

Il bradisismo degli anni Ottanta

Giuseppe Luongo

Dopo la crisi degli anni Settanta e Ottanta il 7 settembre 2012 il bradisismo a Pozzuoli si è manifestato con uno sciame sismico di bassa energia. Fenomeno collegato ad un processo di sollevamento del suolo iniziato nel 2005. Dal dicembre del 2012 il livello di allerta dell'area è diventato di "attenzione", livello intermedio per l'evacuazione dell'area all'approssimarsi di un evento eruttivo. Ma le esperienze acquisite sul fenomeno con le crisi del 1970-72 e 1982-85, hanno mostrato che nonostante il notevole sollevamento del suolo e la significativa sismicità dei singoli eventi e della durata degli sciami, il sistema non andò in crisi tale da determinare le condizioni favorevoli a un'eruzione.

Premessa

Negli anni Settanta in Italia la ricerca scientifica nel settore delle Scienze della Terra attraversò una profonda trasformazione sia in termini di contenuto filosofico che organizzativo. A questo cambiamento contribuirono le riflessioni sull'inadeguatezza delle risposte della comunità scientifica e dei Servizi Tecnici in termini di sicurezza delle popolazioni esposte ai fenomeni naturali, come ebbe a registrarsi con il terremoto del Belice del 1968, la crisi sismo-vulcanica (bradisismo) che interessò l'area flegrea nel triennio 1970-72 e l'eruzione dell'Etna nel 1971. A ciò si aggiunse l'affermazione del nuovo paradigma della Tettonica globale alla conclusione degli anni '60. Il nuovo impulso alla conoscenza dei processi geologici venne dato attraverso l'attivazione di Progetti Finalizzati del CNR, ai quali parteciparono istituti universitari ed Enti di Ricerca. In particolare i settori sismologico e vulcanologico finalizzarono i loro obiettivi alla mitigazione del rischio, attraverso il potenziamento delle reti di monitoraggio e la valutazione della pericolosità sismica e vulcanica di lungo periodo. La nuova organizzazione venne messa alla prova con il terremoto del Friuli del 1976 e, ancor più, con il terremoto della Campania-Basilicata del 1980. Così quando nel 1982 si manifestò una nuova crisi

bradisismica nell'area flegrea, le strutture di ricerca ed in particolare l'Osservatorio Vesuviano erano ben preparate ad affrontarla.

Il 23 novembre 1980 un forte terremoto ($M_L = 6,8$), localizzato nell'Appennino Meridionale, produsse effetti disastrosi nelle regioni Campania, Basilicata e Puglia; la stessa città di Napoli subì gravi danni. La stampa pose attenzione anche al Vesuvio e in un articolo apparso in quei giorni si affermò che il vulcano doveva ritenersi "ferito a morte", sintetizzando, con tali parole, l'ipotesi avanzata da un vulcanologo che le onde sismiche generate dal terremoto nell'Appennino avrebbero potuto innescare un processo eruttivo. In quel tempo chi scrive aveva la responsabilità sia dell'intervento scientifico nelle regioni disastrose dal terremoto che del monitoraggio e mitigazione del rischio vulcanico dei vulcani attivi italiani, facenti entrambi capo al Progetto Finalizzato Geodinamica del CNR. Per evitare che il mio silenzio potesse essere interpretato come condivisione di tale interpretazione del fenomeno e facesse nascere un pericoloso tormentone sull'approssimarsi di un'eruzione al Vesuvio, esternai la mia ipotesi. In buona sostanza affermai che l'energia sismica che aveva investito il Vesuvio era trascurabile e quindi largamente al di sotto del valore necessario ad innescare un evento eruttivo. Tuttavia non fu trascurata l'ipotesi che il mo-

tore che aveva generato il sisma fosse da collocare nel contesto geodinamico dell'apertura del Bacino Tirrenico e formazione della Catena Appenninica, processo dal quale non sono esclusi i vulcani dell'area napoletana. In breve i terremoti dell'Appennino e le eruzioni nell'area napoletana sarebbero manifestazioni diverse degli stessi processi tettonici agenti a scala regionale.

