



SOLFATARA: DIMORA DEL DIO VULCANO, INGRESSO PER GLI INFERI

SOLFATARA: HOME OF VULCANO, ENTRANCE TO HELL

Candidata: Olga De Castro, matr. N89/215744 (olga.decastro@gmail.it)

Tesi di laurea triennale, bibliografica, 2017-2018

Relatore: Prof.re Piero Pucciarruti; Geologia (GEO/38); Dip. di Geologia; mitapica@unina.it

[-----spazio per firma.....]

Correlatore: Prof.ssa Maria Coppa; Botanica Generale (BIO/01); Dip. di Biologia;
olma@unina.com

[-----spazio per firma.....]

INDICE

Riassunto/Abstract	pag. 3
Introduzione	
<i>Prefazione</i>	pag. 4
<i>Solfatare, fumarole, soffioni boraciferi, acque termali e geyser</i>	pag. 5
La Solfatara	
<i>Cenni storici</i>	pag. 10
<i>Geologia</i>	pag. 10
<i>Il vecchio osservatorio borbonico</i>	pag. 11
<i>Fenomeni vulcanici</i>	pag. 12
<i>Flora</i>	pag. 14
<i>Organismi estremofili</i>	pag. 15
Bibliografia	pag. 17

RIASSUNTO

La Solfatara di Pozzuoli è uno dei quaranta vulcani che costituiscono i Campi Flegrei ed è ubicata a circa tre chilometri dal centro della città di Pozzuoli. Si tratta di un antico cratere vulcanico ancora attivo ma in stato quiescente che da circa due millenni conserva un'attività di fumarole d'anidride solforosa, getti di fango bollente ed elevata temperatura del suolo: altre attività simili si riscontrano anche in altre parti del mondo e vengono indicate con il nome di solfatara proprio per la similitudine con quella puteolana. La Solfatara rappresenta oggi una valvola di sfogo del magma presente sotto i Campi Flegrei, grazie alla quale si riesce a mantenere una pressione costante dei gas sotterranei.

Parole chiave: Campi Flegrei, Solfatara, vulcanesimo secondario

ABSTRACT

The Solfatara di Pozzuoli is one of the forty volcanoes that make up the Campi Flegrei and is located about three kilometers from the city center of Pozzuoli. It is an ancient volcanic crater still active but in a quiescent state that for about two millennia preserves an activity of fumaroles of sulfur dioxide, jets of boiling mud and high soil temperature: other similar activities are also found in other parts of the world and are indicated with the name of sulfate just for the similitude with that puteolana. Today, the Solfatara is a magma relief valve present under the Campi Flegrei, thanks to which it is possible to maintain a constant pressure of the underground gases.

Keywords: Campi Flegrei, Solfatara, secondary volcanism

INTRODUZIONE

Prefazione

Narra Virgilio che il gigante Encelado, ribellatosi agli dei, venne sepolto vivo sotto l'Etna dalla dea Atena: i sismi sono i suoi sussulti, i boati la sua voce lamentosa ed implorante, le eruzioni il suo respiro ardente ed infuocato. Minas, fratello di Encelado, fu anch'egli sepolto vivo da Efesto sotto il Vesuvio (Figura 1). Il sangue degli altri giganti sconfitti zampilla dai Campi Flegrei, teatro della mitologica battaglia combattuta dai titani che volevano conquistare l'Olimpo (Sirpettino 1991).

Nel canto sesto dell'Eneide Virgilio racconta come, tramite i Campi Flegrei (dal lago d'Averno), si poteva discendere agli Inferi: "...poiché si dice che qui sia la porta del re dell'Inferno e l'oscura palude dove sbocca il gorgo dell'Acheronte..." (134-136), "...C'era un'enorme caverna dalla vasta apertura tagliata nella roccia, difesa da un lago nero e dal buio dei boschi. Nessun uccello poteva volarvi impunemente al di sopra, per gli aliti che salivano al cielo convesso, sprigionandosi dalla sua scura bocca. Da ciò i greci chiamarono il luogo con nome d'Aorno..." (301-306).

Spostandoci, e non di poco, nel tempo e nello spazio, vediamo come, all'inizio del 1800, negli Stati Uniti d'America alcuni cacciatori di pellicce sostenevano d'aver scoperto "le porte degli Inferi" tra le cime delle Montagne Rocciose (Yellowstone, Wyoming). Raccontavano di ambienti incredibili con acque bollenti che zampillavano dal terreno, con fango che ribolliva in laghetti, di strane emanazioni gassose, e così rafforzavano tetre credenze popolari.

