

ai m. Pignatelli Catalano

dal m. Antonicelli

20. XI - 79

ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI

ATTI DEI CONVEGNI LINCEI

33

Convegno internazionale

I CAMPI FLEGREI
NELL'ARCHEOLOGIA E NELLA STORIA

(Roma, 4-7 maggio 1976)

(ESTRATTO)



ROMA
ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
1977

ANTONIO SCHERILLO

VULCANISMO E BRADISISMO NEI CAMPI FLEGREI

INTRODUZIONE

È doverosa una premessa di carattere generale. Dei Campi Flegrei il centro topografico è indubbiamente Pozzuoli, non solo per la sua posizione mediana, ma anche perché su Pozzuoli convergono la Piana di Fuorigrotta e la Piana della Montagna Spaccata che assicura il collegamento di Pozzuoli col retroterra. La topografia è però solo una delle componenti della geografia, la quale comprende anche le componenti economiche, storiche, culturali e allora il capoluogo dei Campi Flegrei non è Pozzuoli, ma Napoli nonostante la sua posizione periferica, sempre però nell'area flegrea (la quale giunge a Poggioreale).

Del resto la preminenza di Napoli nella zona flegrea era già stata intuita nel periodo classico, cioè anche quando Pozzuoli godeva della massima prosperità, dagli uomini più lungimiranti e, in primo luogo, da Virgilio. Non a caso il cantore dei Campi Flegrei, volendo essere seppellito nella terra dove aveva posto il momento culminante del suo poema, non ha scelto né Pozzuoli, né Cuma, né Baia come luogo della sua sepoltura, ma Napoli, tanto che possiamo dire che Napoli ha ricevuto da Virgilio la consacrazione ufficiale a capoluogo flegreo.

Perciò, parlando dell'area flegrea, vi comprendo come parte integrante la area napoletana, anzi a questa darò, quando sarà necessario, una posizione preminente.

I Campi Flegrei sono zona tipicamente vulcanica, per quanto in epoca storica vi sia stata una sola eruzione: quella che negli ultimi giorni del settembre 1538 ha formato il Monte Nuovo. Con tutto ciò, la denominazione classica « Campi Flegrei » è veramente significativa e felice, sia nel sostantivo che nell'aggettivo, tanto è vero che, una volta riesumata nel secolo scorso, è rimasta nell'uso generale.

L'aggettivo (φλεγυρός = ardente) si riconnette in qualche modo al vulcanismo, per quanto, come si è detto, nell'epoca classica storica non siano avvenute nella zona eruzioni vulcaniche. È però significativo che qui la mitologia aveva localizzato la lotta dei giganti contro gli dèi dell'Olimpo (esiste tuttavia anche un'altra localizzazione in Tessaglia). In tale lotta è evidente la mitizzazione di eruzioni esplosive terrestri ed appunto le recenti ricerche di geologia nucleare permettono di dare un supporto scientifico/preistorico a tali leggende, perché è stato accertato che il vulcano di Astroni, uno dei più tipici e meglio conser-

vati vulcani flegrei, ha un'età assoluta di circa 4000 anni e che il vulcano di Averno, meno ben conservato, ma caratterizzato dal celebre lago, ha un'età di soli 3000 anni. Tra questi due si colloca inoltre il piccolo vulcano di Fossa Lupara e ciò significa che almeno tre vulcani sono sorti in un'età che in Campania è agli albori della storia ed è quindi perfettamente giustificato il mito e la sua localizzazione, senza bisogno di ricorrere a eruzioni ischitane.

Ad ogni modo nell'antichità classica la zona flegrea si segnalava — ed ancora si segnala — per l'abbondanza e l'imponenza dei fenomeni geotermici collegati al vulcanismo vero e proprio: sorgenti termominerali (molto diffuse) e fumarole vulcaniche (per le quali è celebre il cratere de La Solfatara), oltre ad una notevole attività esalativa sottomarina. Insomma i Campi Flegrei sono una zona altamente geotermica (cioè con « sottosuolo caldo ») e questo giustifica ancor meglio l'aggettivo « flegreo ».

Quanto al sostantivo « campi » esso pure si attaglia assai bene ad una zona vulcanica mancante di un edificio vulcanico che predomini nettamente, ma costituita invece da molti edifici vulcanici (o dai loro resti) contigui o in parte, oppure in tutto, sovrapposti.

Nella scienza vulcanologica i Campi Flegrei hanno avuto ed hanno tuttora una grande importanza perché sono esempio di area in cui si sono aperte a poca distanza tra loro e ad intervallo di tempo relativamente breve molte bocche vulcaniche esplosive, sia perché una di queste (La Solfatara, il Forum Vulcani dei Romani) è l'esempio tipico di attività ridotta all'emissione di sostanze volatili, ma perdurante (« attività di solfatara »), sia perché nei Campi Flegrei si è avuto il più famoso esempio, in epoca moderna, di formazione di un nuovo vulcano (Monte Nuovo).

Inoltre, da quasi due secoli, ci si è resi conto che una parte almeno del suolo flegreo è soggetta a quel fenomeno che è stato denominato « bradisismo » e che sembra accertato sia da collegarsi al vulcanismo. Perciò da qualsiasi punto di vista si considerino i Campi Flegrei non si può prescindere dal vulcanismo e dalle manifestazioni connesse, che ne hanno condizionato, direttamente o indirettamente, tutte le vicende.

LINEAMENTI DELLA TOPOGRAFIA FLEGREA

I Campi Flegrei sono, come si è detto, zona tipicamente vulcanica; si deve ora aggiungere che lo sono esclusivamente. Nell'area flegrea mancano infatti rocce che non siano vulcaniche o, almeno, non costituite da materiali vulcanici.

Dal punto di vista morfologico la componente dominante sono i crateri colle relative cinte, più o meno conservate; vi è inoltre qualche modesta cupola lavica (M. Olibano, Cuma, Marmolito), che però non rappresenta altro che un particolare morfologico.

Ma la cupola di Cuma, ammantata da tufo giallo, isolata ed elevata rispetto alla paludosa costa tirrenica, ha avuto un ruolo determinante nella storia flegrea per esser stata prescelta come sede del più antico insediamento. È evidente

quindi che taluni particolari morfologici possono assumere una grande importanza storica.

Alla morfologia hanno però contribuito anche sprofondamenti vulcano/tettonici (conche di Quarto, di Pianura, di Soccavo) e sollevamenti locali che, tra l'altro, hanno originato la Terrazza de La Starza tra Pozzuoli e Arco Felice.

Un'azione molto rilevante è stata la demolizione, totale o parziale, operata sugli edifici vulcanici preesistenti, dalle bocche vulcaniche apertesi successivamente in prossimità. Questa azione demolitrice, unita agli sprofondamenti vulcano/tettonici e al progressivo seppellimento dell'antica morfologia sotto una coltre sempre crescente di prodotti piroclastici successivi, contribuisce a rendere di interpretazione talora difficile, talora discutibile, la morfologia flegrea, per quanto la componente vulcanica sia onnipresente.

Nella zona flegrea non manca certo l'azione plasmatrice degli agenti esterni: questa, anzi, è particolarmente intensa perché i materiali flegrei sono, in massima parte, di natura piroclastica, quindi incoerenti e, anche se cementati, non mai molto resistenti. Se non fosse che la parte affiorante dei Campi Flegrei è di età molto recente, la zona sarebbe ormai quasi del tutto spianata.

Vi è l'azione del mare che è distruttrice — e allora si esplica nella demolizione degli edifici vulcanici costieri — o costruttrice — e porta alla formazione di litorali sabbiosi (spiagge di Lucrino, Licola ecc.) che talora « intrappolano » laghi costieri (Mare Morto, laghi di Lucrino, di Fusaro, di Patria). Influenza determinante sull'azione del mare hanno sia il prevalente abbassamento di gran parte dell'area flegrea (salvo qualche innalzamento locale, come quello della Terrazza de La Starza e il temporaneo sollevamento dovuto al bradisismo ascendente), sia l'universale salita del livello marino che si verifica nell'attuale fase interglaciale. Si tratta di due azioni concomitanti che hanno fortemente peggiorato le condizioni ecologiche della zona flegrea, rispetto all'età classica, a causa dell'impaludamento e dello sviluppo della malaria, che ne sono la conseguenza.

Anche le acque meteoriche hanno esercitato sui friabili materiali flegrei una azione erosiva e asportatrice molto notevole, sebbene nella zona flegrea la piovosità non sia attualmente molto alta. Nella zona manca una rete idrografica ben definita, sia perché l'acqua piovana percola senza difficoltà attraverso i terreni piroclastici, sia per l'età molto recente della parte maggiore della plaga flegrea, sia infine per le continue variazioni topografiche dovute alla successiva formazione di nuovi edifici vulcanici e agli sprofondamenti e innalzamenti locali. La rete idrografica è invece evidente sul fianco settentrionale della Collina dei Camaldoli, dove appunto non si sono mai aperte nuove bocche eruttive.

I solchi d'erosione nella zona flegrea sono profondi e con pareti scoscese (sono detti localmente « cupe »), perché i materiali flegrei, tufo giallo compreso, sono facilmente erodibili, ma non scivolano. Per il loro carattere tali solchi di erosione, tranne casi eccezionali come quello del Cavone di Napoli, non hanno mai avuto importanza come vie di comunicazione. Spesso è invece la rete idrografica che si è inserita su quella stradale, che tende ad infossarsi vieppiù per l'azione erosiva delle acque sul fondo delle strade, cosicché molte volte le vie campestri tendono a trasformarsi in cupe.

Un effetto molto precoce e molto vistoso dell'erosione è l'apertura delle cinte crateriche; quelle integre nei campi Flegrei sono ormai poche (Monte Nuovo, Cigliano, Astroni) e anche in queste si è già delineata una soglia.

Le sorgenti nei Campi Flegrei sono quasi esclusivamente termominerali e queste, come è noto, hanno avuto una parte determinante nelle vicende della zona. Mancano, fra i materiali flegrei, notevoli interposizioni di fasce argillificate, tali da determinare risorgenze; si hanno al più stillicidi locali. Sorgenti d'acqua dolce esistono però ai margini della zona flegrea, quasi al livello marino, sulle sponde meridionali del Lago di Patria e sul margine S.E. della città greca di Napoli fino a Lufrano. Molte di queste sorgenti hanno avuto, ed hanno, importanza nell'urbanistica napoletana. Ad ogni modo i romani, per risolvere il problema idrico della zona, ricorsero alle acque di Serino.

Chiunque può facilmente constatare la mancanza di una cospicua argillificazione nella zona flegrea e nella Pianura Campana, che ne è il prolungamento settentrionale: basta percorrere a piedi le nostre bellissime campagne e si constaterà che sono molto polverose d'estate, ma, in compenso, non fangose d'inverno. In questo la zona vulcanica napoletana differisce assai dalla romana, dove invece i materiali piroclastici sono profondamente argillificati e quindi è ricca di acque correnti e fontanili perenni, ma è fastidiosamente fangosa dopo le piogge. Il nostro terreno agrario — il più ferace forse di tutto il mondo — vulcanico, sciolto, ricchissimo di sali potassici è una delle caratteristiche essenziali di quella Campania Felice, di cui i Campi Flegrei sono parte integrante.

Oltre a quattro laghi costieri attuali (l'antico Lago di Licola è stato prosciugato) esiste nei Campi Flegrei un tipico lago craterico, cioè un lago inserito in un imbuto craterico che scende sotto il livello freatico, ed è il Lago d'Averno, il quale ha tanta rilevanza nella mitologia e nell'arte che, nonostante le modeste dimensioni, è senz'altro il più illustre di tutti i laghi craterici. Un piccolo lago esiste anche sul fondo del cratere di Astroni. Il Lago d'Agnano, prosciugato alla fine del secolo scorso come fomite di malaria, era un ristagno formatosi nel Medio Evo sul fondo della vasta conca craterica di Agnano impermeabilizzata per argillificazione locale e soggetta a subsidenza.

L'azione del vento si esplica, nell'area flegrea, colla formazione di dune sul litorale di Cuma e di Literno e nella corrasione sulle superfici tufacee. La latitudine e il clima mediterraneo rendono nulla l'azione della gelività e questo, tra l'altro, ha rappresentato un grande vantaggio per la conservazione di quelle tre colonne di cipollino del Serapeo, così importanti scientificamente.

Ed ora un breve cenno di « topologia geografica ».

Agli effetti degli insediamenti umani, vi sono punti che hanno uno speciale valore: gli insediamenti che colgono quei punti sono destinati a un grande sviluppo, gli altri intristiscono o vivono di vita artificiale.

Il complesso del Golfo di Napoli costituisce la posizione chiave del Mare Tirreno e una delle più importanti di tutto il Mediterraneo: fa grande onore all'acume e alla lungimiranza dei primi coloni calcidesi di aver incominciato la colonizzazione greca della penisola italiana da un punto prossimo al Golfo di Napoli (e di essersi successivamente preoccupati del controllo dello Stretto di Messina).

La posizione di Cuma però, in sè e per sè, rispondeva ad esigenze alquanto primitive: si trattava della solita collina dominante un tratto di costa bassa (la linea di spiaggia dell'epoca era probabilmente spostata, rispetto all'odierna, di circa $\frac{1}{2}$ chilometro verso il mare), con buone possibilità difensive, ma niente di più. La posizione era però importante come approccio a quella che è davvero la posizione chiave dal punto di vista delle comunicazioni marittime e terrestri e per il predominio di tutta l'Italia Meridionale, cioè quella di Palepoli/Neapoli. Collo spostamento Cuma → Napoli si sarebbe dunque conclusa irreversibilmente la storia urbanistica flegrea, ma il suo svolgimento naturale è stato ritardato, ad opera dei Romani, dall'episodio di Puteoli e, collateralmente, di Baia e di Miseno. L'episodio è giustificato dalla necessità, per i Romani, di avere in un complesso dell'importanza del Golfo di Napoli, un punto d'appoggio loro proprio e non una città federata di lingua greca, come Napoli. Coll'affievolirsi dell'autorità romana, tuttavia, Napoli ha prevalso e i Campi Flegrei sono divenuti zona esclusivamente napoletana, come è nell'ordine topologico naturale. Contemporaneamente però Napoli diventava città romana (ma senza anfiteatro).

Rendiamo dunque ancora una volta omaggio all'intuito di Virgilio che, evidentemente, amava e apprezzava Napoli come sanno — quando l'amano e l'apprezzano — solo i settentrionali.

VULCANISMO CAMPANO: GENERALITÀ

L'area napoletana è area di contrasti morfologici e geologici e ciò si riflette pure sui nostri vulcani. Il Somma/Vesuvio, i Campi Flegrei, Ischia, sebbene la distanza reciproca sia solo di poche decine di chilometri, sono completamente diversi, anche dal punto di vista morfologico. Il complesso Procida/Vivara invece si connette ai Campi Flegrei.

Il Somma/Vesuvio, nonostante il doppio nome, è un vulcano unico e anzi è l'esempio di vulcano che ha sempre mantenuto lo stesso asse eruttivo: il solo cono avventizio è la collina dei Camaldoli di Torre. Invece i Campi Flegrei sono un « campo vulcanico », cioè una zona comprendente diversi vulcani, ciascuno col suo condotto, sorti successivamente. I vulcani flegrei ancora riconoscibili sono circa una ventina.