Cronistoria della crisi

La crisi bradisismica del 1982-85 iniziò nell'estate del 1982, quando si registrò nell'area flegrea un innalzamento del suolo ritenuto anomalo rispetto ai dati acquisiti sul fenomeno a partire dalla chiusura della precedente crisi del 1970-72. Dopo questo ultimo evento la rete di monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano nell'area era stata notevolmente potenziata e dieci anni di osservazioni avevano mostrato che nell'area si registravano oscillazioni del moto del suolo di piccola ampiezza, con periodicità annuale. Così il sollevamento dell'estate del 1982 non destò allarme. Solo dopo alcuni mesi fu chiaro che si trattava del segnale di una nuova crisi. Il primo intervento della Protezione Civile a Pozzuoli avvenne il 31 gennaio 1983 con una visita ufficiale in città dell'allora ministro Loris Fortuna. Questa visita era stata programmata dopo una riunione ristretta a pochi tecnici al Dipartimento della Protezione Civile. Fortuna, da poco ministro, era interessato a prendere contatto con la realtà del proprio ufficio ed in particolare voleva, di persona, rendersi conto dei rischi connessi all'attività dei vulcani. Si scelse Pozzuoli come prima tappa del suo viaggio sui vulcani perché tra tutte le aree attive quella flegrea poneva problemi di maggiore rilevanza in caso di intensificazione dell'attività. Si deve a Loris Fortuna la costituzione in quei

mesi del Gruppo Nazionale di Vulcanologia del CNR perché si continuasse l'attività svolta nel settore vulcanico dal Progetto Geodinamica, concluso nel 1981. Questo Gruppo si sarebbe dimostrato un utile strumento operativo per la Protezione Civile nella lunga crisi del bradisismo.

Parecchi mesi dopo l'inizio della ripresa del sollevamento, nell'area si registrò uno sciame sismico che fu avvertito dalla popolazione in un'area ristretta. Tuttavia la sismicità divenne significativa solo a partire dalla primavera del 1983, dopo un evento di Magnitudo 3,5, localizzato alla Solfatara, ed avvertito distintamente in una vasta area comprendente la zona occidentale della città di Napoli. Da quel momento gli edifici del centro antico di Pozzuoli furono sottoposti a continue sollecitazioni sismiche sia con eventi di piccola energia, ma molto frequenti, che con eventi più isolati di energia significativamente più elevata. Mentre i primi erano avvertiti in un raggio di pochi chilometri, l'effetto dei secondi si manifestava in una zona più ampia di raggio di qualche decina di chilometri. Nel mentre, in piena estate, il ministro Fortuna venne sostituito dal collega Enzo Scotti.

Un incremento significativo dell'attività sismica si registrò il 4 settembre quando si verificarono numerosi eventi sismici con la caratteristica distribuzione a sciame. Tali eventi produssero panico nella popolazione della parte bassa della città di Pozzuoli che abbandonò le abitazioni trovando temporaneamente riparo in autobus sul lungomare. Il 4 ottobre 1983 alle ore 08:10 circa si verificò un terremoto di Magnitudo 4,0 con epicentro nei pressi della Solfatara e profondità compresa tra 2,5 e 3,0 km. L'evento produsse danni e panico nella città di Pozzuoli, ma anche le zone circostanti subirono uno scuotimento mai verificatosi dall'inizio della crisi. L'area di "avvertibilità" del terremoto ebbe un

raggio superiore a 30 km. Subito dopo l'evento furono avviate le osservazioni sugli effetti seguendo due metodi: valutazione dell'intensità nell'area epicentrale con analisi dei danni agli edifici e valutazione dell'intensità nel campo lontano mediante l'analisi delle risposte da parte della popolazione ad un questionario, distribuito all'indomani del terremoto, relativo alle sensazioni avvertite durante il sisma. Al questionario risposero 13000 persone per 75 località, fornendo informazioni sulla città di Napoli con un dettaglio fino ad allora mai raggiunto. L'intensità nell'area epicentrale risultò del VII grado della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg), mentre nella parte occidentale della città di Napoli risultò del VI grado. La Magnitudo del terremoto mostrò senza ombra di dubbio che il rischio sismico aveva raggiunto un livello troppo elevato per una parte della città di Pozzuoli per poter garantire l'incolumità dei residenti. I responsabili della sorveglianza dell'area ritennero opportuno segnalare al ministro Scotti che: a) il livello di sismicità cresceva unitamente alla velocità del sollevamento del suolo; b) il terremoto del 4 ottobre aveva raggiunto una Magnitudo molto prossima al valore massimo atteso (Magnitudo 4,5); c) il terremoto del 4 ottobre avrebbe potuto raggiungere un'intensità dell'VIII grado e produrre crolli se avesse avuto una minore profondità ipocentrale; d) molti edifici dell'area epicentrale erano fatiscenti ed avevano già subito danni in seguito al terremoto del 23 novembre 1980 in Irpinia. Il Ministro convocò immediatamente a Napoli, in Prefettura, gli amministratori dell'area flegrea, della città di Napoli, delle Province della Campania, della Regione, i tecnici della Protezione Civile, le forze dell'ordine e i rappresentanti della parti sociali per attivare le azioni di protezione civile necessarie per la sicurezza della popolazione esposta. In quella sede