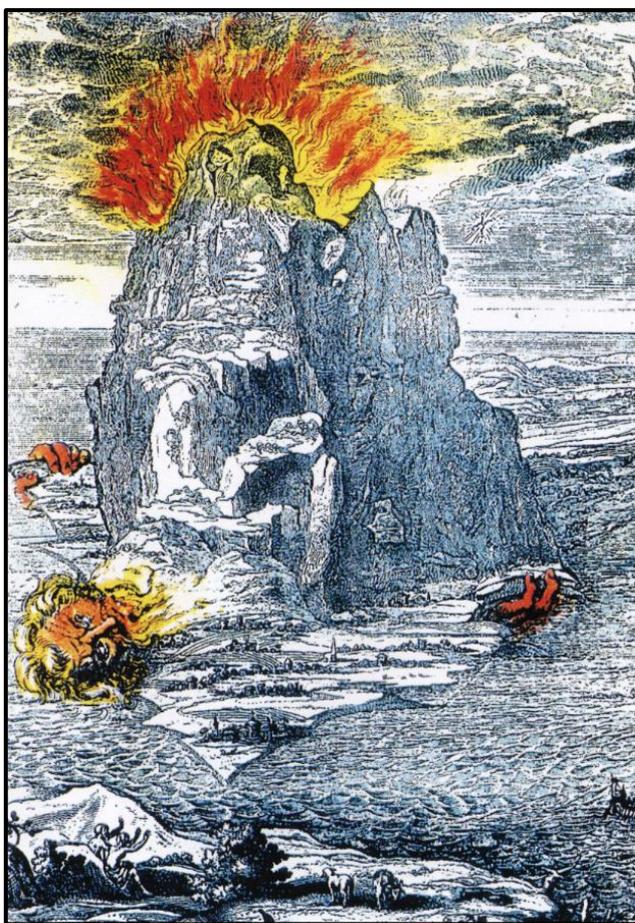


Figura 1. Encelado sepolto sotto l'Etna dalla dea Atena.

Adesso sappiamo che tutti quei fenomeni che hanno suscitato nel tempo tante fantasie e tante credenze, altro non sono che fenomeni collegati a fasi di estinzione o riposo di attività vulcanica (Gasparini 1987; Accordi et al. 1993).

Chiunque, ancora oggi, davanti ad un geysir roboante o davanti al ribollire di fango e acqua rimane affascinato, ed è più che comprensibile che tali fenomeni abbiano, in passato, suggestionato chi li osservava o chi ne ascoltava la descrizione fino a portarne l'immaginazione ai confini delle più incredibili fantasie.

Solfatare, fumarole, soffioni boraciferi, acque termali e geysir

Un vulcano durante la sua fase di quiescenza o estinzione (fase solfatarica) può dare luogo a emissioni di gas che formano i particolari fenomeni postvulcanici (o di vulcanismo secondario), i più importanti dei quali sono le solfatare, le fumarole, i vulcanetti di fango (mud pots), i geysir e le acque termali (Dal Piaz 1955).

Il sistema che crea tali fenomeni di natura idrotermale, funziona come una gigantesca caldaia sotterranea riscaldata dal magma, che trasforma l'acqua vadosa o freatica in acqua calda sotto pressione. L'acqua piovana filtra attraverso fratture dalla superficie fino ad uno strato di rocce porose, dove si raccoglie come in una spugna. Il calore proveniente da un bacino magmatico, di solito situato a 3 o 4 km di profondità, raggiunge, per conduzione, lo strato permeabile passando attraverso le rocce interposte (Figura 2). Per la pressione esercitata contemporaneamente dal peso dell'acqua e da quello delle rocce sovrastanti, l'acqua che si trova nello strato permeabile può raggiungere i 260° C senza tuttavia entrare in ebollizione. Quest'acqua surriscaldata risale a causa della pressione idrostatica, della forza espansiva del vapore d'acqua, per i gas in sospensione e per la capillarità del terreno, dal quale poi fuoriesce in forme che variano a seconda delle condizioni nelle quali si è svolto il suo percorso verso l'alto (Figura 2) (Dal Piaz 1955).

Le solfatare sono delle esalazioni di vapore acqueo, biossido di carbonio ed idrogeno solforato, dalla cui ossidazione si forma zolfo che si deposita, formando spesso bei cristalli (la solfatarata è così chiamata proprio per i cristalli di zolfo che si depositano all'uscita delle esalazioni). Le solfatare sono diffuse in tutte le aree vulcaniche della Terra, soprattutto in Islanda, in California, nel Wyoming, in Messico, nelle Antille, in Cile, in Giappone, nell'isola di

Milo. Numerose sono anche in Italia dove la più famosa si trova a Napoli presso i Campi Flegrei (Pozzuoli).