Al Somma/Vesuvio l'attività vulcanica effusiva ha grande importanza e per quanto riguarda in particolare il Vesuvio (come « attività vesuviana » dal punto di vista scientifico intendiamo quella che si è iniziata coll'eruzione del 79 d. C.) notiamo quanto segue: l'eruzione del 79 è stata esplosiva, poi, per circa 16 secoli, il Vesuvio ha dato, a intervalli, eruzioni esplosive e effusive, finché dal 1632 in poi le eruzioni sono state fondamentalmente effusive. Nei Campi Flegrei invece le eruzioni esplosive hanno avuto una assoluta prevalenza. I tipici vulcani flegrei, cioè quelli che noi vediamo, sono contraddistinti da ampi crateri, con recinti relativamente bassi e sono costituiti quasi per intero da materiali piroclastici, ossia non lavici. Come semplice indicazione statistica si può dire che negli ultimi 8000 anni di attività nei Campi Flegrei si è avuta la formazione di un nuovo vulcano, in media, ogni 500 anni.

Il tipo di attività vulcanica trova la sua spiegazione nella composizione chimica del magma. Il magma flegreo può definirsi genericamente « trachitico », perché ricco di silice (ma non sovrabbondante), allumina e alcali (specialmente di potassio) e povero di calcio, magnesio e ferro. Il tipico minerale ne è il sanidino: allumosilicato di potassio. Il magma trachitico è alquanto viscoso, perciò difficilmente può essere emesso come lava e, anche se viene eruttato come tale, non forma una colata, ma si rapprende intorno alla bocca eruttiva formando una cupola lavica, quale p. es. quella di Cuma. Di norma però, quando la tensione delle sostanze volatili contenute nel magma ha raggiunto un valore massimo, tali sostanze che fino allora non avevano potuto liberarsi per la viscosità del magma stesso, si sprigionano istantaneamente con estrema violenza (« esplosione vulcanica ») trascinando con loro frammenti del magma finemente polverizzato e brandelli spugnosi (scorie e pomici). Questi materiali magmatici, sia per la viscosità del magma che per il rapido raffreddamento, sono costituiti da vetro, cioè da un liquido silicatico che si è rappreso senza cristallizzare: le pomici sono appunto brandelli di schiuma lavica vetrificata e i vuoli sono i vuoti lasciati dalla fuoriuscita delle sostanze volatili. Colla sedimentazione di questa congerie, che, dopo un tragitto aereo, cade su un'area più o meno vasta intorno alla bocca eruttiva si formano banchi o strati di rocce piroclastiche (o « piroclastiti »).

Comunque a prescindere dalla natura del magma — tranne che questo abbia una viscosità particolarmente bassa, come è per il magma basaltico — il condotto vulcanico, quando si origina un nuovo vulcano o quando questo si risveglia dopo un riposo molto prolungato, è inizialmente chiuso e ciò favorisce l'accumolo delle sostanze volatili nel sottosuolo; per conseguenza le eruzioni iniziali sono generalmente esplosive. Ecco una ragione di più perché nei Campi Flegrei dove, essendo numerosi i vulcani, sono state altrettanto numerose le eruzioni iniziali, l'attività vulcanica è stata quasi tutta esplosiva. Inoltre, quando il magma è viscoso, dopo ogni eruzione, e perfino dopo ogni esplosione, la sua superficie liquida nel condotto perde il contatto coll'esterno e perciò l'attività vulcanica susseguente è ancora esplosiva. Ad ogni modo tra due eruzioni dello stesso vulcano, se pure si hanno altre eruzioni dopo quella iniziale, decorre sempre un notevole intervallo di tempo. In tale intervallo, se la chiusura del condotto non è ermetica, l'attività vulcanica si riduce, nel caso più favorevole, a esalazione di sostanze volatili, cioè a « attività di solfatara ».

Di recente si è configurato un altro tipo di emissione del magma in forma frammentaria, però non per esplosione, ma bensì per « getto ». Anche in tale caso la solidificazione del magma si inizia in ambiente chiuso ma poi, per varie ragioni, nelle rocce di copertura si determina una fessura e attraverso questa le sostanze volatili fuoriescono sotto pressione, convogliando abbondanti frammenti magmatici. A differenza dell'esplosione, che è istantanea, il getto continua finché la pressione dei volatili magmatici uguaglia la pressione esterna. Il deposito di materiali lavici frammentari trascinati dal getto forma le c.d. « ignimbriti ». I depositi ignimbritici si distinguono dai piroclastici perché non sono stratificati. Ignimbriti e piroclastiti costituiscono il gruppo delle « vulcanoclastiti ».

Alcune delle più importanti vulcanoclastiti campane sono ignimbriti.

Il magma del Somma/Vesuvio dei tempi protostorici e storici è leucitico tefritico; la sua composizione chimica differisce da quella del magma flegreo per un tenore più basso di silice e uno più alto di calcio, ferro e magnesio, mentre anch'esso è molto ricco di potassio. Dal punto di vista mineralogico è caratterizzato dalla presenza di leucite: allumosilicato (ma relativamente povero di silice) di potassio. Il magma tefritico leucitico è meno viscoso del trachitico e tende a dare eruzioni effusive (cioè laviche), ma bastano variazioni non rilevanti nelle condizioni eruttive perché le eruzioni siano esplosive, come è dimostrato dal complesso dell'attività vulcanica del Somma/Vesuvio. Pare, comunque, che le prime eruzioni del Somma siano state di tipo trachitico.

Quanto all'Isola d'Ischia il nucleo centrale, cioè il Monte Epomeo (m. 788) è costituito da sedimenti di origine marina alcuni dei quali formati in gran parte da materiali vulcanici, sollevati per cause tettoniche. Intorno a questo si dispongono ad anello numerosi centri eruttivi, esplosivi ed effusivi. Più di una eruzione ischitana è avvenuta in epoca protostorica e storica, l'ultima (lava dell'Arso) nel 1302. Molte delle vulcaniti hanno carattere chimico fonolitico, cioè sono trachiti con deficienza di silice.

Il Vulcano di Roccamonfina (o Vulcano Aurunco) è un edificio complesso, con un cono principale, sprofondato nella sua parte centrale (conca di Roccamonfina), molti coni avventizi, di cui il maggiore (quasi un altro vulcano) è il Monte Friello, e un grande cratere laterale di esplosione (Conca). Nel mezzo della conca di Roccamonfina si eleva una duplice cupola lavica (M. Santa Croce). Ha dato una gran varietà di lave e di vulcanoclastiti, con leucite e senza leucite.

Ai vulcani campani sono poi da aggiungere le Isole Pontine (Ponza e isole minori) che, nonostante la balorda situazione amministrativa attuale, sono parte integrale, insieme con Gaeta e Fondi, della Campania.

Quanto all'inizio dell'attività, i più antichi sono i vulcani pontini, seguono Roccamonfina (1.200.000 anni) ed Ischia, quindi i vulcani flegrei (200.000/100.000 anni) e, a grande distanza, il Somma/Vesuvio (30.000 anni). Le attività di Ischia, dei vulcani flegrei e del Somma/Vesuvio si sono in parte intercalate sebbene quella del Somma/Vesuvio sia divenuta, col tempo, sempre più prevalente.

Il vulcanismo campano è quaternario, relativamente recente ed è collegato alle ultime fasi dell'orogenesi appenninica.

PRIMO PERIODO FLEGREO O DEL TUFO GRIGIO CAMPANO

La storia geologica/vulcanologica dei Campi Flegrei è stata delineata da Giuseppe De Lorenzo e da Alfredo Rittmann. Il primo ne ha dato un quadro molto evidente, suddiviso schematicamente in tre periodi, che, in definitiva, si fonda sul « tufo giallo napoletano » da lui considerato come formazione guida, il secondo ha tenuto presente anche la situazione delle zone vulcaniche in altre parti del mondo, per evidenziare analogie e spiegare alcune situazioni complesse. Riassumo i risultati delle ricerche di questi due illustri studiosi, coordinandoli,

integrandoli e, dove è il caso, modificandoli in base ai risultati di ricerche più recenti.

Il nucleo della Collina dei Camaldoli, nella quale i Campi Flegrei raggiungono la loro massima quota (m. 458) è il residuo di una antica cinta craterica che è l'ultima testimonianza morfologica di un notevole edificio vulcanico unitario, in gran parte scomparso, indicato da Rittmann come Archiflegreo, interessante tutta l'area attuale dei Campi Flegrei nonché il Golfo di Pozzuoli. Il circuito di base di tale edificio — il cui diametro si può stimare intorno ai 20 chilometri — non era dissimile, per dimensioni, da quello dell'attuale Somma/Vesuvio.

Prodotti caratteristici, sul posto e visibili alla base dello scosceso versante meridionale dei Camaldoli sono il « piperno » di Soccavo e Pianura, tanto impiegato a Napoli nei secoli scorsi come materiale da costruzione « nobile » e la sovrapposta breccia vulcanica.

Un prodotto, da mettere in relazione coll'attività dell'Archiflegreo è il « tufo campano » o, meglio, il « complesso del tufo campano » (almeno in buona parte). Il tufo campano, come tale, non compare nell'ambito della zona flegrea, ma costituisce il sottosuolo della Pianura Campana, forma — e vi affiora — ampie conoidi al limite tra l'Appennino e la Pianura Campana e inoltre si ritrova, come lembi isolati, in fondivalle e conche interappenniniche fino all'incirca alla linea Benevento-Avellino-Salerno. È il tufo su cui è costruita l'antica Capua (e ciò giustifica ancor meglio la qualifica di « campano »), il tufo di Sorrento e di S. Agata dei Goti. È la pietra da costruzione tipica nella Pianura Campana e nelle zone appenniniche prospicienti. Il capolavoro edilizio edificato in questa roccia è la cattedrale di Caserta Vecchia, eretta nel XII-XIII secolo in stile siculo normanno e dedicata, come tante chiese di origine longobarda, a San Michele. In tale costruzione sono state magistralmente impiegate tanto la varietà grigia, che è la più frequente, quanto la giallastra e la rossastra. Per incidenza aggiungo che il vicino torrione cilindrico del castello è stato invece costruito in un tufo giallo, leucitico, di età più antica, emesso dal vulcano di Roccamonfina. Il castello è costruito in tufo campano grigio, fine.

Al substrato di tufo campano è dovuta in buona parte (ma vi hanno cooperato anche i prodotti flegrei recenti e il Somma/Vesuvio) l'eccezionale fertilità della Pianura Campana che ha avuto tanta importanza nella storia della prima espansione romana e nelle ponderate mosse di Annibale.

Il tufo campano tipico è grigio, con pomici scoriacee nere, e non è stratificato. La parte più fina, ancora inalterata, forma il cosiddetto « cinerazzo ». Nella facies « pipernoide » a pomici scoriacee appiattite e disposte sui piani subparalleli, è difficile da distinguersi dal piperno e forse ne rappresenta la continuazione (Literno, Parete). Il tufo campano è una ignimbrite, come è dimostrato dalla mancanza di stratificazione, perciò gli studiosi attuali preferiscono parlare di « ignimbrite campana ».

Ma la questione importante è un'altra. Le osservazioni in campagna stanno mostrando che in realtà il tufo campano non è una formazione unica: una parte è certamente di origine flegrea e probabilmente è da collegarsi al piperno, ma una parte (tra cui il tufo grigio di Fiano e Nocera e il tufo giallo di Castello

Fellino) sembra che sia invece un prodotto del Somma, mentre per altri termini l'origine è ancora incerta. L'età assoluta del tufo di Castello Fellino è di circa 27.000 anni mentre i termini più antichi sono databili intorno ai 100.000 anni e forse più. Tra il tufo di Castello Fellino e quello di Fiano si inseriscono prodotti ischitani. Perciò è preferibile parlare di « complesso dei tufi campani » o « delle ignimbriti campane ».

Tutta la porzione centrale dell'Archiflegreo è successivamente sprofondata insieme con gran parte della cinta vulcanica (salvo il settore dei Camaldoli). Le conche di Quarto, Soccavo, Pianura sono probabilmente collegate a questo sprofondamento e una conseguenza ne è forse anche il Golfo di Pozzuoli che corrisponderebbe a una parte del primitivo cratere, colmo di sedimenti vulcanoclastici; la successiva attività vulcanica si è sviluppata esclusivamente nell'area sprofondata, ma colla formazione di numerosi vulcani singoli. Perciò, terminato l'Archiflegreo, cominciano i « Campi Flegrei » veri e propri e si chiude il « primo periodo ».

Poiché, come si è detto, nell'ambito della zona flegrea manca il riferimento del tufo campano, De Lorenzo considera appartenenti a tale periodo le formazioni inferiori al tufo giallo napoletano, specialmente se si tratta di breccie vulcaniche, quali la breccia alla base del Monte di Procida e quella di S. Maria del Pianto presso Poggioreale. Anche la cupola lavica di Cuma, che è ricoperta da tufo giallo, viene ascritta a questo periodo.

SECONDO PERIODO FLEGREO O DEL TUFO GIALLO NAPOLETANO

De Lorenzo chiama il periodo susseguente a quello « del tufo grigio campano » periodo del « tufo giallo napoletano ». La denominazione è assai efficace, anche per la contrapposizione con quella del periodo precedente; occorre però precisare che cosa si intende per « tufo giallo napoletano », perché esistono tufi gialli più antichi del t. g. nap. (p. es. il tufo di Torre Franco), e ve ne sono altri più recenti (p. es. il tufo di Nisida).

Dobbiamo quindi occuparci del tufo giallo napoletano, ciò che è anche giustificato dalla grande importanza che ha tale roccia nella zona flegrea sotto tutti gli aspetti, compreso quello storico e archeologico.

Il tufo giallo napoletano è una piroclastite di deposito subaereo. È stratificato, per quanto né regolarmente, né distintamente. Contiene pomici bianche o ingiallite che nelle parti più alte dei giacimenti tendono ad essere sostituite da lapilli grigi. Ha carattere chimico trachitico potassico. Si tratta di una piroclastite abbastanza coerente, che però, all'atto della caduta, era del tutto incoerente. Il processo di cementazione è un processo molto importante che è stato compreso solo da pochi decenni e che merita di essere illustrato.

Il tufo giallo era in origine una « pozzolana », cioè una piroclastite costituita da frammenti magmatici, rimasti allo stato vetroso. Soluzioni alcaline agendo sui frammenti vetrosi delle pozzolane vi hanno provocato la zeolitizzazione, cioè la formazione a spese del vetro di quegli allumosilicati idrati di calcio, sodio e potassio, cristallini che sono appunto le zeoliti: nel tufo giallo,

la roccia è costituita da zeoliti per circa il 60%. Il termine « tufo vulcanico » significa dunque scientificamente in senso ristretto: vulcanoclastite resa coerente per zeolitizzazione. Infatti la differenza più evidente tra pozzolana e tufo è che la prima è incoerente, e il secondo è coerente. Colla tufizzazione delle pozzolane non si hanno notevoli mutamenti nel chimismo, tranne un forte aumento nel tenore d'acqua.

Nel tufo giallo la zeolitizzazione procede dal centro verso la periferia e dal basso verso l'alto, il che significa che gli edifici vulcanici appaiono interamente costituiti da tufo giallo (non si deve però dimenticare che i materiali incoerenti, superficiali, sono stati asportati per il denudamento operato dalle acque meteoriche), mentre la tufizzazione va scemando verso la periferia della formazione dove, quanto più ci si allontana dal centro eruttivo, tanto più la pozzolana tende a prevalere sul tufo, finché il letto di tufo manca del tutto. Tra la pozzolana (in alto) e il tufo (in basso) vi è una zona di transizione che i cavatori chiamano, latinamente, « mappamonte »: cioè *apud montem* (il « monte » è il tufo).