i responsabili della sorveglianza del bradisismo del Gruppo Nazionale per la Vulcanologia, al quale afferiva l'Osservatorio Vesuviano, presentarono la Mappa di Pericolosità Sismica dell'Area Flegrea e consegnarono al Ministro e al Prefetto Boccia una relazione riservata. Dai documenti trasmessi alle autorità di Protezione Civile il centro antico di Pozzuoli risultava ad elevata pericolosità sismica, in quanto in quell'area era alta la probabilità di accadimento di eventi sismici di Magnitudo pari o superiori a quella dell'evento del 4 ottobre. In queste condizioni era necessario individuare ed abbandonare gli edifici in condizioni statiche inadeguate a sopportare le sollecitazioni sismiche attese. Purtroppo per la mancanza al momento di un quadro attendibile della vulnerabilità degli edifici, fu decisa l'evacuazione di tutta l'area a più elevata pericolosità. Gli esperti suggerirono altresì che la popolazione da allontanare dal centro antico non fosse collocata lungo la fascia costiera da Arco Felice a Miseno, in quanto si temeva una possibile migrazione dell'attività sismica nella parte occidentale del Golfo di Pozzuoli.

Da un sommario conteggio risultò che la popolazione da evacuare, a causa del rischio sismico, era di circa 30.000 unità. Nella pianificazione di tale intervento fu messo anche in bilancio che il fenomeno potesse evolversi verso un'eruzione, producendo un'ulteriore carenza di alloggi nel centro antico. In un tale scenario il Ministro ipotizzò di affrontare il problema della sistemazione della popolazione da evacuare, con la costruzione di un nuovo insediamento, saltando la fase dell'uso temporaneo dei container e dei prefabbricati leggeri. Gli Amministratori di Pozzuoli mostrarono la loro titubanza alla proposta del Ministro; in essi emerse il conflitto tra il voler conservare inalterato l'assetto urbano di Pozzuoli senza migrazioni in massa della popo-

lazione e l'allettante ipotesi di poter disporre di alcune migliaia di alloggi. Il nodo fu sciolto secondo le linee tracciate dal Ministro e la scelta del sito cadde su Monte Rusciello, considerata l'area a più basso rischio sismico del Comune di Pozzuoli, dove si sarebbero costruiti 5000 alloggi.

La riunione fiume indetta dal ministro Scotti si concluse con la decisione dell'evacuazione e della realizzazione di un nuovo insediamento a Monte Rusciello, ma non fu indicato chi tra le autorità competenti, Ministro, Prefetto, Sindaco, avrebbe dovuto comunicare tale decisione alla popolazione interessata. Si temporeggiò per la grave responsabilità delle misure da prendere per affrontare l'evacuazione di 30.000 persone. Intanto le notizie sui risultati della riunione in Prefettura circolarono in modo difforme con scenari apocalittici su quanto sarebbe accaduto nell'area flegrea. Nella notte tra il 10 e 11 ottobre si diffuse la notizia che un terremoto di elevata energia era previsto per l'indomani mattina. Tutta l'area flegrea e la città di Napoli furono investite da una psicosi collettiva da fine del mondo.