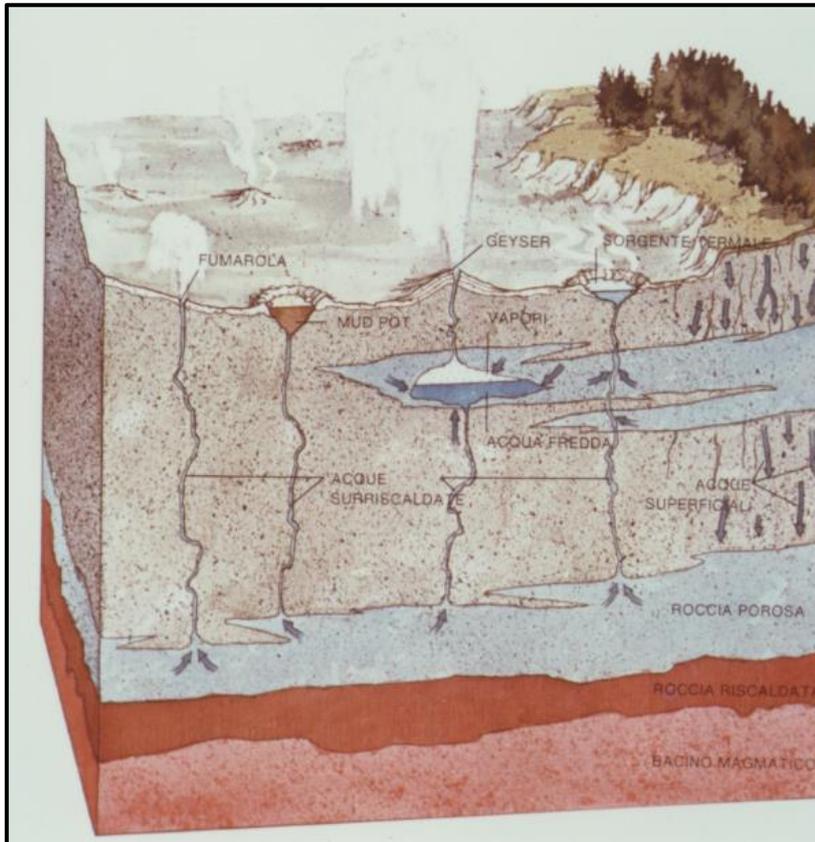


Figura 2. Schema della formazione e alimentazione delle fumarole, mud pots, sorgenti termali e geysers.

L'attività eruttiva di un vulcano nella fase solfatarica consiste nella produzione di vapore d'acqua surriscaldato ($130^{\circ}\text{C} - 170^{\circ}\text{C}$), con presenza di CO_2 e H_2S . Le emanazioni di gas e vapori vengono anche chiamate fumarole e consistono in emanazioni gassose, abbastanza deboli e regolari, che fuoriescono da fessure o da fori spesso raggruppati a costituire dei campi fumarolici (Parascandolo 1947; Dal Piaz 1955).

Per temperature tra i $500^{\circ}\text{C} - 1000^{\circ}\text{C}$, si hanno fumarole secche o anidre ($\text{H}_2\text{O} < 10\%$) ricche in H_2 , SO_2 , F , HF , SiF_4 , HCl , NaCl e FeCl_3 che determina la classica colorazione arancione del gas. Nelle fumarole acide la temperatura è meno elevata (da 300°C a 500°C). Presentano, inoltre, una notevole quantità di vapore d'acqua, acido cloridrico, anidride solforosa e anche cloruri metallici: infatti si formano spesso nelle loro vicinanze depositi di ferro, sotto forma di oligisto. A circa 100°C , le fumarole vengono definite alcaline o ammoniacali per la presenza per il 5% di cloruro di ammonio, biossido di carbonio e acido solfidrico (Parascandolo 1947). Per temperature inferiori ai 100°C si hanno le fumarole fredde o mofete, spesso legate a sorgenti termali, ricche in vapore acqueo e CO_2 e che possono circondarsi di depositi di travertino. Le mofete sono pericolose se si ritrovano in grotte perché la CO_2 , essendo più pesante dell'aria, si dispone nel basso della grotta (esempio conosciutissimo è la Grotta del Cane ad Agnano detta così perché si dice che un cane vi rimase asfissiato) (Dal Piaz 1955).

Per lo studio delle fumarole si prelevano dei campioni mediante un tubo di vetro nel quale è stato fatto il vuoto; dopo aver infisso il tubo nel terreno in corrispondenza di una fumarola, se ne rompe la punta sporgente con una pinza. Non appena il tubo si è riempito dei gas dell'esalazione, viene estratto e chiuso immediatamente e in laboratorio se ne analizza il contenuto procedendo alla stima qualitativa e quantitativa dei gas raccolti (Parascandolo 1947).

Di particolare interesse, anche dal lato applicativo, sono i soffioni boraciferi (o fumacchi). Questi sono costituiti da getti di vapore d'acqua accompagnata da anidride carbonica, ammoniaca, acido solfidrico, acido borico, gas nobili, che escono da fessure del suolo ad una temperatura di 120° C - 210° C e ad una pressione di 1-6 atmosfere. Da ultime ricerche risulta che le sorgenti di gas derivano da un batolite granitico e non da una zona vulcanica.

Nel vapore dei soffioni si trova, seppure in quantità minime, acido borico. Il vapore, però, attraversando una massa d'acqua (lagone), cede, depositandolo, il suo contenuto di acido borico. Ed infatti, prima che iniziasse l'estrazione industriale con metodi più moderni, il metodo di estrazione del prezioso minerale consisteva, appunto, nella raccolta del minerale depositato sul fondo dei lagoni.

Data la forte pressione con cui viene emesso il vapore, si sono create delle strutture per convertirlo in energia elettrica (Larderello).