La zeolitizzazione delle pozzolane non è avvenuta solo nel « secondo periodo »: vi sono tufi gialli (« tufi di Torre Franco » a Soccavo) che sono anteriori, e altri (Isola di Nisida) posteriori al secondo periodo. Il tufo campano tipico non ha tendenza a zeolitizzarsi, salvo il « tufo di Castello Fellino » e qualche altro termine che, originariamente, erano pozzolane. Queste si trovano zeolitizzate dove le condizioni del luogo in cui si sono deposte erano favorevoli (abbondanza d'acqua e assenza di drenaggio); per tale ragione, nel sottosuolo della Pianura Campana (S. Nicola la Strada, Maddaloni) esistono grandi giacimenti di tufo campano (inteso in senso generale) tufizzato e altri ne esistono nella conca di S. Agata dei Goti. In genere un tufo campano tufizzato è indice della presenza di una larga componente di tufo di Castello Fellino.

Il tufo giallo ha avuto un'importanza determinante negli insediamenti flegrei, perché tutti i centri più antichi: Cuma, il Rione Terra di Pozzuoli, Napoli, Bacoli sono stati fondati direttamente sul tufo giallo o dove questo è facilmente raggiungibile con scavi. Infatti, a prescindere dai vantaggi topografici che assicura una placca di tufo giallo colle sue pareti scoscese, un sottosuolo di tufo giallo permette la continuazione sotterranea della zona urbana, perché si tratta di una roccia facilmente scavabile, che fornisce un buon materiale da costruzione, mentre gli scavi sono abbastanza stabili. Anche da questo punto di vista Napoli, che disponeva di un sottosuolo tufaceo quasi illimitato, si trovava avvantaggiata rispetto agli altri centri.

I Greci e i Romani hanno impiegato largamente il tufo giallo nell'ambito della zona flegrea, come materiale da costruzione, a cominciare dai muraglioni di Cuma e dalle mura greche di Napoli. I resti di « opus reticulatum » sono una delle caratteristiche dei Campi Flegrei; il vanto edilizio del tufo giallo è il cosiddetto « tempio di Mercurio » di Baia. Dei trafori in questo tufo sono ben noti gli antri di Cuma e le gallerie stradali dei Romani: le due tra Lucrino e Cuma, la « crypta Sillana »⁽¹⁾, la « crypta Neapolitana » (quella che poi, col prevalere di

(1) La « crypta Sillana » è chiamata comunemente « Grotta di Seiano ».

Napoli su Pozzuoli, si è chiamata « grotta di Pozzuoli »). Vanno inoltre ricordate le catacombe di Napoli e la piscina Mirabile di Bacoli. Le grotte scavate nel tufo giallo si prestano abbastanza bene come abitazione perché, a causa della natura zeolitica della roccia, sono igrostatiche e per la sua porosità, termostatiche. Insomma i Cimmeri, se mai sono esistiti, avevano ragione di vivere in grotte e non dovevano passarsela troppo male.

Anche la pozzolana è una roccia che ha, e ha avuto, grandi applicazioni, ma, poiché i Romani impiegarono di preferenza la pozzolana di Baia (lapis puteolanus) ne parleremo al momento opportuno. Il cinerazzo del tufo campano, in gran parte microcristallino, non ha possibilità applicative.

Pure colla sua tinta solare il tufo giallo ha dato un contributo – estetico – ai Campi Flegrei: si immagini quale sarebbe l'effetto se le pareti di tufo, invece del loro bel tono caldo, avessero quello grigio, alquanto funereo, del tufo campano!

Bisogna ora precisare che cosa si intende in particolare adesso per « tufo giallo napoletano ». Secondo De Lorenzo, tutto il tufo giallo che si trova nell'ambito della zona flegrea, che è più recente del piperno, appartiene al tufo giallo napoletano (l'aggettivo « napoletano » vuole evidenziare che questo tufo ha importanza esclusivamente zonale e non più regionale, come il « tufo campano »). In base a questo principio al tufo napoletano viene agganciato da De Lorenzo, non troppo felicemente, il tufo giallo che costituisce alcuni modesti edifici vulcanici: Nisida, Capo Miseno, Porto Miseno. Anche il tufo che costituisce l'edificio vulcanico di notevoli dimensioni del Monte Gauro è tufo giallo.

Alla formazione della massa del tufo giallo napoletano i modesti edifici vulcanici sopra ricordati non possono infatti aver portato alcun contributo, trattandosi appunto di vulcani troppo modesti e per di più in posizione periferica. Per quanto poi riguarda Nisida vi è anche l'incompatibilità dovuta all'età relativa. Infatti il tufo giallo napoletano, inteso nel senso specifico di livello stratigrafico, costituisce una coltre la cui potenza può giungere a alcune decine di metri, in parte rimaneggiata, superiore al piperno/breccia, e inferiore ai prodotti di Agnano, che si estende in modo quasi continuo sull'area flegrea, tranne nella zona centrale, dalla collina di Posillipo, dalla zona urbana di Napoli, al versante settentrionale dei Camaldoli, al margine nord occidentale del Piano di Quarto fino al lembo isolato del Monte di Procida, oltre alle modeste placche di Cuma, di Rione Terra a Pozzuoli ecc. Alla periferia della zona flegrea il tufo è sostituito dalla pozzolana. L'età assoluta del tufo giallo napoletano è 11.000 anni.

L'unico edificio vulcanico da prendere in considerazione come eventuale scaturigine del tufo giallo napoletano è Monte Gauro che, fra tutti gli edifici vulcanici ancora riconoscibili dei Campi Flegrei, è senz'altro il maggiore, come del resto indica il suo bel nome greco (γάυρος; maestoso, superbo) che poi è stato volgarizzato in Monte Barbaro. È noto che Marziale ironizzò sul nome, chiamando il monte *inanis Gaurus*, a causa del cratere, ottimamente conservato e profondo (il « Campiglione ») che lo rende, in un certo senso, un « monte vuoto », ma, come vulcano esplosivo, Monte Gauro (m. 398) malgrado le sue dimensioni non eccessive appare imponente ed è, pur sempre, uno dei maggiori della penisola italiana. Nei Campi Flegrei il Monte Gauro è « segnacolo topo-

grafico »; e del resto basta osservare da una certa distanza i Campi Flegrei (per es. da Mondragone o dalle Isole Partenopee) per accorgersi che solo due rilievi di una certa consistenza ne emergono: il Gauro appunto e la collina di Camaldoli. In base alla considerazione che ad una potente piroclastite deve corrispondere un vulcano notevole, formato, beninteso, dagli stessi materiali della piroclastite, e all'altra che ad ogni notevole vulcano deve corrispondere una piroclastite potente, il tufo giallo napoletano potrebbe essere stato eruttato dal «superbo» Gauro, tanto più che il tufo giallo del margine occidentale del Piano di Quarto (M. Severino compreso) è indubbiamente la prosecuzione del tufo del Gauro ed è perfettamente identico, anche in cava, al tufo delle cave dei Camaldoli e di Napoli (Posillipo, Ventaglieri, Fontanelle).

È un'ipotesi semplice, forse perfino semplicistica, perché permane qualche riserva non infondata. Vi è perciò anche una soluzione di compromesso, secondo la quale il centro di emissione del tufo giallo dei Camaldoli e della zona urbana di Napoli si sarebbe trovato nell'area dei Camaldoli, ma è scomparso, perché coinvolto in uno sprofondamento vulcano/tettonico. Il limite tra il tufo di Napoli e quello del Gauro si troverebbe sul bordo settentrionale del Piano di Quarto, in corrispondenza del tracciato della Via Campana e della linea ferroviaria Roma/Napoli ⁽²⁾. Il tufo giallo di Capo Coroglio potrebbe, anch'esso, rappresentare una entità indipendente.

Come si è detto, il t. g. nap. è una formazione di riferimento molto evidente e diffusa, mentre il piperno/breccia è localizzata. Per tale ragione nella zona flegrea, tutte le formazioni inferiori al t. g. nap. sono chiamate genericamente «tufi antichi» (cioè anteriori al t. g. nap.). È una denominazione speditiva, ma non razionale, perché non tutti i «tufi antichi» sono, senz'altro, archiflegrei. Nell'ambito della zona flegrea, comunque, si intende che i tufi antichi conglobino i prodotti del «primo periodo». Non sarebbe possibile una attribuzione meno generica.

Ai Camaldoli, nel versante di Soccavo, inferiormente al t. g. nap., che compare subito sotto alla sommità della collina, si ha un complesso di pozzolane chiare, parzialmente tufizzate («tufi biancastri»), poi la breccia/piperno a cui si appoggia un complesso di tufi gialli regolarmente stratificati e fasce di pomici («tufi di Torre Franco»). I tufi biancastri, poiché sono posteriori al piperno/breccia, possono essere considerati come la transizione tra il primo e il secondo periodo. Nella zona urbana di Napoli, sotto al t. g. nap., compare un complesso di tufi gialli stratificati i quali assomigliano molto ai tufi di Torre Franco («tufi stratificati di Chiaia») e, più sotto, anche di fasce di brecce e di pomici. I tufi stratificati includono anche una modesta fascia di piperno/breccia («piperno di Via Palizzi al Vomero»). Se questa corrisponde al piperno di Soccavo/Pianura una parte dei tufi di Chiaia appartiene al periodo di transizione e una parte al primo periodo. Ciò che è però più importante è che spesso i tufi antichi nella zona urbana di Napoli rappresentano prodotti locali, in relazione a bocche eruttive sul posto. Tali prodotti consistono in banchi di brecce e scorie (Coroglio, Poggioreale)

(2) Effettivamente in alcune cave di «pozzolana del II periodo» lungo la rotabile Quarto-Castello di Monteleone si nota la distinta sovrapposizione di due pozzolane.

o anche in lave (trachite scoriacea di Via F. Crispi). Non mancano nella zona urbana di Napoli residui morfologici di antichi crateri (archi di Chiaia, di Fuorigrotta, di S. Elmo/Montesanto) — o presunti tali — in gran parte demoliti e, comunque, completamente ammantati da t. g. nap. Solo lavori di scavo, particolarmente profondi, permettono di riconoscere, nel sottosuolo, la presenza dei tufi antichi. Anche nel promontorio di M. Echia (Pizzofalcone) si può individuare il resto di un antico vulcano, ricoperto quasi per intero dal t. g. nap. I prodotti di tale vulcano affiorano al « ninfeo » di Lucullo. Breccie vulcaniche sotto al t. g. affiorano come si è ricordato, al Monte di Procida e anche nel margine settentrionale della conca di Quarto.

In conclusione, per quanto riguarda il « secondo periodo », la zona urbana di Napoli ha una importanza particolare, sia per l'estensione del t. g. nap., sia perché questo vi mostra la sua funzione di copertura di antichi centri eruttivi, locali, indipendenti dall'Archiflegreo. Forse non è superfluo far riflettere che se l'attività vulcanica dei C.F. fosse continuata coll'Archiflegreo come vulcano unitario, il t. g. nap. emergerebbe solo in qualche solco d'erosione o in qualche cava periferica. È stato lo spronfondamento dell'Archiflegreo e la frammentazione della successiva attività vulcanica in tanti singoli edifici che ha permesso al t. g. nap. di affiorare così largamente e di caratterizzare tanta parte dell'area flegrea.

TERZO PERIODO FLEGREO

Il « terzo periodo flegreo » di De Lorenzo comprende i vulcani più recenti rispetto al t. g. nap. cioè con età minore di 11.000 anni. È impossibile definire questo periodo con un prodotto caratteristico; i prodotti « lontani » dai centri eruttivi sono tutti pozzolane e pomici, quelli delle cinte crateriche sono per lo più anch'essi incoerenti con tuffizzazione o assente o sporadica e limitatissima; ma vi è pure qualche caso (p. es. Nisida) di edificio vulcanico costituito da tufo giallo.

Per il « terzo periodo » è stata costruita la serie stratigrafica, il cui prototipo è, naturalmente, quella della zona urbana di Napoli. Tale serie è stata delineata da Ritmann e precisata da Scherillo. Per costruirla, prima si sono riconosciuti i singoli termini, poi, per stabilirne la provenienza, le ricerche sono state proseguite verso il centro della zona flegrea seguendo attentamente le variazioni dei termini, in base al principio che, avvicinandosi al proprio centro eruttivo, ogni singolo termine aumenta in spessore e in dimensione dei costituenti, mentre la tessitura si fa più caotica.

La serie stratigrafica ha permesso di stabilire l'età relativa della maggior parte dei vulcani, confermando molte deduzioni precedenti e portando anche qualche dato nuovo.

Si è assodato intanto che il vulcano di Agnano è non solo il più antico, ma anche il maggiore dei vulcani del « terzo periodo », ciò che è confermato dalla potenza delle sue formazioni. Ad Agnano seguono immediatamente a est Minopoli e a sud ovest la cupola lavica di Monte Olibano. Il Vulcano di Minopoli è ben poco conservato come edificio vulcanico perché è stato coinvolto in

uno sprofondamento vulcano/tettonico, ma è presente nella serie coi suoi prodotti che — unici nei C.F. — hanno uno spiccato carattere trachibasaltico, (tra l'altro sono molto ricchi in calcio, ferro e magnesio). Il vulcano di Minopoli è stato individuato da Rittmann, ma la sicura collocazione dei suoi prodotti nella serie stratigrafica è un'acquisizione recentissima. La cupola lavica di Monte Olibano è anch'essa posteriore ad Agnano, poi segue La Solfatara, che un tempo era erroneamente considerata uno degli ultimi vulcani del terzo periodo, a causa dell'attività ancora perdurante. Con La Solfatara termina il « terzo periodo antico ».

Dopo la formazione de La Solfatara, sembra che nelle condizioni climatiche dei C.F. sia intervenuto un rapido mutamento, con aumento della piovosità, perché nella serie stratigrafica a questo punto si nota una forte erosione che ha asportato in gran parte i prodotti de La Solfatara e perché tra i singoli termini della serie si interpongono paleosuoli con sostanze humiche relativamente abbondanti e spesso tutta la serie è genericamente rimaneggiata. Si tratta del c. d. « terzo periodo intermedio » che nella serie napoletana è evidentissimo perché le pozzolane, a causa dell'abbondanza delle sostanze humiche, interposte, hanno colore avana, con fasce grige per la presenza di sabbie vulcaniche rimaneggiate. I cavatori le chiamano « pozzolane di fuoco ». A causa del contenuto di minerali argillosi, come pozzolane da aggiungere alla calce hanno qualità mediocri, ma si impiegano per usi speciali, tra l'altro per farne terra battuta per viali di parchi e giardini. Il « terzo periodo intermedio » presenta alla base i lapilli grigiastri del Vulcano de La Montagna Spaccata (che hanno una certa tendenza trachibasaltica, ma meno spiccata dei prodotti di Minopoli) e comprende i prodotti di molti vulcani: Vulcano dei Pisani, vulcani di Baia e, presumibilmente, quelli di Misenò.