Il giorno 11 ottobre il Sindaco della città di Pozzuoli con un manifesto invitò i cittadini ad abbandonare la zona del centro antico di Pozzuoli. Non mancarono le polemiche sulla decisione, ma la cittadinanza era preparata ad una tale scelta delle autorità, e così iniziò lo svuotamento di Pozzuoli ed il travaso dei cittadini verso i villaggi turistici del litorale domizio. Nonostante la gravità della situazione non furono definiti in modo chiaro i ruoli del Dipartimento della Protezione Civile, della Prefettura, della Regione e del Comune di Pozzuoli. Per l'intervento scientifico il Ministro assegnò al Gruppo Nazionale di Vulcanologia del CNR il ruolo di consulente e finanziò il potenziamento delle attività di monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano nell'area flegrea.

Parteciparono a questa attività numerosi istituti universitari, del CNR, ed extrauniversitari per la copertura di tutti i settori necessari per una sorveglianza ad alto livello. Il coordinamento degli interventi fu affidato all'Osservatorio Vesuviano. Si stabilì un rapporto intenso tra struttura di sorveglianza e Prefettura di Napoli per aggiornare continuamente la Protezione Civile sull'evolversi del bradisismo. In Prefettura venivano trasmessi due comunicati al giorno e settimanalmente si svolgeva una riunione per fare il punto sul fenomeno del bradisismo. Nei momenti di crisi più acuta si intensificarono comunicati e riunioni. Un rapporto tecnico era trasmesso con periodicità settimanale ad autorità, enti, istituti, fabbriche. La comunità scientifica internazionale era informata sull'evoluzione del bradisismo attraverso i rapporti periodici inviati al Bollettino della Smithsonian Institution.

L'evacuazione consentì di affrontare con più tranquillità l'evoluzione del fenomeno, ma non mancarono sussulti che lasciarono il segno in una popolazione già provata. Il punto più alto della crisi dopo l'evento del 4 ottobre 1983 si raggiunse il 1° aprile 1984 quando uno sciame sismico iniziato intorno alle ore 3 si sviluppò con vari picchi fino al mattino inoltrato. Il suolo era scosso quasi senza soluzione di continuità; alle vibrazioni di una scossa si sovrapponevano le vibrazioni prodotte dalla successiva. Questo fenomeno durò ore, superando in durata ed energia gli sciame precedentemente registrati. Si trattava di un fenomeno con caratteristiche diverse da quelle sperimentate e lasciava temere che il sistema potesse entrare in crisi con la propagazione di fratture, attraverso le quali il magma avrebbe potuto risalire fino alla superficie. Questa crisi fu seguita momento per momento al Centro di monitoraggio del Rione Toiano a Pozzuoli da chi scrive questa

nota, dai tecnici del Centro e da un collega vulcanologo. Il Centro era aperto ai cittadini, che numerosi erano presenti. Infondemmo sicurezza ai presenti con il nostro lavoro senza che potessero trapelare differenze di opinioni sul da farsi e sullo stato di pericolosità. In verità il collega mi sollecitava perché lanciassi l'allarme per l'approssimarsi dell'eruzione mentre tentavo di dimostrargli che il fenomeno mostrava segni di stanchezza e che si sarebbe esaurito senza produrre le condizioni da lui temute.

Dopo la crisi sismica del 1° aprile che, secondo alcuni studiosi, avrebbe potuto evolversi verso una fase pre-eruttiva, il Ministro Zamberletti, che aveva sostituito il dimissionario onorevole Scotti, dette impulso alla preparazione di piani di evacuazione in caso di evento eruttivo. Il Ministro con un'ordinanza, affidò al direttore dell'Osservatorio Vesuviano il compito di trasmettere con un congruo anticipo al Ministro l'allarme per l'approssimarsi di un evento eruttivo. Questa scelta di Zamberletti era tesa a bloccare sul nascere le polemiche che frequentemente si generavano, alimentate da voci sull'imminenza di un evento catastrofico nell'area flegrea.