Talvolta i soffioni boraciferi sono intermittenti nel getto e finiscono per non differire molto dai geysers. D'altro canto, la presenza di idrogeno solforato nel loro vapore li fa accostare alle manifestazioni dell'attività solfatarica.

Le emanazioni di acido solfidrico e di anidride carbonica, che qua e là si associano ai soffioni, vengono chiamate putizze in Toscana.

Quando il vapore d'acqua surriscaldato si mescola durante la sua risalita con acqua superficiale fredda, sgorga come sorgente termale. Le acque vengono chiamate termali in quanto la loro temperatura è sensibilmente superiore alla temperatura media dell'anno. Vengono di solito classificate in rapporto alla temperatura del corpo umano, secondo la schema seguente:

acque fredde	meno di 20° C
acque tiepide	fra 20° C e 30° C
acque calde	fra 31° C e 35° C
acque caldissime	fra 36° C e 45° C
acque ipertermali	più di 45° C

Molto spesso le acque termali sono mineralizzate: si hanno allora le acque termominerali.

Le acque termali sono diffusissime nelle regioni vulcaniche, dove continuano a sgorgare anche lungo tempo dopo che è cessata ogni attività eruttiva, ma si trovano anche in territori del tutto privi di manifestazioni magmatiche recenti. Questa circostanza pone di fronte alla non facile individuazione dell'origine di tali acque, per la quale si sono prospettate tre ipotesi:

- 1) origine vadosa o geotermale;
- 2) origine profonda o giovanile;
- 3) origine mista.

Attualmente prevale l'ipotesi (del Daubrée) per cui le acque termali sarebbero in massima parte acque meteoriche (vadosi), che surriscaldate ad elevate profondità risalgono determinando le caratteristiche sorgenti. A questa teoria si contrappone l'ipotesi dell'origine profonda o giovanile formulata da Suess, secondo il quale le acque termali sarebbero delle acque sotterranee derivanti dalla condensazione del vapore d'acqua contenuto nei magmi, che nel sottosuolo vanno lentamente consolidando per raffreddamento, oppure dalla combinazione dell'idrogeno giovanile (magmatico) con l'ossigeno atmosferico giunto fino a quelle profondità. Contro questa ipotesi sono state mosse diverse critiche. Si è obiettato che la quantità d'acqua emessa, sotto forma di vapore, da un magma intrusivo in via di raffreddamento non sembra sufficiente ad alimentare una sorgente termale di notevole portata e di lunga vita. In secondo luogo, si è constatato che le sorgenti termali di certi distretti vulcanici sono alimentate in tutto o in parte da acque vadosi di sicura origine meteorica (Krafft 1993).

In generale il fenomeno della mineralizzazione di tali acque, si spiega con la assimilazione dei vari minerali presenti nelle rocce con le quali le acque vengono a contatto. Solo l'anidride

carbonica, che si riscontra in sorgenti anche fredde, sembra aver sicuramente un'origine magmatica.

Le acque termominerali, oltre a determinare delle concrezioni superficiali per il deposito dei minerali che contengono (ad esempio le famose concrezioni di CaCO_3 a forma di bacinella nel Parco Nazionale di Yellowstone), durante il loro percorso sotterraneo, depositano parte delle sostanze in esse disciolte entro le reti di fessure e di meati minutissimi, come dimostra la formazione delle dentriti (specie di pseudo-fluorescenze di idrossido di manganese e ferro). Le acque cariche di sostanze minerali determinano, inoltre, la ricementazione delle rocce fratturate e brecciate (marmi venati, oficalci).

Alcune sorgenti di acqua calda, ostruite dal fango derivato dallo sgretolamento di rocce circostanti per azione dei gas, danno origine alle caratteristiche pentole di fango (mud pots).

I geysers sono delle sorgenti termali zampillanti a carattere intermittente. Emettono vapori e acqua calda contenenti sostanze minerali, costituite da calcare e da silice (geyserite), che si depositano intorno all'orifizio, formando un cono schiacciato, al cui interno è presente il piccolo bacino craterico del geyser.

Sono stati studiati soprattutto in Islanda, Nuova Zelanda e Stati Uniti; in quest'ultimo paese esistono ben 200 geysers tra le 10.000 sorgenti calde localizzate nel Parco Nazionale di Yellowstone. Alcuni di questi presentano eruzioni spettacolari, come l'Old Faithful (Vecchio Fedele), che funziona a intervalli di 65 minuti e il cui getto raggiunge i 50 metri di altezza.

Il periodo dei getti può oscillare da pochi minuti a molti giorni, e per uno stesso geyser varia col passare del tempo entro limiti molto larghi. È noto l'esempio del Grande Geyser d'Islanda, che nel 1772 eruttava ogni mezz'ora, mentre attualmente la sua attività si manifesta solo una volta ogni mese.

I geysers, che sono alimentati da falde freatiche, entrano in eruzione quando i vapori e i gas vulcanici caldi, provenienti da spaccature profonde collegate con focolari vulcanici, riscaldano l'acqua dei livelli più bassi; l'acqua, raggiunta la temperatura di ebollizione corrispondente alla pressione alla quale si trova, si trasforma in vapore e solleva la colonna d'acqua sovrastante, la quale entra pure in ebollizione repentina (ipotesi di Bunsen).