Sopra le « pozzolane di fuoco » si trovano i prodotti del « terzo periodo recente » che inizia col vulcano di Cigliano, a cui è seguito Astroni, che, dopo Agnano, è il vulcano più notevole del terzo periodo e le cui pozzolane pomicee biancastre ammantano e caratterizzano tutta la zona flegrea centrale. Considerando la sua età relativamente recente (4000 anni circa) e le sue dimensioni, Astroni deve essere stato il protagonista di quella mitologica « pugna di Flegra » a cui accennavo all'inizio di questa comunicazione. Dopo Astroni si colloca il piccolo vulcano di Fossa Lupara e quindi — acquisizione recente — Averno. L'ultimo vulcano flegreo, molto più giovane di Averno, è Monte Nuovo (1538).

Rimane, per ora, di età relativamente imprecisata per mancanza di adeguati riferimenti, il piccolo vulcano di Santa Teresa al centro della piana di Fuorigrotta. Il vulcano di Nisida, notevole esempio di edificio recente in tufo giallo, è posteriore ad Agnano. I vulcani di Misenò sono forse da collocare nel « terzo periodo intermedio ».

Tra i prodotti del « terzo periodo » hanno avuto per lungo tempo un vasto impiego tecnico le « pozzolane di Baia ». La pozzolana, per la grande porosità dei suoi costituenti (pomici e tritume di pomici) e per la sua natura vetrosa è una roccia silicata dotata di un'alta reattività. Era ben noto nell'antichità classica — e ne parla Plinio — che la pozzolana, aggiunta alla calce, la « litifica » cioè la rende capace di far presa nell'acqua, formando un prodotto più duro e resi-

stente della comune calce, ossia ne fa un vero e proprio cemento. I Romani, gran maestri nell'impiego del cemento, detenevano, coi giacimenti di pozzolana della Campania e del Lazio, il monopolio della pozzolana e questo è un aspetto del potere economico di Roma che forse non è stato ancora sufficientemente valutato.

Tra le pozzolane flegree erano particolarmente apprezzate quelle emesse dai vulcani di Baia (*lapis puteolanus*) e la fama ne è continuata fino al giorno d'oggi. Baia, anche dopo che ha cessato di essere il centro terapeutico alla moda, ha continuato ad essere il porto per l'esportazione della pozzolana in tutti i paesi del Mediterraneo.

Le numerose cave di pozzolana tra Bacoli, Baia e Arco Felice hanno molto contribuito a modificare la topografia locale. Coi mezzi di scavo attuali la morfologia originaria sarebbe stata del tutto cancellata; fortunatamente però l'escavazione della pozzolana di Baia è ora praticamente cessata. A Baia continua l'imbarco della pozzolana ma questa non proviene dalla zona, perché è un prodotto del Gauro, ed è anch'essa trachitica come la pozzolana di Baia. Purtroppo però si è aperta anche qualche cava nel centro della zona flegrea per sfruttare le pozzolane di Astroni e una di queste ha intaccato proprio la cinta craterica del vulcano che ci era giunta indenne. È uno dei più gravi attentati all'integrità della zona flegrea (un altro, ma non così irreparabile, è l'insediamento nel bellissimo vulcano di Fossa Lupara di un centro per l'accumolo delle immondizie di Napoli!).

Come considerazione finale voglio sottolineare che i singoli vulcani flegrei – e prescindendo dalle conche di sprofondamento (Piano di Quarto) e dal residuo dell'Archiflegreo (Camaldoli) – riescono ad avere ciascuno una sua individualità per il concorso, in misura diversa, di vari fattori (vulcanici, tettonici, topografici, storici) e per l'eventuale utilizzazione. Innanzi tutto vi sono gli edifici ben conservati e quelli ridotti a settori della cinta (Montagna Spaccata, Pisani). All'edificio vulcanico relativamente grande (Gauro) con cratere – il Campiglione – modesto, si contrappone quello con conca craterica attualmente amplissima e un recinto basso (Agnano). Vi è il vulcano promontorio (Capo Miseno), l'isolotto vulcanico (Nisida) con insenatura craterica (Porto Pavone), vi è l'ampio porto craterico naturale (Porto Miseno) con cinta che funge da bastione e da molo (isolotto di Punta Pennata) e vi è il cratere lago dell'Averno. Un edificio vulcanico, cioè Fossa Lupara, è a cinta multipla, e uno – Fondi di Baia – è distoma; in un altro – Astroni – è sorta una modesta cupola lavica.

Il cratere de La Solfatara è sede di una ridotta attività vulcanica, e quello di Agnano di attività idrotermale.

Vi è il cratere spoglio e incolto di Monte Nuovo, accanto a quello boscoso di Astroni e all'altro di Cigliano sistemato a tenuta agricola. Nel Campiglione è stato creato recentemente un parco ricreativo, mentre da molti anni una parte della conca di Agnano è utilizzata come ippodromo. Purtroppo non tutte le utilizzazioni sono commendevoli. Ho ricordato sopra che nel cratere di Fossa Lupara è stato collocato un centro raccolta di rifiuti. Il cratere distoma dei Fondi Baia (unico nel suo genere) rischiava la totale distruzione per lo scavo della pozzolana. Il cratere di Agnano, quando vi esisteva il lago omonimo, era un centro di macerazione della canapa (per questo i Borboni avevano costruito la via Mia-

no-Agnano), Porto Miseno era una grande base navale romana e, per un periodo limitato lo è stato anche il Lago d'Averno.

Tutta questa varietà di situazioni contribuisce a fare apparire la zona flegrea più vasta di quanto è effettivamente.

ATTIVITÀ FUMAROLICA E IDROTERMALE

In tutta l'area flegrea l'idrotermalismo è straordinariamente diffuso, soprattutto nella fascia costiera tra Bagnoli e Baia, con vertice ad Agnano. Esistono anche manifestazioni termali sottomarine, al largo di Baia, ben conosciute nella epoca classica.

È noto che l'idrotermalismo è stata la causa che ha fatto della zona flegrea il massimo centro terapeutico dell'età classica (terme di Agnano e di Baia); le bellezze naturali di Baia ne hanno poi fatto un centro mondano, oltre che terapeutico. Ma anche nel Medio Evo, quando gli effetti combinati dell'eustatismo e del bradisismo discendente avevano resa malarica e spopolata la zona, si è perpetuata, pure in mezzo alla rovina generale, la fama delle acque medicamentose flegree e delle « stufe » e tale fama è continuata nei secoli seguenti. Tuttavia, in confronto del posto che aveva la zona flegrea nell'idroterapia durante l'antichità classica, dobbiamo convenire che al giorno d'oggi, sebbene l'attività termale non sia diminuita, la posizione della zona flegrea è molto scaduta.

Se le sorgenti termominerali sono così numerose, l'emissione di una notevole quantità di vapor d'acqua (con piccole percentuali di altre sostanze volatili) è quasi del tutto localizzata a La Solfatara o, per essere più precisi, alla Bocca Grande de La Solfatara. La fuoriuscita di vapore sembra che ormai da molti secoli si mantenga costante, con temperature tra 135° e 150°. Nel 1952 è cominciata, a poca distanza dalla Bocca Grande, un'altra fuoriuscita di vapore con temperatura, inizialmente, di 150°. Queste sono le massime temperature raggiunte alla superficie da manifestazioni endogene nei C.F. Le sostanze volatili emesse dalla Bocca Grande sono per il 90% vapor d'acqua; il restante 10% è costituito da gas (9.92 CO₂; 0.05 H₂S; 0.007 H₂; 0.025 N₂, con tracce di acido borico, CH₄, As, He, Ar, ecc.).

Un'altra ben nota manifestazione gassosa, che emette CO₂ a temperatura ambiente, è la « Grotta del Cane » di Agnano, tuttora esistente, ma tramutata in un ricettacolo — abusivo — di rifiuti.

Nessuna delle acque mineralizzate dei C.F. è usabile come bevanda e ciò rappresenta uno svantaggio per le acque flegree rispetto a quelle di Castellammare di Stabia.

I principali gruppi di sorgenti termominerali sono quelli di Agnano, Bagnoli, Pozzuoli, Stufe di Nerone, Baia. Per « stufa » si intende una galleria o un ambiente dove, a scopo terapeutico, si sfrutta l'alta temperatura, per farne un sudatorio. Nell'epoca classica primeggiavano le acque di Baia; oggi, su scala regionale e cittadina, sono frequentate le terme di Bagnoli, Pozzuoli, Agnano, ma non è stato possibile « lanciarne » veramente qualcuna sul piano nazionale e internazionale.

L'agente della termalità è il magmatismo profondo. Il vapore de La Solfatara non proviene però direttamente dal magma ma, come è indicato dalla temperatura e dalla costanza dell'emissione, si forma per ebollizione di acque sotterranee sotto pressione, in corrispondenza di particolari strutture che permettono la fuoruscita del vapore. Le sorgenti calde flegree (temperatura 60°-80°) hanno la composizione fondamentale di acque marine o salmastre e sono riscaldate dalla condensazione di vapori sotterranei del tipo di quelli della Bocca Grande. Tali sono le acque di Agnano, Pozzuoli, Stufe di Nerone, Baia. Altre, meno calde, sono ricche di bicarbonati lisciviati dal terreno. Le Sorgenti dei Pisciarelli sono di acque, acide per acido solforico, in relazione all'attività de La Solfatara. Qui l'attività idrotermale ha alterato localmente la roccia, con formazione di abbondanti solfati, i quali conferiscono al terreno quel colore bianco che aveva meritato alla zona il nome classico di Colli Leucogei. Il decantato dei vari solfati insolubili, cioè il « bianchetto », è tuttora adoperato a Napoli come materiale da intonaco. È questa l'unica industria estrattiva — se così si può dire — rimasta nella zona flegrea dopo che, ormai da molti decenni, è cessata l'estrazione, sempre però su scala artigianale, di zolfo da La Solfatara. La pozzolana e il tufo rientrano fra i « prodotti di cava ».

Qualche variazione nell'idrotermalismo è intervenuta nel corso dei secoli. Il bradisismo discendente e l'eustatismo hanno pressochè « affogate » le sorgenti baiane e lo stesso è accaduto per quelle sulle rive dell'Averno, che pure, come dimostra la presenza dei ruderi del c.d. « Tempio d'Apollo », dovevano esser molto efficienti. In questo caso si sono aggiunti gli effetti dell'eruzione del Monte Nuovo. La stessa eruzione ha distrutto completamente le antiche terme di Tripergola.

VICENDE DELLA ZONA LUCRINO/AVERNO. ERUZIONE E FORMAZIONE DEL MONTE NUOVO

L'attività geofisica nei C.F. durante i tempi storici, comprende, oltre all'attività idrotermale, che naturalmente non può avere episodi di rilievo, l'attività sismica, l'eruzione del 1538 che ha portato alla formazione del Monte Nuovo e il bradisismo puteolano di cui la crisi di Pozzuoli del 1970-73 è un episodio recentissimo.

Nell'epoca classica non sono avvenute eruzioni nei C.F., né subaeree né sottomarine. L'unico aggancio colla famosa eruzione vesuviana del 79 è che Plinio e il nipote si trovavano, all'inizio di questa, a Miseno. Vi è la tradizione di una eruzione de La Solfatara che sarebbe avvenuta nel 1198. La più antica citazione di questa problematica eruzione è di Scipione Mazzella ed è posteriore di circa quattro secoli al supposto evento. La citazione poi è ripetuta da altri autori successivi. Le « scorie » a cui accenna Mazzella non si sono mai ritrovate: si trattava probabilmente di pillacchere di fango lanciate da una fangaia del tipo dell'attuale. Non è escluso che si tratti del ricordo di una più accentuata o anche eccezionale attività de La Solfatara, considerata, a posteriori, una vera e propria

eruzione, perché si è voluto vedervi un precedente di quella del Monte Nuovo.

L'eruzione del Monte Nuovo fece grande impressione tra i contemporanei e sembrò violentissima. L'evento che apparve più straordinario fu la formazione, in brevissimo tempo, di un monte di più di 100 metri di altezza.

L'eruzione dell'Arso del 1302 nell'isola d'Ischia esorbita dai Campi Flegrei.

L'eruzione che ha portato alla formazione del Monte Nuovo è avvenuta in una plaga dei Campi Flegrei che aveva già subito molte vicende topografiche per cause sia storiche che fisiche. Queste ultime sono consistite in variazioni molto sensibili della linea di costa, che noi ora sappiamo essere dovute tanto al bradisismo che all'eustatismo, ma che ai contemporanei, quando il Serapeo non era ancora rimesso in luce, dovettero sembrare singolari e inspiegabili con cause naturali.

Sull'eruzione di Monte Nuovo e sul bradisismo flegreo esistono due eccellenti e complete monografie del prof. A. Parascandola, alle quali ho largamente attinto. Le notizie sul bradisismo giungono fino al 1945 ; forse l'A. non ha tenuto abbastanza presente l'eustatismo, ma indubbiamente si tratta delle due monografie più complete sulla storia geofisica, dall'epoca classica all'attuale, dei C.F., sismica esclusa.

La zona in cui poi sarebbe sorto il Monte Nuovo è caratterizzata da una rientranza tra la base meridionale del Monte Gauro, la collina dell'Arco Felice e la Punta dell'Epitaffio. Una situazione topografica di tale tipo si presta in regime di lenta sommersione, all'insediamento dei laghi costieri, se concorrono altre circostanze favorevoli, quali una profondità marina scarsa, un opportuno regime di correnti e l'abbondanza di detriti che permettano al mare di costruire un cordone litoraneo. Nel caso in questione, però, la parte più interna della rientranza è rappresentata dal cratere di esplosione di Averno col relativo lago vulcanico, perciò il lago costiero si è insediato solo nella porzione prospiciente al Golfo di Pozzuoli: tale lago è appunto il Lucrino.

Tra Lucrino e Averno la soglia è attualmente molto bassa (4 o 5 metri), mentre il livello dell'Averno è di 1 m. s.l.m. e il Lucrino è a livello marino.

Il cordone litoraneo tra Lucrino e il mare era detto nell'età classica Via Herculea ed era utilizzato per le comunicazioni terrestri tra Pozzuoli e Baia. Nel I secolo a. C. sappiamo – e vi è la testimonianza dello stesso Virgilio – che il cordone litoraneo, come spesso accade dovunque (quando però la linea di spiaggia tende a retrocedere), era stato danneggiato da una mareggiata e che era stato riparato e restaurato. L'opera pubblica era indicata come *Claustra Iulia*.

Un analogo evento si è avuto il 4 novembre 1966, quando una fortissima mareggiata concomitante coll'alluvione di Firenze ha demolito l'istmo sabbioso che congiungeva il promontorio di Punta Pennata, delimitante Porto Miseno, alla collina di Bacoli, in modo che la punta si è trasformata in un isolotto. L'istmo non si è più ricostituito.

È noto che all'epoca della guerra contro i pirati nel 36 a. C., Agrippa si servì del complesso Lucrino/Averno – posti in comunicazione tra loro e col mare aperto – per farne una base navale artificiale per la flotta che doveva agire contro i pirati (noi diremmo meglio i « corsari ») di Sesto Pompeo. Fu anche

costruito un avamposto che, secondo alcuni autori, è dovuto invece all'Imperatore Claudio, con una gettata orientale e una occidentale.

Il Golfo di Napoli ha assistito circa sedici secoli dopo ad un altro grande raduno navale, per uno scopo analogo: intendo i prodromi della gloriosa campagna di Lepanto del 1571. Don Giovanni d'Austria però non ebbe problemi portuali, perché ormai a Napoli era stata riconosciuta la sua naturale funzione di guida e metropoli, e quindi sono stati utilizzati il porto e la rada di Napoli.