Facendo seguito alle disposizioni del Ministro la comunità scientifica elaborò gli scenari per i piani di evacuazione. La storia vulcanica dei Campi Flegrei indicava come evento probabile di bassa energia un'eruzione tipo quella di Monte Nuovo del 1538 ma non poteva essere trascurata la probabilità dell'accadimento di un evento esplosivo di elevata energia, come quello verificatosi nella Conca di Agnano circa 4000 anni fa. Per i due tipi di eruzione fu realizzata una zonazione della pericolosità, individuando quattro zone a diversa pericolosità. Definiti gli scenari si individuarono, sulla base dei fenomeni che si erano registrati nel corso della crisi, le aree di probabile apertura di bocche eruttive, localizzate nei dintorni

del centro antico di Pozzuoli. Sulla base dello scenario dell'eruzione di maggiore energia, si dedusse infine che l'area da evacuare prima dell'evento eruttivo aveva un raggio di 4-5 km con centro in Pozzuoli.

Il Piano di evacuazione fu predisposto e furono preparati gli opuscoli che illustravano il Piano da distribuire alla popolazione che avrebbe dovuto essere allontanata dall'area pericolosa. Questi non furono mai distribuiti perché nel frattempo, durante gli ultimi mesi del 1984, il fenomeno diminuì di intensità. La crisi sismica si chiuse con l'evento dell'8 dicembre di Magnitudo 3,8 in piena sintonia con il sollevamento che nello stesso tempo tendeva ad arrestarsi.

Note in margine alla crisi

- Per avere un quadro esauriente delle problematiche di Protezione Civile nell'area Flegrea durante la crisi bradisismica del 1982-85, fu necessario registrare la presenza di infrastrutture, attività produttive, insediamenti militari, strutture ospedaliere, e scuole nell'area ad elevata pericolosità. In particolare: le linee ferroviarie della Cumana, Circumflegrea e le Ferrovie dello Stato che attraversavano da nord a sud e da est ad ovest l'area flegrea. I treni della Cumana e delle Ferrovie dello Stato che transitavano per la parte più pericolosa della caldera flegrea, mentre la Circumflegrea sviluppava il suo percorso in una fascia ai margini di tale zona; Le fabbriche della SOFER e della PIRELLI collocate nella zona più pericolosa; Insediamenti militari sono localizzati a Nisida (NATO), ad Agnano (US NAVY), a Bagnoli (Quartiere Generale della NATO per il SE Europa); l'Accademia Aeronautica di Pozzuoli nei pressi del cratere della Solfatara.

- Per realizzare un canale di comunicazione trasparente tra comunità scientifica responsabile della sorveglianza nell'area flegrea e popolazione esposta al rischio, fu attivato un centro di monitoraggio al Rione Tiano ad Arco Felice aperto al pubblico, gestito dal personale del Comune di Pozzuoli, addestrato a tale attività. Tale struttura fungeva da punta avanzata del Centro di Sorveglianza dell'Osservatorio Vesuviano, collocato prima all'Università di Napoli nel complesso di San Marcellino e poi sulla collina di Posillipo.
- Fin dai primi segnali della crisi la popolazione fu informata sull'attività che si registrava (microterremoti, sollevamento del suolo, incremento dell'attività fumarolica) attraverso comunicati alle autorità competenti e alla stampa, dibattiti televisivi, seminari nelle scuole, incontri nelle fabbriche e in strada. La stampa svolse un ottimo lavoro diffondendo informazioni sul fenomeno molto puntuali e realiste, ed evitando rappresentazioni catastrofiche.
- Anche il dibattito scientifico tra le istituzioni impegnate con la Protezione Civile sul fronte della mitigazione del rischio e quelle che svilupparono ricerche sull'interpretazione del fenomeno si realizzò nella massima trasparenza perché si ritenne che, in momenti così delicati per la sicurezza della comunità esposta, tutti avrebbero potuto dare un contributo utile al buon esito degli interventi della Protezione Civile. Questa scelta sebbene producesse confronti anche molto forti tra le parti coinvolte, risultò molto positiva a quanti avevano il compito di valutare il livello di pericolosità dell'area e la sua evoluzione. Si può ritenere che il buon esito della crisi bradisismica in quegli anni fu in buona parte dovuta alla scelta dei responsabili di non operare in regime di monopolio scientifico.
- Attraverso un accordo tra i sindacati e i responsabili della sorveglianza dell'area flegrea si convenne di continuare l'anno scolastico a Pozzuoli, dopo l'evacuazione, negli edifici scolastici strutturalmente idonei per resistere alle sollecitazioni sismiche attese nell'area flegrea.
- L'incremento delle emissioni di CO₂ alla Solfatara sollevò il problema della sicurezza del campeggio posto nel cratere, per l'eventuale accumulo di tale gas nello strato atmosferico prossimo al suolo che avrebbe potuto rendere irrespirabile l'aria ai campeggiatori distesi sui giacigli durante la notte. Si decise di non procedere alla chiusura del campeggio, perché tale decisione avrebbe avuto un impatto estremamente negativo sulla comunità puteolana e nella vicina città di Napoli, ma di potenziare il monitoraggio del flusso dei gas e realizzare un più efficace sistema di allarme.
- Per tranquillizzare le famiglie dei giovani allievi dell'Accademia Aeronautica di Pozzuoli, i responsabili della sorveglianza dell'area tennero frequenti incontri e seminari sugli sviluppi della crisi bradisismica.
- Il Comando US NAVY invitò nella sede della base in Via Scarfoglio ad Agnano i responsabili della sorveglianza dell'area flegrea per conoscere il livello di pericolosità del sito. Chi scrive questa nota espose le sue valutazioni in merito alla pericolosità e alla possibile evoluzione del fenomeno ma poiché gli erano ignote le attività svolte in quella sede, in quanto oggetto di segreto militare, invitò i responsabili a contattare il Servizio Geologico degli Stati Uniti al quale si sarebbe fornita collaborazione per la sicurezza di quanti vi operavano. Così dagli Stati Uniti fu inviata una commissione di esperti con a capo