LA SOLFATARA

Cenni storici

Una fosca descrizione della Solfatara si deve al talento letterario di Petronio (I sec. d.C.), in uno dei passi del Satyricon in cui imita lo stile magniloquente della poesia epica del suo tempo: “...Vi è, tra Neapolis e i vasti campi di Dicearchia, un luogo posto nel fondo di un abisso cavo, bagnato dalle acque del Cocito; infatti ne fuoriescono impetuosamente vapori, che si spargono intorno con soffocante calore. Mai in autunno questa terra verdeggia, nè il fertile campo fa crescere l'erba, mai a primavera i teneri cespugli risuonano della discordante armonia del canto degli uccelli; ma lo squallore e le rocce coperte di nera lava gioiscono, circondate dal funebre cipresso...” (CXX, 67-75).

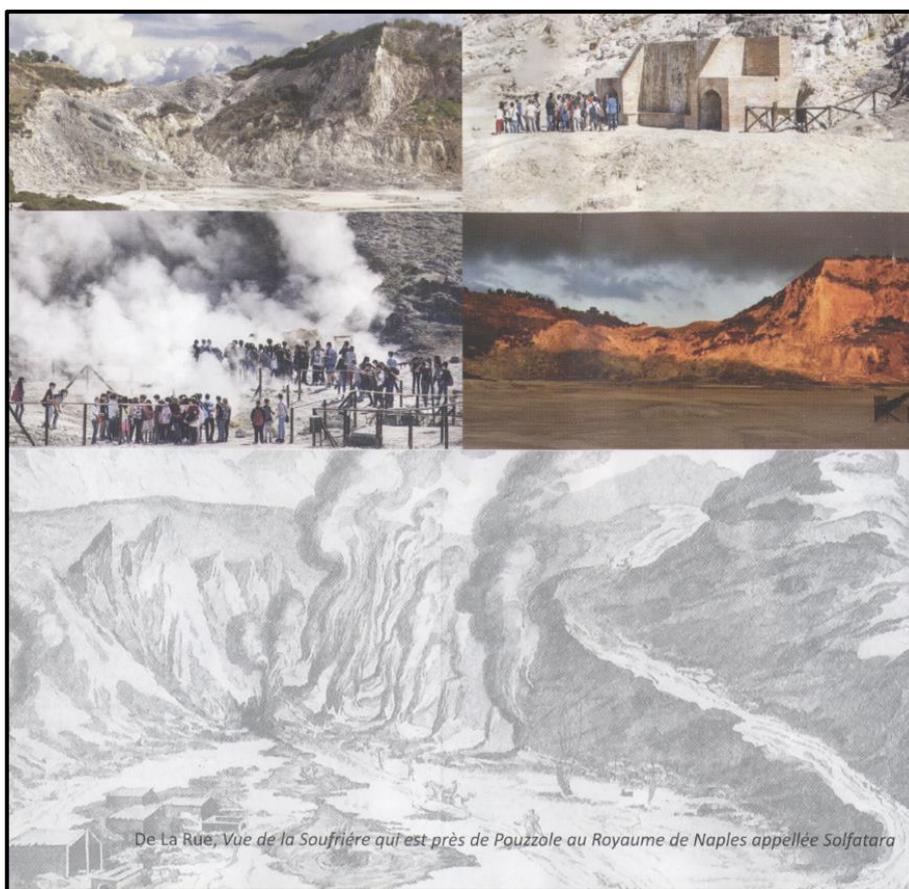


Figura 3. Differenti vedute della Solfatara.

La geologia

Il vulcano della Solfatara giace da quasi 4000 anni al centro dei Campi Flegrei. L'edificio vulcanico, che con i suoi versanti orientali esterni chiude ad ovest la Conca di Agnano, ricade interamente nel territorio del Comune di Pozzuoli (Figura 3). Più giovane dei vulcani di Agnano e di poco precedente la nascita degli Astroni, la Solfatara continua a offrire lo spettacolo di un'area di vulcanesimo attiva: manifestazioni fumaroliche, tremori sismici e deformazione ciclica del suolo costituiscono gli elementi caratteristici della dinamica del vulcano. Sorvegliato

da una fitta rete di strumenti, viene considerato dagli scienziati come prezioso laboratorio naturale di studi geologici, ma è vissuto anche come pericolo incombente per le adiacenti aree urbanizzate.