Gli eruditi dei secoli passati hanno spesso scambiato i blocchi delle gettate del c.d. Porto Claudio, emergenti in parte dal mare o visibili a poca profondità, per una massicciata e un basolato stradale, cioè per le vestigia della via Herculea, attribuendo in conseguenza all'antico Lucrino un'estensione esagerata. A questo si aggiunge la tradizione del « ponte di Caligola » che avrebbe riunito, attraverso il mare, Pozzuoli con Baia, radice del quale erano considerate le arcate del molo romano di Pozzuoli. Il « ponte » in realtà è il complesso di opere portuali, ora sommerso, tra Pozzuoli e Lucrino. Tutto ciò rende le testimonianze degli scrittori, tra la fine del Medioevo e l'inizio dell'Evo Moderno, confuse per l'incertezza dei riferimenti, ma risultava chiaro a tutti che dall'epoca classica in poi le antiche opere portuali erano state sommerse.

Sembra che alla fine del II secolo d. C. sia cominciato l'abbandono di Lucrino come porto e come vivaio di pesci e ciò naturalmente, avrà provocato un rilasciamento nella manutenzione delle opere. La diga tuttavia fu ancora restaurata nel secolo V al tempo di Teodorico.

Poi pare che il Lucrino sia stato invaso dal mare senza che, artificialmente o naturalmente, la diga sia stata ricostituita. Gli effetti della sommersione sono dunque ormai evidenti.

Se occorrono prove della situazione privilegiata dei C.F. le prove sono che, come per l'epoca classica disponiamo della testimonianza di Virgilio, per il Medioevo i nostri testimoni si chiamano Petrarca e Boccaccio.

Questi due sommi scrittori erano anche (come già Dante) grandi naturalisti. Petrarca visitò la zona flegrea nel 1341 e ci lasciò una breve ma esauriente descrizione de La Solfatara, che si trovava, in pratica, nella situazione attuale, ma per quanto riguarda la questione dell'esistenza nel Medioevo del Lucrino come lago, la sua testimonianza non è affatto chiara, perché sembra che abbia scambiato il Lucrino col Lago di Fusaro (la Palus Acherusia) che invece è sempre esistito. Evidentemente è stato male informato (e pare che l'informatore confusionario sia stato Carlo II d'Angiò). Boccaccio, colla sua visita di pochi anni dopo, ci dà invece un quadro esauriente della situazione, perché ci informa che il mare agitato entrava senza difficoltà nel lago d'Averno e con ciò è chiaro che il Lucrino non esisteva più: era quindi stato invaso dal mare e al suo posto vi era un'insenatura.

Coll'inizio del secolo XVI vi furono alcuni indizi che la situazione stava cambiando: infatti emersero alcuni blocchi del c.d. Porto Claudio (« le Fumose »). Contemporaneamente anche a Pozzuoli si manifestavano gli effetti di una emersione.

Nello stesso tempo cominciarono delle scosse di terremoto. Per questi

sismi naturalmente la menzione è limitata a Pozzuoli, perché la zona Lucrino/Averno era quasi spopolata: l'unico centro era Tripergole che, più che altro, consisteva in un edificio per cure termali. Tripergole sorgeva presso il limite settentrionale dell'insenatura di Lucrino dove esistevano i due modestissimi rilievi chiamati La Montagnella e Monte del Pericolo.

Tra la fine del xv secolo e l'inizio del xvi Pozzuoli fu dunque colpita e danneggiata da frequenti scosse sismiche che aumentarono di numero e di intensità tra il 1536 e il 1538. Alla fine del settembre 1538 la situazione precipitò e il 28 settembre si ebbe una scossa particolarmente violenta. Nello stesso giorno si verificò un improvviso e sensibilissimo innalzamento del suolo (si parla di circa 7 metri) nella zona di Tripergole (ma non ne fu immune l'area di Pozzuoli) e poi, sempre nella zona di Tripergole, prima un rigonfiamento locale, quindi uno sprofondamento colla formazione, alle 8 di sera, di una voragine esplosiva.

Era cominciata l'eruzione che avrebbe condotto alla formazione del Monte Nuovo.

Le esplosioni continuarono violente per tutto il 29 e il 30 settembre e il 1º ottobre. Il giorno 2 l'attività esplosiva era già scemata; erano bastati poco più di tre giorni per costruire, coll'accumolo per ricaduta, intorno alla bocca vulcanica dei materiali frammentari e proiettati dalle esplosioni, quella collina craterica che attualmente misura 140 m. di altezza e un diametro di base di circa 1200 m., la quale dai contemporanei, senza eccessivo sforzo di fantasia, fu denominata Monte Nuovo e che tuttora si chiama così.

Un'esplosione isolata avvenne il 3 ottobre e l'ultima manifestazione esplosiva si ebbe alle ore 16 del giorno 6 ottobre. Ci furono 24 vittime tra persone che, fidandosi della calma che ormai durava da qualche giorno, stavano salendo sul cono del nuovo vulcano. È imprecisato se e quante vittime fece l'eruzione a Tripergole che è stata completamente distrutta e seppellita.

In una data imprecisata, ma anteriore al 6 ottobre è avvenuto un collasso, i cui effetti sono tuttora evidentissimi, nella porzione del cono che fronteggia il mare, dove la regolarità del cono è interrotta da una insaccatura. In corrispondenza di tale insaccatura vi è una soglia ribassata nell'orlo della cinta craterica e di qui è uscita la gettata di scorie laviche del 6 ottobre che sono state il prodotto finale dell'eruzione di Monte Nuovo e, finora, dell'attività eruttiva flegrea. Purtroppo la conclusione è stata tragica.

Cessata l'eruzione, continuò per circa tre secoli una certa attività fumarolica sul fondo del cratere, che si è andata sempre attenuando, ma che non era ancora spenta alla metà di questo secolo. Attualmente, lungo la spiaggia alla base del cono si riscontra, appena sotto alla superficie, una temperatura di circa 60°. Sul fronte della gettata di scorie (che sono state oggetto di qualche tentativo di utilizzazione come « ferruggine ») si formano, durante la stagione secca, effiorescenze saline di trona (carbonato acido di sodio).

La formazione di Monte Nuovo fece grande impressione sui contemporanei, per la novità dell'evento e fu giudicata molto violenta. Per noi è assai istruttiva perché è l'unica eruzione di cui abbiamo testimonianze abbastanza attendibili, per quanto non sempre concordi nei particolari. L'eruzione ha mostrato, tra

l'altro, con quanta rapidità possono formarsi gli edifici vulcanici flegrei. Il materiale proiettato è stato però relativamente scarso: a Pozzuoli, tanto prossima, le ceneri raggiungevano appena l'altezza di 20 cm, a Napoli di 5. Inutile cercare i prodotti di Monte Nuovo nella serie stratigrafica delle piroclastiti flegree: appena al di là delle immediate adiacenze dell'edificio vulcanico non sono più individuabili perché sono stati inglobati nel terreno agrario attuale. L'edificio vulcanico di Monte Nuovo ha dimensioni paragonabili a quelle di Cigliano, Capo Miseno, Nisida ma in questi edifici vi è stata certo una notevole asportazione di materiali, mentre a Monte Nuovo, relativamente recentissimo, questa asportazione è stata molto minore. Perciò, nel quadro generale degli edifici vulcanici flegrei, il cono di Monte Nuovo deve essere piuttosto classificato tra i piccoli che tra i medi e l'eruzione è da considerarsi di mediocre potenza.

Il vulcano di Monte Nuovo presenta qualche carattere specifico. I suoi prodotti hanno carattere petrografico fonolitico, quale si riscontra solo, per quanto è a nostra conoscenza, nella lava della cupola di Cuma. La gettata di scorie laviche del 6 ottobre, dovuta a un lancio obliquo, è unica — per quanto ne sappiamo — nei vulcani flegrei.

Dopo l'eruzione le scosse sismiche sono continuate, più o meno forti, per tutto il secolo XVI.

Naturalmente l'eruzione ha cambiato profondamente la topografia locale, principalmente, ma non soltanto, per la formazione del cono. Il Monte del Pericolo è stato del tutto inglobato, mentre è ancora parzialmente riconoscibile nel settore S.O. alla base del nuovo edificio la preesistente Montagnella.

Dalla testimonianza concorde dei contemporanei, sappiamo che l'eruzione aveva completamente riempito, coi suoi materiali piroclastici, l'insenatura di Lucrino, prosciugandola quasi del tutto. A quest'ultimo risultato è probabile che abbia concorso anche il notevole sollevamento preeruttivo di tutta la zona. È solo alla fine del secolo XVII che si comincia ad accennare alla presenza di uno stagno nell'insenatura del Lucrino: questo stagno è stato all'inizio denominato Mariciello.

Nel 1734 fu aperta una comunicazione tra lo stagno/lago costiero e il mare; alla fine del XVIII secolo fu ripristinato il classico nome di Lago Lucrino. Dall'esame delle carte topografiche dell'epoca è evidente che questo nuovo Lucrino corrispondeva già allora, per forma ed estensione, all'attuale. Rispetto al Lucrino antico, l'area occupata da quello odierno è forse meno della metà: è difficile figurarci navi marittime in questo modestissimo e poco profondo specchio d'acqua. Il cordone che lo separa adesso dal mare è possibile che coincida colla Via Herculea, ma non si tratta dell'antica struttura riemersa, perché questa è stata certamente smantellata dai marosi durante la sommersione.

Sulle rive del Lago d'Averno vi sono prove di sommersione per quanto riguarda sia l'arsenale di Agrippa che la Grotta di Cocceio, sia il «Tempio di Apollo». La superficie del lago è ora a 1 m. s.l.m.; questo probabilmente è un effetto dell'eruzione del Monte Nuovo che ha innalzato, col deposito dei materiali piroclastici, la piana tra Lucrino e Averno (ora a 4-5 m. s.l.m.) ostacolando il deflusso di quest'ultimo al mare.

I resti del cosiddetto « Porto Claudio », che, per quanto riguarda il molo di levante, emergevano ancora alla metà del secolo scorso, si trovano ora a circa 2 metri sotto il livello marino.

Dunque nella zona Lucrino/Averno, a prescindere dalla novità topografica della formazione del Monte Nuovo, sono avvenute dall'epoca classica ad oggi molte variazioni consistenti in immersioni ed emersioni. In sintesi dai documenti di cui disponiamo sembra che dal I secolo a. C. al tardo Medioevo sia continuata la sommersione poi, coll'inizio dell'Evo Moderno, comincia a delinearsi una emersione. L'eruzione di Monte Nuovo si è inserita nella fase di emersione che non sappiamo quanto è durata; attualmente però la discesa sotto il livello marino dei blocchi del Porto Claudio indica la ripresa dell'immersione. Tutte queste vicissitudini non sempre sono chiare, tanto più che gli indizi sono dispersi, perché alcuni si riferiscono alle opere portuali, altri ai rapporti tra il mare e Averno, altri al Lucrino.

Fortunatamente il Serapeo di Pozzuoli, dove si ha una concentrazione di indizi molto evidenti, ha permesso di accertare e di coordinare queste vicissitudini, che sono state inquadrate nei fenomeni bradisismici.

Del bradisismo flegreo (che, più prudentemente, sarebbe bene chiamare « bradisismo puteolano ») ci lusinghiamo ora di avere trovata una spiegazione soddisfacente, che tiene conto pure dell'eruzione del Monte Nuovo.

IL BRADISISMO FLEGREO

La prova più evidente che il suolo di Pozzuoli tende ad abbassarsi non ci è tanto fornita dai ruderi del Serapeo (che sono compresi dentro all'attuale linea di costa), quanto dall'edificio dell'ex convento dei Cappuccini che sorge ora dal mare, anche se a breve distanza dalla riva, e inoltre è visibilissimo a chiunque, giungendo a Pozzuoli da Napoli lungo la Via Domiziana, si affacci al bellissimo belvedere de La Solfatara.

Ma sommersione non significa senz'altro bradisismo, ed effettivamente il bradisismo è testimoniato solo dal Serapeo.

Il Serapeo di Pozzuoli — in realtà mercato di commestibili con annesso un sacello in cui è stata rinvenuta la statua di Giove Serapide, ora al Museo Nazionale di Napoli — è la prova, colla traccia delle vicende che ha attraversato durante una ventina di secoli impresse sulle sue rovine, di un bradisismo tuttora in atto in quella parte dei C.F. in cui si sono concentrate le tracce del residuo vulcanismo, cioè la zona del Golfo di Pozzuoli.

Vi sono numerose prove di un generale abbassamento del suolo flegreo dall'età romana ai nostri giorni, rispetto al livello marino, ma ciò non significa senz'altro che si tratti di bradisismo, perché potrebbe essere il caso — e difatti in parte è così — di innalzamento del livello marino: è solo collo studio delle vicissitudini del Serapeo che è stato possibile attribuire « anche » al bradisismo, sia pure localmente, alcune variazioni della linea di costa.

Secondo la definizione di Arturo Issel, che nel 1883 definì il concetto di bra-

disismo (o bradisima) questo consiste in « lente oscillazioni (e si deve insistere sul concetto di « oscillazione ») di zone circoscritte della crosta terrestre, con un ordine di grandezza di decimetri per secolo ». La « lentezza » è relativa alla velocità di vibrazione dei sismi.

È evidente che il modo più agevole di verificare e di misurare un bradisismo è quello di riferire il livello del suolo al livello medio del mare (operazione molto agevole per il Serapeo che si trova proprio in riva al mare) e di seguirne le variazioni nel tempo, ma il metodo deve essere impiegato con prudenza, perché, come si è accennato, altre cause possono provocare tali variazioni o concorrere a provocarle.

Infatti nelle zone di intensa sedimentazione il livello del suolo, per l'apporto incessante di nuovo materiale detritico, tende ad innalzarsi ma contemporaneamente l'assestamento per costipazione degli strati, a misura che vengono ricoperti dai più recenti, causa un continuo affossamento della pila sedimentaria. È un fenomeno molto pronunciato nel delta padano, dove produce l'inghiottimento degli antichi monumenti. Non è un movimento oscillatorio, poiché non potrebbe esservi riemersione; quindi non è un bradisismo. Comunque, anche nelle zone bradisimiche può accadere che, durante la fase di abbassamento, la superficie del suolo si elevi per apporto sedimentario. L'ordine di grandezza dell'abbassamento per costipazione — la cosiddetta « subsidenza » — può raggiungere quello di un bradisismo.

Un fenomeno che si deve sempre tenere presente è la variazione periodica del livello marino nel corso dei secoli in relazione coll'entità della glaciazione: nelle fasi glaciali il livello marino si abbassa, nelle interglaciali (e ci troviamo appunto in una fase interglaciale) si innalza per la graduale fusione delle croste glaciali e dei ghiacciai. Si intende che, a differenza del bradisismo che è un fenomeno strettamente locale, queste variazioni del livello marino, le quali sono parte del cosiddetto « eustatismo », sono universali. Anch'esse però hanno carattere oscillatorio, perché l'entità della glaciazione è variabile, sia pure con periodo ampio. Si è calcolato, in base a osservazioni in cui hanno avuto gran parte le ricerche archeologiche, che, dall'inizio dell'era volgare ai nostri giorni, il livello degli oceani, e quindi anche quello del Mediterraneo, si è innalzato di circa 2 metri, il che significa che, in apparenza, la terra emersa si è abbassata di altrettanto. La variazione media è di 1 decimetro al secolo, quindi è dello stesso ordine di grandezza di un bradisismo non troppo rapido.