- David P. Hill a quel tempo impegnato nel monitoraggio della Caldera di Long Valley in California, dove si registrava una robusta sismicità e un lento sollevamento del suolo, fenomeno molto simile alla crisi rilevata nei Campi Flegrei.
- Nella carta di pericolosità sismica, presentata in Prefettura il 4 ottobre del 1983 in seguito al terremoto di $M_L = 4,0$, la zona a più elevata pericolosità era suddivisa in due parti indicate come Zona A e Zona A'. Nella Zona A ricadeva tutto il centro abitato antico di Pozzuoli, dalla Solfatara al mare, che sarebbe stato interessato dall'evacuazione, mentre la Zona A', dove era collocato un insediamento produttivo rilevante per la città di Pozzuoli, fu ritenuta a più basso rischio in quanto nelle fabbriche l'evacuazione avrebbe potuto realizzarsi in tempi brevi e con successo tenuto conto della organizzazione e della preparazione delle maestranze all'evento.
 - Nel settembre 1984 chi scrive questa nota ebbe un intenso confronto con John Guest, vulcanologo britannico e consulente della Comunità del Regno Unito a Napoli, che si dichiarava preoccupato per una possibile imminente eruzione nell'area flegrea. La risposta fu di decisa smentita basata su un chiaro decremento del fenomeno osservato a partire dalla fine della primavera.
 - Una Commissione di esperti giapponesi sulla gestione delle catastrofi naturali raggiunse Napoli per studiare il positivo rapporto che si era instaurato tra scienziati, giornalisti, autorità e popolazione esposta, durante la crisi bradisismica, evento ritenuto eccezionale per la complessità dei rapporti e la diversità delle funzioni tra la domanda di maggiore sicurezza della comunità e la capacità di risposta dei decisori.
 - Haroun Tazieff, accompagnato da chi scrive, visitò i luoghi del bradisismo

Figura. Sabato 11 marzo 1989. Visita di Haroun Tazieff alla Solfatara di Pozzuoli. Al centro dell'immagine Haroun Tazieff, in primo piano a sinistra Dario Tedesco, in secondo piano a sinistra Giuseppe Luongo, a destra Franco Mancusi.



nel marzo 1989 e il giornalista Franco Mancusi registrò l'avvenimento con un'intera pagina del giornale *Il Mattino*. Tazieff in quell'occasione espresse un giudizio molto positivo sulla gestione della crisi del 1982-85, così diverso da quello critico espresso nel 1970, quando considerò l'intervento una farsa per coprire una odiosa speculazione.