La Solfatara appartiene a quel ciclo recente di attività eruttiva flegrea detto dei vulcani “monogenici”, formati, cioè, in un unico evento, o comunque in episodi racchiusi in un tempo breve, e non più alimentati dal magma (Krafft 1993). Per la Solfatara, in verità, una eruzione successiva (1198) è riportata dalle cronache, ma questa ebbe, molto probabilmente, solo carattere freatico. L'edificio vulcanico è formato, ad eccezione della cupola di lava trachitica del Monte Olibano, da rocce piroclastiche generate da interazione magma-acqua, a tratti ricoperte dai prodotti incoerenti del più recente vulcano degli Astroni. Le rocce della Solfatara sono state poi alterate dai fenomeni idrotermali, assumendo carattere litoide e pigmentazioni policrome. La successiva fratturazione, causata dalle forze interne alla crosta terrestre, ha condizionato l'evoluzione morfologica dei versanti, conferendo ad ogni settore proprie peculiarità (Di Girolamo et al. 1984).

Il suolo è prevalentemente costituito da materiale argilloso-siliceo di colore biancastro (bianchetto). Nella zona centrale del cratere, nubi di vapore si levano dalla fangaia, la espressione entro cui gorgogliano incessantemente bolle di gas in caldi fanghi grigiastri. Percorrendo in senso antiorario il perimetro interno del vulcano, si incontra l'aspro versante costituito dai prodotti della cupola di lava trachitica, fratturati ed alterati. La parete, alla base della quale si notano i materiali detritici franati, presenta una tipica colorazione rosso-bruna, che indica la presenza delle lave, mentre la parte alta, più chiara, risulta costituita dalle piroclastiti incoerenti delle eruzioni della Solfatara e degli Astroni. Contrastante con il biancore del suolo e di parte dei versanti, il verde della macchia mediterranea ricopre i ripidi pendii e la parte più settentrionale del fondo del cratere.

Il vecchio osservatorio borbonico

Oltrepassato il versante sud-orientale, si giunge ad una piccola costruzione in muratura, immersa tra i vapori della fumarola detta Bocca Grande. Si tratta del vecchio Osservatorio vulcanologico borbonico (recintato dopo l'ultima crisi bradisismica a causa dell'apertura di

nuove fratture e fumarole), che ancora oggi costituisce una delle stazioni di sorveglianza e misurazione della temperatura e della composizione chimica delle emanazioni gassose.

Il versante orientale, a ridosso dell'Osservatorio, mostra in bella evidenza gli affioramenti geologici dei prodotti della Solfatara, in cui si possono riconoscere le tipiche strutture e tessiture delle rocce piroclastiche, nonostante la forte alterazione causata dalle numerose fumarole. Intorno alle bocche di quest'ultime si osservano le splendide incrostazioni di cristalli di zolfo dal caratteristico colore giallo citrino.

Lasciato il versante, si incontra un'altra opera in muratura dotata di due strutture ad arco che, consentendo di captare i vapori caldi, possono essere utilizzate come sudatori naturali.

L'attività idrotermale del vulcano ha provocato la deposizione per sublimazione, cioè per passaggio diretto dalla fase gassosa a quella solida, di composti chimici riscontrabili agevolmente in patine, croste e cristalli. Tra questi si possono ricordare, oltre ai già menzionati cristalli di zolfo, il solfuro di arsenico (realgar), in piccoli cristalli di colore rosso brillante, il solfuro di mercurio (cinabro), rosso-violaceo, e il solfuro di antimonio (antimonite), giallo-ocraceo. Patine verdastre frammiste ai sublimati potrebbero far pensare a minerali del rame; si tratta, in realtà, di alghe (Cyanophyta e Rhodophyta) capaci di crescere anche in ambiente termale ad elevate temperature (De Luca & Taddei 1970; Moretti & Pinto 1974). Ancora da ricordare è l'allume potassico, biancastro, estratto fin dai tempi antichi per uso medico.

Fenomeni vulcanici

Si possono osservare due fenomeni che generano stupore e sgomento nella Solfatara: la condensazione del vapore ed il rimbombo del suolo.

Uno dei fenomeni più appariscenti è quello della condensazione del vapore acqueo che si determina avvicinando ad una fumarola una piccola fiamma: i vapori appaiono progressivamente più intensi poiché sia le minute particelle solide prodotte dalla combustione sia gli ioni dei gas atmosferici prossimi alla fiamma agiscono da nuclei di condensazione del vapore stesso.

Altro fenomeno impressionante è quello che si può provocare lasciando cadere al suolo un masso anche da piccola altezza, in alcuni punti del cratere, infatti, ciò determina un cupo rimbombo che crea la sensazione che vi siano delle grandi cavità sotterranee. In realtà si tratta di microcavità prodotte dai gas delle fumarole in un terreno per sua natura abbastanza poroso.

Caratteristiche della Solfatara sono: la Fangaia, la Bocca Grande (ovvero la fumarola principale), il Pozzo dell'acqua minerale e le vecchie Stufe (saune naturali).

La Fangaia è costituita da acque di origine piovana e acqua di condensazione dei vapori, che si mescolano con il materiale di tipo argilloso presente alla superficie del cratere. La composizione dei gas che fuoriescono dalla fangaia è molto varia (H_2S , N_2O , H_2O , CH_4 , He , C); la composizione del liquido è altrettanto ricca (Boro, Sodio, Magnesio, Vanadio, Arsenico, Zinco, Iodio, Antimonio, Rubidio e altri); il fango così prodottosi naturalmente è ottimo per usi termali. La composizione chimica dei gas indica una presumibile origine dei vapori a poche centinaia di metri sotto il suolo della Solfatara, ad una temperatura fra i $170^\circ C$ ed i $250^\circ C$. Le scure striature sulla superficie del fango sono costituite da colonie di batteri resistenti a condizioni estreme di acidità e temperatura, che sono considerati di grande interesse scientifico.