L'esistenza dell'eustatismo non significa però che si deva escludere il bradisismo flegreo. Al contrario, questo deve essere ritenuto certo, sia perché si sono avuti localmente abbassamenti del suolo, rispetto all'epoca classica, molto superiori ai 2 metri, sia perché agli abbassamenti si sono alternati innalzamenti, nel corso degli ultimi venti secoli.

Col bradisismo flegreo non sono da confondere i movimenti di natura geotettonica che coinvolgono l'Appennino (tali movimenti nell'Appennino Campano sono quanto mai complessi, perché sembrano interessare singole zolle, tra loro indipendenti) e che sono continuati nel quaternario. Nell'ambito stesso della zona flegrea, alcuni movimenti sono da tenere separati dal bradisismo e in primo

luogo gli sprofondamenti vulcano/tettonici che hanno originato le relative conche (Quarto, Pianura, Soccavo) e che in parte sono connessi collo sprofondamento dell'Archiflegreo. Altri sprofondamenti sono collassi posteruttivi (conca di Toiano).

Vi è però nella zona flegrea l'evidenza di un movimento recente, forse collegato al bradisismo. Infatti, proprio alle spalle del Serapeo si innalza la Terrazza de La Starza (m. 50 s.l.m.) che si prolunga verso est e verso ovest ed è troncata verso sud da una falesia. La fascia intermedia della falesia è costituita da cineriti, forse emesse dal retrostante vulcano di Cigliano, con fossili marini attuali, mentre nella porzione superiore compaiono, come deposito subaereo, i prodotti del vulcano di Astroni: si tratta, a quanto sembra, di un sollevamento che preludeva alla formazione di Astroni stesso. Successivamente si è verificato uno sprofondamento nella parte meridionale della terrazza e così si è formata l'attuale falesia. Il Serapeo è appunto costruito sulla parte sprofondata. Il bradisismo flegreo potrebbe innestarsi ai movimenti de La Starza, ma, in mancanza di prove, è bene considerarlo un fenomeno indipendente.

Come molti monumenti dell'età classica, anche i ruderi del Serapeo erano quasi del tutto interrati. Sporgevano dalla superficie del terreno vegetale della « Vigna delle Tre Colonne » le estremità appunto di tre colonne in marmo cipollino, per 3-4 metri e questa situazione continuò fino alla metà del secolo XVIII, quando Carlo III di Borbone, re di Napoli, dispose lo scavo archeologico del vigneto. L'inizio dello scavo è quasi contemporaneo, o poco posteriore, a quello degli scavi di Ercolano (1732) e di Pompei (1748) e lo scopo era di trovare statue o pezzi architettonici di valore. È infatti tradizione che alcune colonne siano state utilizzate per il teatro di corte nella reggia di Caserta e altro materiale sia stato impiegato per la decorazione della Sala d'Alessandro nella medesima reggia.

Lo scavo doveva però subito raggiungere, inaspettatamente, quella grandissima importanza e destare quel vivo interesse che hanno reso il Serapeo famoso in tutto il mondo e che hanno ridato una fama internazionale ai C.F. Ciò che ha fatto tanto famoso e interessante il Serapeo è stata la constatazione che il monumento, dopo la sua fondazione e prima dello scavo, era stato quasi interamente sommerso dal mare, poi era riemerso.

Vi è stata una singolarissima convergenza di situazioni favorevoli che ha permesso, non solo di evidenziare il fenomeno, ma anche di seguirlo e di ricostruirlo nei particolari. Innanzi tutto l'ubicazione del monumento lungo la riva del mare, ciò che ha facilitato la misura dell'altezza relativa e della sua variazione, poi l'esistenza di colonne in cipollino del pronao, tre delle quali, caso eccezionale per le colonne romane in Campania, sono rimaste erette. Ha giovato ancora la presenza nell'ambito del Serapeo di una sorgente minerale incrostante, l'esistenza del cortile cintato che ha potuto trasformarsi due volte in lago, la facilità con cui il monumento è stato, al momento opportuno, ricoperto da alluvioni protettive. Ma la circostanza più straordinaria è che il monumento in cui ricorrevano tante situazioni idonee alla registrazione del bradisismo, si trova, come è stato riconosciuto successivamente, spostato soltanto 700-1000 m. dal punto in cui il bradisismo raggiunge la massima intensità!

Tutto ciò va meditato perché, se è vero che nelle altre zone vulcaniche abbiamo numerosi indizi, ma nessun altro caso così completo di bradisismo come nei C.F., questo dipende certo, almeno in parte, dalla mancanza di « Serapei locali ».

La prima fondamentale constatazione che si fece durante lo scavo, fu che le tre colonne di cipollino, rimesse in luce per tutta la loro altezza, mostravano una fascia, larga poco più di m. 2,50, fittamente perforata da quei molluschi lamel-libranchi marini che sono i litodomi. Tale fascia comincia a m. 3,50 dalla base e lascia indenni gli ultimi m. 6,50. L'altezza totale delle colonne — che hanno perduto il loro capitello — è di circa m. 12,50, perciò il tratto emergente prima dello scavo (gli ultimi 3-4 metri) non era forato. Una quarta colonna di cipollino, caduta e spezzata, era perforata saltuariamente dai litodomi per tutta la sua lunghezza. La deduzione evidente, inoppugnabile e nella quale è tutto il nocciolo del bradisismo, è che le tre colonne, durante un certo periodo, erano state sommerse dal mare fino a quasi metà della loro altezza e poi erano riemerse.

Le conoscenze sulle vicissitudini del Serapeo furono ben presto arricchite da una nuova constatazione. Infatti, al tempo dello scavo, la platea era a una quota superiore al livello del mare (tra m. 0,50 e m. 1), ma già intorno al 1820 era scesa al livello del mare, continuando a discendere fino alla « crisi di Pozzuoli », cioè fino al 1970. Perciò la constatazione è stata appunto quella che già all'epoca dello scavo era in atto un moto discendente.

Le rovine del Serapeo, colle loro colonne forate dai litodomi, divennero subito famose in tutta Europa e furono visitate da molti illustri geologi, tra cui S. Breislak e C. Leyll. Ma, come sempre accade, ciò che fu veramente utile non fu il fuggevole parere di illustri viaggiatori, ma l'opera paziente, tenace e prolungata di studiosi sul posto. Le ricerche più complete sono state quelle compiute dall'inglese Charles Babbage che studiò e descrisse nel 1840 le incrostazioni e i terreni di copertura del Serapeo e le altre dell'architetto napoletano Antonio Niccolini che studiò i ruderi per 20 anni, fino al 1846, cercando di dare una base cronologica alle vicende del monumento, da lui attribuite esclusivamente a variazioni periodiche del livello marino. Se le vicende del Serapeo dovessero attribuirsi a variazioni del livello della terra o del mare si discusse nel IV Congresso Scientifico Italiano tenuto a Napoli nel settembre 1846. Quella volta, naturalmente, ciascuno rimase della propria opinione, poi, a poco a poco, prevalse il parere che si trattasse esclusivamente di movimenti del suolo, trascurando le possibili variazioni del livello marino. Quando Issel definiva nel 1883 il bradisismo, non si aveva alcun concetto dell'eustatismo, che è un'acquisizione recente.

Ecco la rappresentazione schematica delle vicissitudini del Serapeo nel corso di più di venti secoli. Sappiamo ora che, durante questo intervallo, il livello marino saliva continuamente, per eustatismo, col ritmo, in media, di 1 decimetro al secolo. Molti dei riferimenti cronologici sono incerti, non sempre le misure sono precise, ma nelle linee generali, la ricostruzione dell'andamento del bradisismo appare attendibile.

Innanzitutto è da tener presente che sotto la platea del Serapeo, a lastroni di marmo, esiste, a due metri di profondità, un altro pavimento più antico, a

mosaico, che si attribuisce al I secolo a. C. È presumibile che questo primo pavimento sia stato costruito ad almeno 2 metri sopra il livello marino. Poiché il Serapeo, nella sistemazione con cui è giunto a noi, tenendo anche conto dei restauri documentati da alcune epigrafi, si fa risalire a un periodo tra il I e il III secolo d. C., si deduce che all'inizio dell'era volgare il monumento era in fase discendente: la sopraelevazione del pavimento è un indizio evidente. Nel IV secolo d. C. nella cella del Serapeo fu ricavata un'edicola cristiana e nel suo pavimento furono scavate sepolture: è chiaro che fino allora la platea era ancora all'asciutto.

Il primo effetto della sommersione fu che sulla platea si formò, a causa della protezione fornita dai muri di cinta, uno stagno comunicante col mare, di acque salate (come è dimostrato dagli avanzi di *serpule*), ma depositanti carbonato di calcio per effetto della sorgente mineralizzata. Tutto ciò è documentato da una prima incrostazione sulle pareti del Serapeo, a contatto colla platea (cm. 0,60). Lo stato del Serapeo, colla platea sommersa da acque salmastre, ricorda l'attuale. In seguito il laghetto fu colmato da sedimenti alluvionali di detriti provenienti dalla retrostante Terrazza de La Starza e non più rimossi perché ormai il Serapeo era in stato di abbandono. Nell'ambito di tale coltre alluvionale si è formato successivamente un altro laghetto, questa volta però di acqua dolce ma sempre molto ricca di carbonato di calcio. L'episodio è documentato da una seconda incrostazione che aderiva alle pareti (prima che queste fossero «ripulite») con una fascia di 1 metro di spessore la quale si iniziava all'altezza di m. 1,60 dalla platea ⁽³⁾. Trattandosi di un laghetto di acqua dolce (infatti non vi si trovano resti di *serpule* ma di *planorbis*) è logico dedurre che fosse a quota superiore al livello marino: è presumibile che questo laghetto sia stato formato dalla sorgente che, per il moto discendente, trovava ostacolo nel suo sbocco in mare; comunque anche questo laghetto fu colmato dopo un certo tempo, dalle solite alluvioni: le tre colonne in cipollino del pronao sono state coperte, con questo alluvionamento, fino all'altezza di m. 3,60 dalla platea; la quarta colonna era caduta e, cadendo, si era spezzata.

Continuando l'abbassamento, il mare ha sommerso le alluvioni, cosicché le estremità delle tre colonne emergevano dal mare aperto.

È a questo punto che le colonne superstiti sono state attaccate dai litodomi per una fascia di circa m. 2,70. Il livello del mare era giunto quindi fino a m. 6,30 sulla platea, la quale però era coperta da una coltre di più di 3 metri di detriti. Le estremità delle tre colonne sporgevano ora per più di 6 metri dal mare libero che giungeva fino alla base della falesia de La Starza. Questa naturalmente per il moto ondosso subiva una rapida demolizione con risultati disastrosi per gli avanzi delle numerose ville romane che si affacciavano sul ciglio de La Starza stessa e di cui oggi non restano che scarsissime vestigia. La demolizione de La Starza avrebbe dovuto, coll'accumolo dei detriti, ricostruire la spiaggia a misura che questa era sommersa; se invece le colonne del Serapeo, hanno potuto spor-

(3) In questo periodo le condizioni del Serapeo erano le stesse in cui ora si trova il «tempio di Mercurio» a Baia.

gere, per un certo tempo, dal mare libero, può significare che il moto di sommersione era diventato molto rapido.

Si ritiene generalmente, che il massimo abbassamento si sia raggiunto tra il x e l'xi secolo, ma non vi è alcuna prova. La distanza tra il limite superiore della fascia a litodomi e la base delle colonne è di metri 6; a questi bisogna aggiungere i 2 metri che rappresentano la distanza tra la platea e il pavimento sottostante, e altri 2 metri per il minimo di altezza sul mare che avrà avuto in origine questo pavimento. In totale sono m. 10 circa. Introdotta la correzione per l'eustatismo, l'abbassamento massimo, misurato dal limite superiore della fascia a litodomi, è un po' inferiore a m. 9.

Non è detto però che tale limite rappresenti davvero il massimo abbassamento perché è possibile che, mentre ancora perdurava il moto discendente, l'accumolo dei detriti e le alluvioni abbiano fatto avanzare la linea di spiaggia colla conseguenza che le estremità delle tre colonne si sono trovate ad emergere non più dal mare, ma dalla spiaggia anche se il bradisismo discendente continuava.

È chiaro che lo stesso bradisismo discendente è la causa della sommersione delle opere portuali del porto Giulio/porto Claudio, della Via Herculea e della scomparsa del Lago Lucrino, così ben testimoniata da Boccaccio nel xiv secolo.

Un documento che viene interpretato come una prova dell'inversione del bradisismo è un « privilegio » del principio del '500 di Ferdinando d'Aragona in cui si concede alla città di Pozzuoli il terreno che si andava aggiungendo lungo la costa perché il mare « si seccava ». Sulla spiaggia a oriente del promontorio di Rione Terra a Pozzuoli fu appunto costruito nel secolo xvii quel convento dei Cappuccini il cui edificio — scomparsa la spiaggia — è oggi tutto circondato dal mare ed è il segno più evidente della successiva sommersione della riva puteolana.

Anche la contemporanea riemersione de « Le Fumose » è prova del bradisismo ascendente.

L'eruzione del Monte Nuovo è avvenuta durante questa fase ascendente. È accertato che l'eruzione è stata preceduta da un sollevamento rapido e notevolissimo, non solo nelle adiacenze della bocca eruttiva, ma anche a Pozzuoli. Avvenuta l'eruzione pare però che il suolo sia tornato, piuttosto rapidamente, al livello di prima. Nessun segno sulle colonne del Serapeo ci fornisce dati numerici: le colonne, ormai avvolte in gran parte dai sedimenti, non potevano più « segnare ». Ma se non fossero state avvolte dai sedimenti probabilmente sarebbero crollate per le scosse sismiche.

Secondo alcuni studiosi l'eruzione del Monte Nuovo segna la fine del bradisismo ascendente e l'inizio del discendente, che è durato fino al 1669-70; secondo altri il bradisismo ascendente è cominciato invece solo coll'inizio del secolo xviii, e il segnale ne è stato la nuova formazione del Lago Lucrino. Se le cose stanno così, poiché si può estrapolare che all'inizio del xviii secolo la platea si trovasse a m. 1/1,50 sul livello del mare, è stato questo il limite, presumibile, dell'innalzamento massimo. Dall'estremo superiore della fascia a litodo-

mi si sarebbe dunque avuto un'innalzamento di circa m. 7,50 ⁽⁴⁾ a cui, trattandosi di un innalzamento, si deve aggiungere la correzione per l'eustatismo.

Alla fine del XVIII secolo il bradisismo discendente era evidente: verso il 1820 la platea era al livello del mare, poi la platea è stata invasa dalle acque marine; nel 1969/70 la platea si trovava a poco più di 2 metri sotto il livello del mare, ciò significa un tasso medio annuo di abbassamento di circa cm. 1,5. Rispetto all'inizio dell'era volgare, supponendo che il pavimento inferiore si trovasse in origine a quota +2, si è avuto, rispetto al livello del 1969/70, un abbassamento apparente di m. 6, che si riduce a m. 4 colla correzione per l'eustatismo.