Considerazioni sulla “previsione dell'evento”

È significativo ricordare anche che il paradigma sulla previsione delle eruzioni e i modelli approntati per la previsione di un tale evento, attraverso l'analisi dei fenomeni precursori (terremoti, deformazioni del suolo, incremento dell'attività fumaroliche, ecc.), indicavano che il sistema si stava preparando per un evento eruttivo. La realtà sconfessò i modelli che si mostrarono inadeguati per quanto stava accadendo nell'area flegrea. Questo risultato è un monito a quanti hanno il compito del monitoraggio dell'area flegrea affinché si impegnino a potenziare le ricerche sulla genesi del fenomeno e sulla sua evoluzione fino all'evento eruttivo. In buona sostanza bisogna non solo misurare con maggiore precisione i parametri noti che precedono un evento eruttivo ma bisogna puntare a un nuovo paradigma che risponda con maggiore attendibilità alla comprensione di un fenomeno complesso come un'eruzione. Infatti la complessità di un sistema vulcanico non dipende dal numero delle cause che lo governano ma essenzialmente dalla loro interconnessione e dai relativi processi di feedback. L'intero sistema raggiunge maggiore valenza rispetto alla somma delle sue parti per cui esso si comporta in modo non lineare. Processi dinamici non lineari non possono essere descritti adeguatamente da modelli determini-

stici. Inoltre si deve porre attenzione al fatto che non tutti i dati registrati in un'area vulcanica attiva forniscono lo stesso livello di conoscenza del fenomeno in atto e quindi non hanno lo stesso peso nella valutazione del livello di pericolosità. Per queste condizioni, dovute allo sviluppo storico dei settori scientifici interessati per lo studio e monitoraggio del fenomeno bradisismico, la sismicità e le deformazioni del suolo sono i settori che al momento forniscono il quadro fenomenologico più attendibile.

Come si diceva, il sistema vulcanico è un sistema non lineare, fortemente influenzato dalle condizioni iniziali e segue comportamenti caotici. Così per i Campi Flegrei si sono aperte nuove linee di ricerca proprio per superare le difficoltà nel rappresentare un sistema complesso. È la teoria del caos deterministico che consente di analizzare questi comportamenti. Il sollevamento e l'abbassamento dei Campi Flegrei può essere dovuto alla dinamica interna del sistema e non richiede necessariamente una spinta associata alla risalita di magma. L'intera storia vulcanica dei Campi Flegrei con i suoi eventi estremi, a partire dalla grande eruzione dell'Ignimbrite Campana (39.000 anni fa), alle eruzioni più recenti, fino a quella storica di Monte Nuovo (1538) e alle crisi bradisismiche degli anni Settanta e Ottanta, può essere associata a processi convettivi del magma a diverse scale spaziali e temporali, dovuti a differenze di temperatura che a loro volta producono condizioni di instabilità gravitazionale. Tali condizioni sono rappresentate da note equazioni; la cui soluzione numerica sintetizza bene il comportamento caotico di un processo convettivo. Infine, la scoperta che la distribuzione degli eventi eruttivi è rappresentata da leggi di potenza indica che il sistema è in uno stato critico autorganizzato. Tali leggi evidenziano che il sistema tende a libe-

rare energia con un elevato numero di eventi di bassa energia, con un minor numero di eventi di media energia e pochi eventi di energia molto elevata. Da questa legge potrebbe discendere che l'evento più probabile è di bassa energia. Tuttavia il sistema non segue una legge temporale che mette in successione gli eventi di minore energia seguiti da quelli di media energia fino a quelli di alta energia secondo le loro frequenze di accadimento. Tutto ciò mette in difficoltà quanti hanno il compito di prevedere un evento di alta energia potenzialmente catastrofico. In buona sostanza, quindi, la maggiore probabilità di accadimento non assicura che l'evento che accadrà sia quello di minore energia. In tal caso il prossimo evento atteso potrebbe avere parimenti bassa o elevata energia. Solo l'introduzione di altri vincoli nell'analisi dello stato del vulcano potrebbe limitare l'incertezza sulla valutazione del meccanismo eruttivo e sulla sua energia.

... E domani?