Bocca Grande è il nome della principale fumarola della Solfatara con temperatura del vapore acqueo di circa $160^\circ C$. Nell'interno di tale bocca si condensano alcuni sali contenuti nel vapore tra cui il realgar (AsS), il cinabro (HgS) e l'orpimento (As_2S_3) che danno una colorazione giallo rossiccia alle rocce circostanti; è inoltre presente l'acido solfidrico (H_2S), dal caratteristico odore di uova marce. La zona della Bocca Grande era denominata dagli antichi "Forum Vulcani" ovvero la dimora di Vulcano dio del fuoco. Agli inizi del 1900 fu qui edificato, per il vulcanologo tedesco Friedländer, un piccolo Osservatorio Vulcanologico, di cui restano alcune rovine, che crollò sia per effetto dei periodici movimenti tellurici collegati al Bradisismo Flegreo sia per l'apertura di una fumarola.

Nell'alto medioevo erano attive nei Campi Flegrei almeno 40 sorgenti termali tra cui quella della Solfatara; alcune di esse risultano già conosciute in Età Classica (Giacomelli & Scandone 1992). Le acque termali della Solfatara erano ritenute curative dei nervi, della vista, delle febbri, delle malattie della pelle e della sterilità. Il Pozzo dell'acqua minerale, attualmente visibile venne costruito nei primi anni del 1800 per estrarre allume dall'acqua della sottostante falda a circa 10 metri di profondità. Il prof. Sebastiano de Luca, noto chimico dell'Università di Napoli,

compì intorno al 1870 numerose indagini scientifiche su tali acque che risultarono ricche di allume, ossidi dello zolfo, solfati di calcio, magnesio e altre sostanze. L'acqua della Solfatara possiede un caratteristico ed aspro sapore di limone. L'acqua minerale venne successivamente utilizzata per riprendere l'antica attività termale che proseguì fino agli anni 20. La profondità della falda acquifera che alimenta il pozzo è variabile nel tempo e si ipotizza una sua relazione con le fasi bradisismiche. La storia dei Campi Flegrei è attraversata periodicamente da fasi di bradisismo positivo (innalzamento del suolo) e negativo (abbassamento del suolo); tali lenti movimenti hanno fatto variare il livello sul mare della città di Pozzuoli di alcuni metri nel corso dei secoli (Giacomelli & Scandone 1992).

Le Stufe sono due antiche grotte scavate nel fianco della montagna sul lato nord alla fine del 1800 per realizzare sudatori naturali e successivamente rivestite di muratura. Si sostava all'interno delle grotte per non più di pochi minuti, ciò provocava una energica sudorazione ed obbligava a respirare gli intensi vapori sulfurei che quivi si sprigionavano. Pertanto, esse erano ritenute ottime per la cura delle affezioni delle vie respiratorie, delle malattie della pelle e dei reumi. I sudatori naturali erano peraltro conosciutissimi sin dall'Età Classica ed erano una delle attrattive termali dei Campi Flegrei.

Flora

Nel cratere del Vulcano Solfatara è presente una notevole varietà di specie botaniche, anche molto differenti tra loro per esigenze climatiche e pedologiche; ciò è dovuto essenzialmente all'attività vulcanica che eleva la temperatura della rizosfera e impedisce la sopravvivenza della vegetazione o le impone un anomalo adattamento con un tessuto radicale superficiale (Giacomelli & Scandone 1992). L'orografia rende più soleggiato il versante nord, arido e ricoperto di graminacee, più umido e ombreggiato quello opposto dove è presente un bosco mesofilo, con alcune specie di felci (*Pteridium aquilinum*, *Asplenium adiantum nigrum*, *Cystopteris fragilis*), castagni (*Castanea sativa*) e pungitopo (*Ruscus aculeatus*). Il fondo del cratere offre ampie zone di macchia mediterranea con erica (*Erica arborea*), corbezzolo (*Corbutus unedo*), salsapariglia (*Smilax aspera*), cisto (*Cistus salvifolius*), mirto (*Myrtus communis*) e ginestre (*Cytisus scoparius*, *Spartium junceum*) sono inoltre presenti due orchidacee, la serapide cuoriforme (*Serapias cordigera*) e la serapide maggiore (*Serapias*

vomeracea). Come specie arboree sono molto diffusi il leccio (*Quercus ilex*), la robinia (*Robinia pseudoacacia*) e l'eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), introdotto per le indubie qualità di ombreggiamento e riparo dal vento e per la sua capacità di adattamento anche nelle zone più direttamente influenzate dall'attività vulcanica (Gasparini 1987; Giacomelli & Scandone 1992).