Si impone, a questo punto, una rapida rassegna panoramica nella zona flegrea per cercarvi eventuali tracce di bradisismo, perché il fenomeno, anche se non è generale, non può esser localizzato in un punto solo. Sembra dunque che, al di là di Capo Miseno e di Capo Coroglio manchino tracce sicure di bradisismo; i ruderi romani sommersi sono numerosi, ma la causa della sommersione sembra essere l'eustatismo a cui si aggiunge la subsidenza. Il bradisismo può esser preso in considerazione, quando l'abbassamento supera i 2 metri.

La prova decisiva che si tratta di bradisismo è l'alternarsi di innalzamenti e di abbassamenti; ma questa testimonianza si aveva solo nel molo di Pozzuoli.

Il molo romano di Pozzuoli era una costruzione ad arcate, con 15 piloni di calcestruzzo, lunga 372 metri, di età augustea, restaurata da Antonino Pio. Il molo non è mai stato completamente sommerso, ma vi sono state riscontrate tracce del bradisismo, per quanto non molto evidenti. Sarebbe interessante e molto utile un raffronto critico coi dati del Serapeo, ma ciò non è possibile, perché i ruderi sono stati inglobati, all'inizio di questo secolo, nell'attuale molo di Pozzuoli; dobbiamo quindi accontentarci delle vecchie osservazioni, le quali indicavano una parziale sommersione di almeno 4 metri seguita da un sollevamento di circa 2 metri. Nella prima metà del secolo XIX i ruderi erano di nuovo in fase di abbassamento.

Lungo la riva di Pozzuoli sono abbondanti i resti di opere marittime o costiere, a breve distanza dalla costa, sommerse, ma non si ha nessuna testimonianza di una loro temporanea emersione, come invece si verifica per i resti del « Porto Claudio ».

I quartieri litoranei di Pozzuoli hanno molto risentito degli effetti del bradisismo. Il convento dei Cappuccini, già ricordato, costruito alla fine del XVII secolo sulla spiaggia a oriente del Rione Terra, è stato abbandonato dai frati nel 1858 perché il pavimento era ormai invaso dal mare e, attualmente, è tutto circondato dal mare che, intorno, aveva nel 1947 una profondità di circa 2 metri (Parascandola). La Chiesa di S. Maria delle Grazie, in prossimità della banchina, fondata all'epoca dell'eruzione del Monte Nuovo, aveva, nel 1858, il pavimento allagato: questo, mediante colmata, fu perciò rialzato di 4 metri e la chiesa fu dotata di una scalea di accesso. Nel passato dopoguerra (1918/21) le abitazioni

(4) Forse è proprio per questa misura che — partendo però da presupposti ormai insostenibili — si sono attribuiti 7 metri al sollevamento del suolo a Tripergole alla vigilia dell'eruzione di Monte Nuovo.

intorno alla chiesa e prospicienti al porto avevano ormai l'impiantito sempre invaso dal mare: fu necessaria una colmata di più di 2 metri che interrò i piani terreni, trasformò in piani terreni i primi piani delle abitazioni e coprì la scalea di accesso alla chiesa.

Anche a Nisida (Porto Pavone) e a Porto Miseno vi sono ruderi di opere marittime romane sommersi a causa, in parte, del bradisismo.

Lo studio, sistematico, del bradisismo di Baia è tutto da fare. I dati di cui disponiamo indicano una notevole sommersione rispetto all'età classica. L'attuale insenatura di Baia è in gran parte effetto del bradisismo. Ma, anche in questo caso, la testimonianza più importante sarebbe quella di un temporaneo sollevamento. Il confronto dei dati di Baia e del Serapeo completerebbe le nostre conoscenze sul bradisismo. Si potrebbero ottenere dati molto interessanti se si scavassero fino al pavimento le tre « rotonde », così come si è verificato nello scavo del Serapeo.

Ricordo infine che secondo misurazioni geodetiche dell'I.G.M., eseguite nel periodo 1905-1922, il suolo a Bagnoli si è abbassato in media di cm. 0,57 all'anno e a Fuorigrotta di cm. 0,36.

LA « CRISI DI POZZUOLI »

La cosiddetta « crisi di Pozzuoli » del 1970-72 ha permesso un'interpretazione, su basi scientifiche, del fenomeno del bradisismo flegreo e della sua connessione col vulcanismo, ma ha segnato anche il superamento del Serapeo come misuratore del bradisismo.

Il punto di partenza è stato però ancora il Serapeo. Si era constatato che il Serapeo aveva continuato, almeno fino alla metà del 1968, ad abbassarsi. Secondo calcoli più precisi il ritmo medio dell'abbassamento era di 1,3 cm. all'anno. L'ultimo livellamento di precisione, ad opera dell'I.G.M., risaliva al 1953. All'inizio del 1970 si fecero evidenti delle crepacciature su alcuni muri di sostegno nella zona urbana e poi, più o meno, in tutto l'abitato e, indipendentemente da ciò, si cominciò a dar credito a quei pescatori i quali asserivano che, mentre fino a poco tempo prima per passare colle loro barche sotto l'arco che congiunge il bacino principale del porto di Pozzuoli colla darsena dovevano rannicchiarsi, ora invece questo non era più necessario. Una misura eseguita al Serapeo il 9 febbraio 1970 (ed è stata l'ultima eseguita nel monumento) mostrò che era intervenuta una inversione nel movimento bradisismico e che, rispetto ai dati della metà del 1968, il suolo si era sollevato per più di 80 centimetri!

Ignoriamo quando sia cominciato il moto ascendente e se tra i due movimenti contrari si sia inserita, come appare verosimile, una pausa, comunque il risultato della misura produsse un immediato e vivo allarme per il timore che ciò potesse preludere a una crisi sismica e magari anche a qualche fenomeno eruttivo (come quello del Monte Nuovo) in un'area prossima a Pozzuoli. La prospettiva sembrava specialmente preoccupante per lo storico Rione Terra, di cui erano state già da tempo segnalate le precarie condizioni statiche e per il quale esistevano già piani di sgombrò graduale. In questa situazione di preallarme

bastò la registrazione di una scossa sismica il 1° marzo, sul sismografo collocato poco tempo prima nel vescovato di Pozzuoli, il cui ipocentro risultava poco a sud di Pozzuoli alla profondità di pochi chilometri, perché le autorità politiche – udito il parere dei competenti – ordinassero, a scopo precauzionale, lo sgombrò immediato e totale del Rione Terra (settemila abitanti) – salvo il vescovato – nonché di alcune singole abitazioni nel resto di Pozzuoli, gravemente lesionate dalle crepaccature.

Poiché però non si è – fortunatamente – verificata alcuna catastrofe e, in particolare, nel Rione Terra non sono seguiti crolli, il provvedimento è stato poi criticato come intempestivo, eccessivo e peggio. Bisogna tuttavia ricordare il luttuoso precedente del mancato sgombrò precauzionale di Longarone colle sue disastrose conseguenze. Sulla questione scottante di Rione Terra intendo tornare.

Il decorso della crisi di Pozzuoli è stato seguito nei suoi diversi aspetti e si è creata un'organizzazione che ha fornito un insieme di dati abbastanza completi. Innanzi tutto, per avere informazioni più precise sulle variazioni di livello del suolo, sono stati collocati quattro mareografi: a Nisida, alla capitaneria del Porto di Pozzuoli, al pontile dell'ex stabilimento Ansaldo e a Miseno, nonché tre stazioni clinometriche: al vescovato di Pozzuoli, in località La Pietra (tra Pozzuoli e Bagnoli) e al Castello di Baia. Si è rinunciato al mareografo del Serapeo che non aveva mai dato, né poteva dare, risultati soddisfacenti.

Ecco i dati forniti dai quattro mareografi, per quanto si riferisce alle variazioni di livello del suolo, dal marzo 1970 fino ai primi tre mesi del 1975. Le misure sono in centimetri.

	1970 (9 mesi)	1971	1972	1973	1974	1975 (3 mesi)
Nisida	+ 4,1	+ 4,3	+1,3	+ 0,7	—0,6	—2,7
Pozzuoli, cap. di porto	+30,3	+30,4	+2,1	—12,6	—6,0	—2,2
Pozzuoli, pontile	+30,2	+30,4	—0,5	— 9,2	—5,5	—1,7
Miseno	+ 4,0	+ 4,2	+1,3	— 0,4	—0,4	0,0

È evidente che il sollevamento è stato molto più marcato a Pozzuoli che a Nisida e a Miseno e ciò conferma la felice – per quanto non ottimale – ubicazione del Serapeo. L'integrazione dei dati altimetrici con quelli clinometrici della Stazione del Vescovato ha mostrato che il sollevamento ha interessato un'area pressapoco circolare con centro tra l'Accademia Aeronautica, La Solfatara, il Rione Terra. Il culmine non coincide col Serapeo, ma si trova appena ad est del Rione Terra, lungo Via Napoli (l'ex Corso Umberto I) in corrispondenza del n. 71. Mancano però dati per quanto riguarda i fondali marini. Il sollevamento decresceva gradualmente verso la periferia, ma era ancora sensibile a Nisida e a Miseno.

Il massimo dell'innalzamento è stato raggiunto a Pozzuoli nell'aprile del '72 (a Nisida e a Miseno nel novembre '71). Nel tratto capitaneria/pontile i mareografi hanno registrato, dal marzo 1970 all'aprile 1972, un innalzamento globale di circa cm. 62, che aggiunti ai cm. 85 di differenza di quota tra la misurazione

del 1953 dell'I.G.M. e quella del 9 febbraio del 1970, danno un'innalzamento totale di cm. 147. È possibile che l'innalzamento sia cominciato nella seconda metà del 1968 o nel 1969, comunque è presumibile che nel periodo acuto della crisi, si siano avuti, nel sollevamento, punte di mm. 3 al giorno e anche più.

È subentrata quindi una stasi di alcuni mesi e, coll'inizio del 1973, è cominciato l'abbassamento, che dura tuttora, ma che, in complesso, è meno rapido dell'innalzamento. È notevole che in questa fase si sono verificate riprese parziali periodiche dell'innalzamento (a Pozzuoli tra il settembre e il novembre 1972: cm. 1.4 e tra il luglio e l'ottobre 1973: cm. 4.0).

Sebbene la capitaneria e il pontile distino tra loro di poche centinaia di metri si è talvolta verificata, come p. es. nell'autunno 1972 e nell'inverno 1973, qualche sfasatura nelle variazioni altimetriche il che conferma che l'area flegrea è suddivisa in zolle tra loro relativamente indipendenti.

Le misure gravimetriche hanno rivelato una piccola variazione positiva nel febbraio 1970 rispetto al 1963. Del valore della gravità nel tratto tra il porto di Pozzuoli e Bacoli, successivamente (marzo 1970) si è avuta una diminuzione, poi la gravità è tornata, praticamente, al valore del 1963. Il bradisismo discendente è stato accompagnato, dal settembre 1974, da una leggera variazione positiva della gravità.

Se consideriamo il sollevamento come il carattere determinante della « crisi di Pozzuoli », questa si è conclusa, nella sua parte più « calda », nell'estate del '72, senza danni di speciale gravità alle cose, ma, purtroppo non senza qualche incidente mortale che ha colpito persone che avevano voluto tornare troppo presto nelle loro abitazioni lesionate (non nel Rione Terra!) o che sono state raggiunte da blocchi franati sulla via costiera Bagnoli-Pozzuoli, la quale era stata dichiarata intransitabile.

È stata generale l'impressione che, durante la crisi di Pozzuoli, l'attività de La Solfatara sia aumentata, per quanto riguarda l'emissione di vapore ed anch'io ho riportato la stessa impressione, ma non è stato possibile procedere ad una misura quantitativa e la variazione della quantità di vapore — se reale — può essere dipesa da cause locali e superficiali. Durante la crisi non si è riscontrata nessuna significativa variazione termica; però, dal 1974 in poi, la temperatura dei gas alla Bocca Grande, mostra una certa tendenza all'aumento: infatti è passata da 151°,6, all'inizio del 1974, a 155° alla fine del 1975.

Indagini geochimiche sono state svolte nella zona flegrea e quindi anche a La Solfatara, dall'inizio del marzo, alla metà di aprile 1970, con qualche sopralluogo posteriore, ma, a prescindere dall'interesse di tali ricerche in assoluto, i risultati avrebbero potuto essere veramente significativi se le ricerche fossero state sistematicamente condotte prima, durante e dopo la « crisi », perché, come per tutti i tipi di indagine, ciò che veramente interessa è la constatazione di eventuali variazioni. Inoltre le indagini svolte nel corso della crisi stessa si riferiscono ad un periodo troppo breve e così ignoriamo se durante la crisi siano avvenuti mutamenti significativi nella composizione di gas emessi dalla Bocca Grande.

A La Solfatara è proseguita la tendenza all'allargamento della zona della fangaia, che però si era manifestata già prima della crisi. Durante questa, per

effetto delle crepacciature del suolo, vi è stata emissione di sostanze volatili per brevi periodi anche al di fuori dell'area La Solfatara/Pisciarelli. Come mia testimonianza, rendo noto che nell'estate del '72 in corrispondenza della insaccatura del cono di Monte Nuovo si avvertiva distintamente l'odore di H_2S (ciò che invece non avveniva sulle rive del Lago Lucrino). Il fenomeno non si era mai verificato prima ed è cessato poco dopo l'estate del 1972.

Le indagini eseguite durante la crisi hanno confermato l'esistenza di fumarole sottomarine sui fondali del settore occidentale del Golfo di Pozzuoli, soprattutto nel tratto Punta dell'Epitaffio/Baia. L'attività di tali fumarole è andata aumentando dal 1970 al '74.

All'organizzazione di questa complessa rete di osservazioni hanno contribuito il C.N.R. e il Ministero dei Lavori Pubblici, ma è doveroso sottolineare l'apporto fondamentale dell'Istituto di Fisica Terrestre dell'Università di Napoli e dell'Osservatorio Vesuviano e, venendo alle persone, del nostro consocio Giuseppe Imbò e del prof. Paolo Gasparini coi collaboratori.

Un contributo essenziale alla conoscenza del bradisismo è quello fornito dalle osservazioni e dall'indagine sulla sismicità, durante e dopo la crisi, mediante apparecchiature adeguate e sistemate opportunamente. Purtroppo mancano i dati anteriori al marzo 1970.

Contrariamente a quelle previsioni pessimistiche che hanno condotto allo sgombro del Rione Terra, la sismicità, durante la crisi di Pozzuoli, non ha avuto manifestazioni di rilievo. Le scosse avvertite sono state rare e deboli e hanno interessato un'area molto ristretta. Cessato il « periodo caldo », cioè dall'estate '72 in poi, non è stata più avvertita alcuna scossa. Si è calcolato che l'energia complessiva liberata dalle scosse – avvertite o solo registrate – è stata quella di un terremoto di media intensità. Le scosse maggiori – più o meno avvertite – sono avvenute nel marzo, nell'aprile, nel novembre del '70 e nell'aprile del '71. L'attività microsismica è stata molto intensa e, senza la documentazione di questa ultima, sarebbe stato impossibile l'interpretazione della sismicità.

Dal marzo 1970 sono state dunque installate nella zona flegrea alcune stazioni sismiche: a Pozzuoli/Vescovato, alla Grotta di Cocceio/Averno e al Castello di Baia: così sono stati registrati i sismi anche di carattere locale e si sono ubicati gli epicentri e gli ipocentri. L'attività sismica è stata limitata al Golfo di Pozzuoli ed ad una ristretta fascia costiera tra Monte Olibano e Baia. Napoli non è stata interessata né dal sollevamento né dalla sismicità.