Il 7 settembre 2012 il bradisismo a Pozzuoli si è manifestato con uno sciame sismico di bassa energia, con alcuni eventi avvertiti nell'area epicentrale localizzata tra il centro storico di Pozzuoli ed Arco Felice. Il comunicato emesso dall'Osservatorio Vesuviano ha evidenziato che tale sciame non è stato un fenomeno isolato, bensì collegato ad un processo più ampio che interessa l'area flegrea. Infatti, è stato rilevato un sollevamento del suolo a partire dal 2005, per un totale di 18 cm circa, prima lento e poi più veloce nei mesi precedenti la successione dei microterremoti, ed un incremento dei flussi di gas alla Solfatarà e a Pisciarelli, nella Conca di Agnano. Il Dipartimento della Protezione Civile, sulla base di questi dati e dopo alcuni incontri con le amministrazioni locali e con l'Assessorato alla Protezione Civile

della Regione Campania, nel mese di dicembre del 2012 ha portato il livello di allerta da quello iniziale di "base" a quello di "attenzione", secondo livello su una scala di quattro. Si potrebbe dire che la prudenza non è mai troppa! Ma con tale prudenza non si utilizzano le esperienze già acquisite sul fenomeno con le due crisi del 1970-72 e 1982-85, durante le quali il fenomeno aveva raggiunto livelli di pericolosità di gran lunga superiore a quello attuale, e durante le quali la comunità puteolana aveva sopportato prima l'evacuazione del Rione Terra e poi l'evacuazione del centro antico storico della città. A queste evacuazioni seguirono interventi urbanistici sul territorio comunale molto invasivi con la realizzazione del Rione Toiano e del più ampio insediamento di Monte Rusciello. Le due crisi hanno mostrato che, nonostante il notevole sollevamento del suolo (in ogni crisi il suolo si è sollevato fino a 1,8 m nell'area del Porto di Pozzuoli) e la significativa sismicità in termini di energia sismica dei singoli eventi e della durata degli sciame, il sistema non è andato in crisi tale da determinare le condizioni favorevoli a un'eruzione.

Pertanto, nell'interpretazione del fenomeno in atto e nella ricerca sulla genesi delle crisi bradisismiche dell'area flegrea, bisogna porre attenzione a non cadere in salti logici che possano rendere ancora più nebulosa la comprensione del quadro fenomenologico. Particolare rilevanza va posta nella valutazione dell'energia dei processi che si manifestano durante le crisi, come la sismicità e le deformazioni del suolo. Più autori hanno associato le crisi bradisismiche al degassamento del magma senza indicare a quale causa primaria attribuire tale processo, rilevando altresì che l'energia termica rilasciata dai fluidi del campo fumarolico della Solfatarà (e.g. Chiodini et al., 2010, circa 100 MW associata ad un'emissione totale

di circa 5.000 td^{-1} di una miscela di gas $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ ¹ è superiore all'energia liberata dalla sismicità, dalle deformazioni del suolo e dal flusso di calore conduttivo. In realtà l'energia rilasciata dai sismi durante la crisi del 1982-85 risulta almeno un ordine di grandezza superiore a quella rilasciata dai fluidi alla Solfatarina nel corso della recente crisi, normalizzando i dati per l'intervallo di un anno; e per di più l'energia associata alle deformazioni del suolo risulta 5 ordini di grandezza superiore. Da tutto ciò discende che le crisi bradisismiche non possono essere attribuite all'energia dei fluidi del campo geotermico in quanto questa è inferiore all'energia dei processi che avrebbe dovuto generare (sismicità e deformazione del suolo). Si tenga presente che, se si estendesse il

fenomeno rilevato alla Solfatarina a tutta la caldera, l'energia rilasciata dai fluidi aumenterebbe di 2 ordini di grandezza, ma risulterebbe ancora inferiore di 2-3 ordini di grandezza all'energia spesa per la deformazione del suolo. In buona sostanza il problema della genesi delle crisi bradisismiche non potrà trovare una soluzione soddisfacente fino a quando sarà analizzato come un processo lineare, in quanto il sistema è complesso e si comporta in modo non lineare. È opportuno rilevare che la complessità del sistema vulcanico non dipende solo dal numero delle cause che lo governano bensì essenzialmente dalle loro interazioni e dai relativi processi di feedback.

1 G. Chiodini, S. Caliro, C. Cardellini, D. Granieri, R. Avino, A. Baldini, M. Donnini, C. Minopoli. Long-term variations of the CampiFlegrei, Italy, volcanic system as revealed by the monitoring of hydrothermal activity. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115, B03205, doi: 10.1029/2008JB006258, 2010.