Di tutte le piante della Solfatara di Pozzuoli, la più singolare e forse la meno facile da trovare è l'ipocistide (*Cytinus hypocistis*); solo gli esperti sanno che la si deve cercare ai piedi dei cisti (*Cystus salvifolius*) in quanto, come indica il suo nome, è una pianta parassita del cisto. Le sue radici si fissano su quelle del cisto e ne traggono nutrimento, non essendo la pianta in grado di elaborare la sintesi clorofilliana. Le foglie, ormai inutili, sono ridotte a squame, i fiori globosi e dagli intensi colori gialli e rossi, crescono rasoterra spesso nascosti dalle foglie secche (Giacomelli & Scandone 1992).

Organismi estremofili

Con il nome "estremofili" vengono attualmente indicati tutti gli organismi che vivono in ambienti ritenuti estremi sia per l'essere umano che per la maggior parte degli organismi superiori (De Luca & Taddei 1970; Moretti & Pinto 1974).

Nella Fangaia sono state isolate colonie di batteri che vivono a temperature superiori ai 90° C tra cui il *Bacillus acidocaldarius* e la *Caldariella acidophila* nonché l'archeobatterio *Sulfolobus solfataricus*. Negli ultimi anni, i batteri estremofili, hanno suscitato un rinnovato interesse industriale per lo sviluppo di nuovi processi produttivi. Il *Sulfolobus solfataricus*, in particolare, è utilizzato per la produzione di acidi organici combustibili liquidi e di enzimi termostabili, sfruttati nell'industria alimentare per la produzione di sciroppi zuccherini.

Sulle pareti alle spalle della Bocca Grande, vivono, in condizioni di elevata temperatura, alghe unicellulari termofile quali *Cyanidioschyzon merolae*, *Cyanidium caldarium* e *Galdieria sulphuraria* (Rhodophyta) (Figura 4). L'acidità di questi ambienti è causata, anche, dall'ossidazione di H₂S in H₂SO₄ ad opera del chemiobattero *Thiobacillus thiooxidans*.



Figura 4. Uno sbuffo di vapore segnala l'alta temperatura di una sorgente termale. I minerali sciolti nell'acqua calda si sono depositati ai margini del laghetto, formando un bordo tutt'opunteggiato di alghe rosse (Cyanidiophyceae).

Nel 1989 è stata segnalata la presenza di un particolare insetto, una nuova specie di collembolo denominata *Seira tongiorgii*. I collemboli sono i progenitori degli insetti alati: infatti

il più antico insetto conosciuto è un collembolo,

Rhyniella praecursor, rinvenuto in un frammento di ambra del periodo Devoniano; per questo motivo vengono talvolta definiti "fossili viventi". La *Seira tongiorgii* non presenta particolarità morfologiche ma possiede adattamenti fisiologici che le consentono di vivere a stretto contatto con un substrato estremamente acido e ricco di emissioni di zolfo, quale è quello della Solfatara, proibitivo per altre specie di collemboli. Proprio tali adattamenti fisiologici suggeriscono che questa specie sia un endemismo, cioè una specie esclusiva della Solfatara di Pozzuoli.

BIBLIOGRAFIA

- Accordi B., Palmieri E.L., Parotto M.** 1993 Il globo terrestre e la sua evoluzione. Quarta edizione. Bologna: Zanichelli.
- Dal Piaz G.** 1955. Corso di Geologia, vol. I. Padova: CEDAM.
- De Luca P., Taddei R.** 1970. Due alghe delle fumarole acide dei Campi Flegrei (Napoli): *Cyanidium caldarium?* Delpinoa, 10-11: 79-89.
- Di Girolamo P., Ghiara M. R., Lirer L., Munno R., Rolandi G., Stanzione D.** 1984. Vulcanologia e petrologia dei Campi Flegrei. Bollettino della Società Geologica Italiana, 103: 349-413.
- Gasparini P.** 1987. L'attività vulcanica. Quaderno 39. Milano: Le scienze.
- Giacomelli L., Scandone R.** 1992. Campi Flegrei Campania Felix. Napoli: Liguori Editori.
- Krafft M.** 1993. I vulcani: il fuoco della terra. Trieste: Universale Electa/Gallimard.
- Moretti A., Pinto G.** 1974. Prime osservazioni sulla fisiologia di un ceppo di *Thiobacillus thiooxidans* di ambienti solfatarici. Delpinoa, 16-17: 193-199.
- Parascandolo A.** 1947. Mineralogia e Geologia, vol. III. Napoli: Libreria Scientifica Editrice.
- Sirpettino M.** 1991. Mito e mistero nei Campi Flegrei. Seconda edizione. Sorrento: Franco Di Mauro Editore.

RINGRAZIAMENTI

Uno speciale ringraziamento alla mia famiglia che mi ha sostenuto in questo percorso di tesi, dandomi la forza di credere in me stessa.



.....a chi mi guarda con un'altra prospettiva...

Chiunque abbia osservato almeno una volta con i propri occhi

la bellezza della natura non è destinato alla morte,

ma alla natura stessa.

(Konrad Lorenz)