Le prime scosse registrate (marzo/novembre 1970) avevano l'ipocentro a profondità compresa tra 1 e 5 chilometri, in genere a 2 chilometri circa; gli epicentri erano in mare a breve distanza dalla costa. Dal giugno 1970 è comparso un altro tipo di scosse, caratterizzato dalla minima profondità dell'ipocentro. Gli epicentri sono andati sempre più localizzandosi nella parte occidentale del Golfo di Pozzuoli, in prevalenza nell'area prospiciente la riva tra Monte Nuovo e Bacoli. Questo tipo di microsisma ha prevalso nettamente dall'estate 1972. Il massimo delle sismicità – comprendente anche i microsismi – si è avuto tra il 1970 e il 1973. Caratteristica dei sismi è stato il loro addensamento a sciame; gli sciame di microsismi continuano tuttora, ma con tendenza a decrescere.

CONCLUSIONI GENERALI: RAPPORTI TRA BRADISISMO E VULCANISMO

Per trarre le conclusioni dall'insieme dei dati relativi alla « crisi di Pozzuoli », c'è anzitutto da riconoscere che si è trattato di un tipico fenomeno bradisismico colla sua alternanza di innalzamento e di abbassamento e che come tale, si innesta sul bradisismo flegreo, come è indicato dalla circostanza che l'area in cui i movimenti lungo la verticale sono stati maggiori, si trova a Pozzuoli. In definitiva non vi è ragione di supporre che si tratti di un fenomeno distinto dal secolare bradisismo flegreo.

La spiegazione particolare della « crisi di Pozzuoli » aiuta però a comprendere e spiegare il bradisismo flegreo.

Per spiegare la « crisi di Pozzuoli » bisogna rivolgere molta attenzione a certe situazioni generali e ai dati della sismica: cioè al tipo dei sismi, al loro raggruppamento a sciami, alla piccola profondità degli ipocentri e alla loro tendenza a salire e alla tendenza degli epicentri a spostarsi verso la parte occidentale del Golfo di Pozzuoli. È qui che, nel febbraio del 1970, si è riscontrata quella piccola variazione positiva della gravità a cui si è accennato. L'apice del bradisismo è invece sempre rimasto a Pozzuoli, poco a est del Rione Terra.

Pare anche che nella parte occidentale del Golfo di Pozzuoli vi sia stato, durante la crisi, un aumento, tra il 1970 e il 1974 dell'attività fumarolica sottomarina. Il dato sarebbe ancor più interessante se si fosse fatta su questa attività qualche osservazione prima del 1970, perché, come sempre, quello che più interessa è la variazione nel tempo. Ribadisco che nell'estate del '72 vi è stata una temporanea emissione di H_2S alla base del cono di Monte Nuovo.

Le crepacciature del suolo che a Pozzuoli hanno provocato tante lesioni edilizie (a Rione Terra meno che altrove), non avevano uno speciale significato ma erano l'effetto dell'abbassamento della falda idrica, a causa dell'innalzamento del suolo e del conseguente disseccamento del suolo stesso.

Un dato fondamentale è che in corrispondenza del Golfo di Pozzuoli la pila dei sedimenti vulcanoclastici raggiunge uno spessore molto notevole, cioè di più che 3 chilometri.

In base a questi dati e tenuto conto della natura vulcanica dei C.F. e della perdurante attività vulcanica, dimostrata fra l'altro dalle manifestazioni idrotermali e fumaroliche, è evidente che vi è un'alta probabilità che la crisi di Pozzuoli sia un fenomeno legato al vulcanismo. È vecchia l'ipotesi che il bradisismo flegreo sia una manifestazione di « fluttazione magmatica », ma il termine è tanto vago che sarebbe difficile darne una adeguata spiegazione.

Ben più precisa come significato e come spiegazione è l'attribuzione della fase ascendente — ma vedremo che anche la fase discendente trova la sua spiegazione — del bradisismo durante la crisi di Pozzuoli alla risalita di una massa magmatica allo stato di fusione, la quale però si è arrestata a pochi chilometri dalla superficie, senza dar luogo alla paventata eruzione.

La discrepanza tra l'apice del sollevamento coll'area di addensamento della massima parte dei sismi a minima profondità epicentrale si spiega ammettendo

che l'asse dell'intrusione sia subverticale e, precisamente, inclinato di circa 15° verso S.O., oppure che l'intrusione sia, nel suo complesso, verticale, ma che, nell'ultimo tratto abbia deviato leggermente verso S.O.

Ciò che interessa particolarmente è la ricerca del meccanismo per il quale l'ascesa di un magma in una massa piroclastica incoerente o eterogenea provoca un'innalzamento del suolo. È da tener presente che si dovrà trovare un meccanismo tale che, sotto l'azione della causa opposta, dia il bradisismo discendente. Infatti se il sollevamento fosse causato dalla spinta di un magma che salendo verso la superficie inarca, per ragioni puramente meccaniche, i sedimenti, non sapremmo poi come spiegare il bradisismo discendente, perché questo dovrebbe esser dovuto al ritiro della massa magmatica. Movimenti di discesa dei magmi fusi dalla zone più superficiali alle più profonde sono impossibili, e neppure si può pensare a un abbassamento dovuto a contrazione della massa magmatica in seguito alla consolidazione perché vediamo che, consolidandosi, i magmi non diminuiscono sensibilmente di volume.

Invece il modello ritenuto valido vede ancora nel sollevamento, cioè nel bradisismo ascendente, un fenomeno di origine magmatica, ma direttamente connesso colla termodinamica dei fluidi, cioè come conseguenza della diffusione del calore del magma ai fluidi che permeano tutta la massa piroclastica. Il bradisismo ascendente è dunque dovuto alla sommatoria degli effetti della dilatazione delle singole celle del sedimento poroso riempite di fluidi. Si aggiunge inoltre la azione dei fluidi che provengono dal magma e che si liberano durante il raffreddamento.

Con questo modello è perfettamente concordante il tipo di sismicità, caratterizzato da scosse, ciascuna di piccola entità, raggruppate a sciami, con restringimento progressivo, a misura che il magma sale, dell'area interessata. Il raggruppamento a sciami è caratteristico dei mezzi incoerenti e fortemente eterogenei. La massa magmatica, intrudendosi in un mezzo di tale tipo, produce tensioni termoelastiche locali, le quali, per l'eterogeneità del mezzo, impregnato d'acqua, si scaricano, prima di raggiungere valori elevati, con una serie di piccole scariche successive.

Questo modello non esige una immediata corrispondenza tra l'inizio dell'intrusione e l'evidenza del sollevamento, perché, per questa, occorre che i fenomeni termici giungano ad interessare una notevole parte della roccia sedimentaria incassante. Secondo una comunicazione privata del collega Imbò, la prima avvistaglia sismica della crisi di Pozzuoli (scossa locale con ipocentro poco profondo nel Golfo di Pozzuoli) risale a una quindicina d'anni fa, quando il bradisismo era ancora discendente e tale sarebbe rimasto per vari anni.

L'eruzione che ha portato alla formazione del Monte Nuovo è un esempio di intrusione magmatica sboccata in una eruzione, ma il rapporto col bradisismo ascendente che l'ha preceduta appare del tutto corrispondente a quanto si è dedotto per la crisi di Pozzuoli: è stata cioè l'intrusione magmatica a determinare l'inversione del movimento bradisismico sia pure con un certo ritardo. È poi perfettamente comprensibile che — avvenuta l'eruzione — il bradisismo ascendente sia durato ancora per un certo periodo (forse per più di un secolo) cioè fino a

quando continuava ad essere notevole l'apporto termico della massa magmatica che riempiva il condotto vulcanico.

Il bradisismo discendente, con questo modello, è legato al raffreddamento magmatico sceso sotto un certo limite, e comincia quando la massa magmatica diviene incapace di fornire abbastanza calore per impedire la contrazione delle cellette della roccia incassante: cioè è la manifestazione di un bilancio termico in passivo. Come significato generale dovrebbe essere collegato colla graduale estinzione, tranne temporanee riprese, del focolare vulcanico. Il bradisismo discendente sarebbe in fondo un particolare tipo di subsidenza, con una forte componente termodinamica, dovuto a costipazione di sedimenti vulcanici pervasi da fluidi in via di lento e progressivo raffreddamento. La prevalenza del bradisismo discendente dovrebbe significare che il vulcanismo flegreo è ormai in declino e avviato all'estinzione, salvo qualche sussulto sempre più raro e sempre più debole.

Che tale andamento della termica flegrea profonda non si renda evidente per quando riguarda l'idrotermalismo e l'attività fumarolica, dipende dalla circostanza che, come si è detto, le acque termali e i volatili non provengono direttamente dal magma, ma le prime dall'ebollizione di acque superficiali salate per opera di vapori del tipo di quelli de La Solfatara, e i secondi dall'ebollizione, sotto pressione, di acque profonde. Questo meccanismo stabilizza le manifestazioni termiche e quindi è il bradisismo che è il « termometro » dello stato del vulcanismo.

Si sono prospettate però anche altre spiegazioni del bradisismo che non lo colleghino così direttamente al vulcanismo, ma, francamente, ci sembrano meno attendibili.

L'ultima questione è se per la crisi di Pozzuoli siano possibili delle riprese: cioè se si può ritenere che l'intrusione si sia definitivamente arrestata. Nella situazione attuale, colla massa intrusiva ormai ferma, solo un innalzamento termico della massa magmatica potrebbe riportare al bradisismo ascendente; ma questa ripresa termica, per quanto ne sappiamo, appare impossibile. Potrebbero però aversi nuove venute magmatiche e allora, come l'intrusione del 1970 ha seguito più o meno, la via di quella del 1538, è possibile che le eventuali nuove intrusioni, avvengano anch'esse nella solita area e nella solita direzione. Si tratta però di eventualità assai incerte, così come lo è l'eventualità di esplosioni freatiche, causate, cioè, dal contatto di masse d'acqua col magma ancora caldo.

In questa situazione non c'è ragione di lasciare ancora in abbandono il Rione Terra di Pozzuoli. Questo deve essere migliorato, restaurato e poi restituito ai suoi legittimi abitanti, per lo più pescatori e marittimi e, come tali, i veri eredi delle tradizioni marittime di Puteoli emporio di Roma e parte viva e integrante del tessuto economico cittadino.

Dopo l'eruzione del 1538, durante la quale Pozzuoli fu abbandonata dai suoi abitanti, il vicerè Pietro De Toledo si preoccupò di far rientrare i profughi e di restaurare la città; inoltre approfittò dell'evento per inserire Pozzuoli nel sistema dei « punti forti » della Spagna a Napoli e dintorni, che comprendeva Castel dell'Ovo, Castelnuovo e, come novità, il palazzo vicereale, via Toledo, Castel S. Elmo, i Quartieri di Montecalvario e il Castello di Baia. Edificò infatti in Pozzuoli,

in posizione dominante, la villa fortezza tuttora esistente, che, perfettamente in vista del Castello di Baia, si inseriva molto bene nel sistema. Non si può certo negare a Don Pedro iniziativa, slancio e intelligenza; non per nulla era vicerè di Carlo V!

Ma lasciando i riferimenti storici e politici, è evidente che nella scienza vulcanologica i C.F. hanno una posizione eccezionale, non solo per la loro geologia e morfologia, ma anche per i fenomeni vulcanici – o strettamente connessi al vulcanismo – a cui hanno dato luogo in tempi storici e attuali. È una zona in cui l'interesse scientifico uguaglia quello paesistico e archeologico. Non esiste nel mondo un duplicato dei Campi Flegrei, come non esiste un'altra Napoli e neppure, nel loro genere, un'altra Pozzuoli o un'altra Baia.

Perciò in nome della cultura scientifica e umanistica vanno conservati con amore, gelosia e anche con rigore, severità e inflessibilità.

NOTA BIBLIOGRAFICA

- Per la bibliografia fino al 1945, rimando alle due monografie fondamentali.
- PARASCANDOLA A., *Il Monte Nuovo e il Lago Lucrino*, « Bollettino della Società dei Naturalisti in Napoli », vol. 55, 1944-45.
- PARASCANDOLA A., *I fenomeni bradisismici del Serapeo di Pozzuoli*. Napoli 1947.
- DIGIESI G., *Il bradisismo di Pozzuoli secondo le misure di livellazione geometrica e di precisione eseguite fino al 1953 dall'I.G.M.* « Boll. di Geodesia e Scienze affini », n. 4. 1954.
- D'ERASMO G., *A proposito di una nota del prof. Luigi Ranieri sul bradisismo del Serapeo di Pozzuoli*. « Boll. Soc. Geogr. Ital. », serie 8, vol. 6. Roma 1958.
- OLIVERI DEL CASTILLO A., *Studio del bradisismo flegreo mediante osservazioni mareografiche*. « Atti Associazione Geofisica Italiana », vol. 10. 1960.
- CORRADO G., PALUMBO A., *Osservazioni sul bradisismo flegreo*. « Boll. Soc. Natur. in Napoli », vol. 78. 1969.
- OLIVERI DEL CASTILLO A., QUAGLIARIELLO M. T., *Proposta di un meccanismo di formazione delle forme crateriche*. « Boll. Soc. Natur. in Napoli », vol. 79. 1970.
- OLIVERI DEL CASTILLO A., QUAGLIARIELLO M. T., *Sulla genesi del bradisismo flegreo*. « Atti Assoc. Geof. Ital. », 18° Convegno. 1969.
- IMBÒ G., *Inversione del bradisismo puteolano*. « Boll. Soc. Natur. in Napoli », vol. 79. 1970.
- YOKOYAMA I., *Pozzuoli Event in 1970*. Nature, n. 229, febbraio 1970.
- TAZIEFF H., *Petit discours à propos de la panique qui eut lieu à Pozzuoli à l'occasion du bradisismo flegreo*. « Stromboli » 1971.
- CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, *Relazione sui rilievi effettuati nell'area flegrea nel 1970-71, a cura di Lucio Versino*. Quaderni de « La Ricerca Scientifica », 83. 1972.
- OSSERVATORIO VESUVIANO, *Rapporto sull'andamento del bradisismo flegreo dal marzo 1970, al marzo 1973*. (dattiloscritto).
- OSSERVATORIO VESUVIANO, *Rapporto preliminare sul primo anno di sorveglianza sismica nell'area di Pozzuoli (marzo 1970-febbraio 1971) a cura di I. Guerra, A. Lo Bascio, G. Luongo, A. Nazzaro* (dattiloscritto).
- OSSERVATORIO VESUVIANO, *Rapporto sul bradisismo flegreo, marzo 1974-aprile 1975*.
- IMBÒ G., *Osservazioni impostemi da alcune ripetute ma inesatte (!) affermazioni sul fenomeno bradisismico flegreo e sulle sue eventuali conseguenze*. Relazione presentata all'Accademia Pontaniana in Napoli nella seduta del 28 giugno 1973.
- CASERTANO L., OLIVERI DEL CASTILLO A., *Terremoti, bradisismo e moti del mare a Pozzuoli*. « Atti Accademia Pontaniana » Nuova Serie, vol. 23. Napoli 1974.
- PARASCANDOLA A., *Sull'attuale bradisismo puteolano*. « Le Scienze », fasc. 4, 1975.