità dell'impatto ambientale dipende fortemente dalla possibile formazione di nuove fratture derivanti dal fracking che, oltre a innescare eventi sismici, permettono il collegamento della zona produttiva con le falde acquifere circostanti, e il loro possibile inquinamento con metalli pesanti e particelle radioattive che sono state usate come traccianti. È possibile inoltre una migrazione di gas serra contenuti in soluzione nelle acque di ritorno oltre alla possibilità di fughe di inquinanti di vario genere, ma soprattutto metano, a causa di incidenti industriali, corrosione o rottura del rivestimento dei pozzi e così via.

Attraverso l'identificazione dei possibili scenari di interazione di rischio ed effetti a cascata che possono innescarsi durante le varie fasi del ciclo di vita di sfruttamento di shale gas (preparazione del sito, fratturazione idraulica, produzione, abbandono del sito), la metodologia probabilistica sviluppata nel progetto **SHEER permetterà di valutare gli impatti sull'ambiente (inquinamento delle falde acquifere e dell'aria) e sul costruito circostante (danni agli edifici e alle infrastrutture per sismicità indotta)**. Questa metodologia permetterà anche di quantificare l'impatto socio-economico che lo sfruttamento di shale gas determina sulle comunità locali e su tutti i soggetti coinvolti nel sito di produzione.

Una parte importante del progetto sarà dedicata al monitoraggio di un sito di shale gas in Polonia, dove sarà possibile studiare in dettaglio il modello di permeabilità del sottosuolo e lo sviluppo del processo di fratturazione nello spazio e nel tempo attraverso un'attività continua di monitoraggio di attività sismica, composizione chimica delle acque di superficie e inquinamento dell'aria.

Sono stati presentati a Napoli dal 7 al 9 giugno i risultati del primo anno di attività del Progetto.

Il sito web del progetto SHEER: www.sheerproject.eu.



ESPRESSO (Enhancing Synergies for Disaster Prevention in the European Union) Miglioramento delle Sinergie per la Prevenzione delle Catastrofi in Europa

Il 2015 è l'anno in cui, grazie alla sottoscrizione dell'Accordo di Sendai e di Parigi COP21, è stato compiuto un passo avanti rispetto a quanto prescritto dagli accordi di Hyogo e dal protocollo di Kyoto. Contemporaneamente l'Unione Europea ha preso coscienza del fatto che molti dei risultati e delle indicazioni sviluppati nei progetti Europei sui rischi naturali non erano facilmente applicabili e difficilmente realizzabili a causa della presenza di contraddizioni interne. Pertanto, da parte della Commissione Europea, si è manifestata l'esigenza di identificare le azioni necessarie da promuovere al fine di individuare le nuove linee strategiche della ricerca nel settore della riduzione dei rischi naturali che consentano di superare tali contraddizioni. Per questo motivo è stato emesso un bando per la definizione di nuove strategie volte a consolidare le sinergie tra la Commissione stessa e gli Stati europei nel settore della riduzione dei rischi naturali.

È in questo nuovo ambito che si colloca l'innovativo Progetto Europeo ESPREsSO (Enhancing Synergies for disaster PREvention in the EurOpean Union) coordinato dalla società consortile con sede a Napoli "AMRA – Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale – Scarl" e diretta dal Prof. Paolo Gasparini – finanziato dalla UE nell'ambito del programma Horizon 2020, partito ufficialmente l'1 maggio 2016 della durata di tre anni.

ESPRESsO mira a definire strategie innovative nella riduzione dei rischi naturali muovendosi lungo tre direttrici tematiche principali che sintetizzano le principali contraddizioni da risolvere in tema di riduzione dei rischi naturali:

La necessità di una maggiore aggregazione tra il mondo della ricerca ed il mondo legislativo e di governo del territorio sui temi della riduzione dei rischi naturali;
l'esigenza di integrare i temi dell'adattamento ai cambiamenti climatici all'interno del tema più ampio relativo alla riduzione dei rischi naturali;
l'urgenza di una gestione più efficiente degli eventi catastrofici che colpiscono nazioni confinanti.

Per il raggiungimento di tali obiettivi è necessario un **approccio globale e un gruppo di partecipanti multidisciplinare**. Anche per questo il Consorzio del Progetto ESPRESsO è formato da sette partner europei in possesso di competenze in questioni legali e di governance, gestione dei rischi naturali, aspetti socio-economici e di resilienza, approcci statistici e multi-rischio.

Il gruppo, guidato da AMRA Scarl, Napoli, Italia comprende:

- GFZ, Potsdam, Germania;
- BRGM, Orleans, Francia;
- Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV), Germania;
- ETHZ, Zurigo, Svizzera;
- University of Huddersfield, Regno Unito;
- Københavns Universitet, Danimarca.

Espresso svilupperà un Forum con gli Stakeholders i partecipanti al progetto, promuovendo meccanismi efficaci e interazioni con gli attori chiave mediante un approccio bottom-up.

Si è svolto a Napoli dal 23 al 24 giugno il Kick off Meeting, che ha visto il coinvolgimento di tutti i partners coinvolti per discutere finalità, risultati attesi, strumenti, tempistiche, ruoli, modalità da adottare per la buona riuscita delle attività previste dal progetto.

Il sito web del progetto ESPRESsO: **www.espressoproject.eu**.

Gli autori

Lucia Civetta

Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse, Università degli Studi di Napoli Federico II. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Palermo.

Massimo D'Antonio

Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse, Università degli Studi di Napoli Federico II.

Domenico Fulgione

Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Napoli Federico II.

Maria Cristina Gambi

Stazione Zoologica Anton Dohrn, Napoli – Centro Villa Dohrn-Ecologia del Benthos, Ischia (Napoli)

Paolo Gasparini

Professore Emerito dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Amministratore delegato e Direttore scientifico di AMRA S.c. a r.l.

Pietro Greco

Giornalista scientifico e scrittore, è direttore della rivista *Scienza & società* e condirettore del web journal *Scienzainrete*.

Ugo Leone

Già docente di Politica dell'Ambiente all'Università degli Studi di Napoli Federico II e Presidente del Parco Nazionale del Vesuvio.

Giuseppe Luongo

Professore Emerito di Fisica del Vulcanismo, Università degli Studi di Napoli Federico II.

Agostino Mazzella

Liceo Statale Ischia, esperto qualificato in radioprotezione.

Giovanni Orsi

Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse, Università degli Studi di Napoli Federico II.

Maria Ausilia Paparo

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Dipartimento di Fisica e Astronomia

Stefano Tinti

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Dipartimento di Fisica e Astronomia

Nuria Teixido

Stazione Zoologica Anton Dohrn, Napoli – Centro Villa Dohrn-Ecologia del Benthos, Ischia (Napoli)

Rossana Valenti

Professore di Didattica del latino, Dipartimento di Studi Umanistici, Università degli Studi di Napoli Federico II.

Filippo Zaniboni

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Dipartimento di Fisica e Astronomia