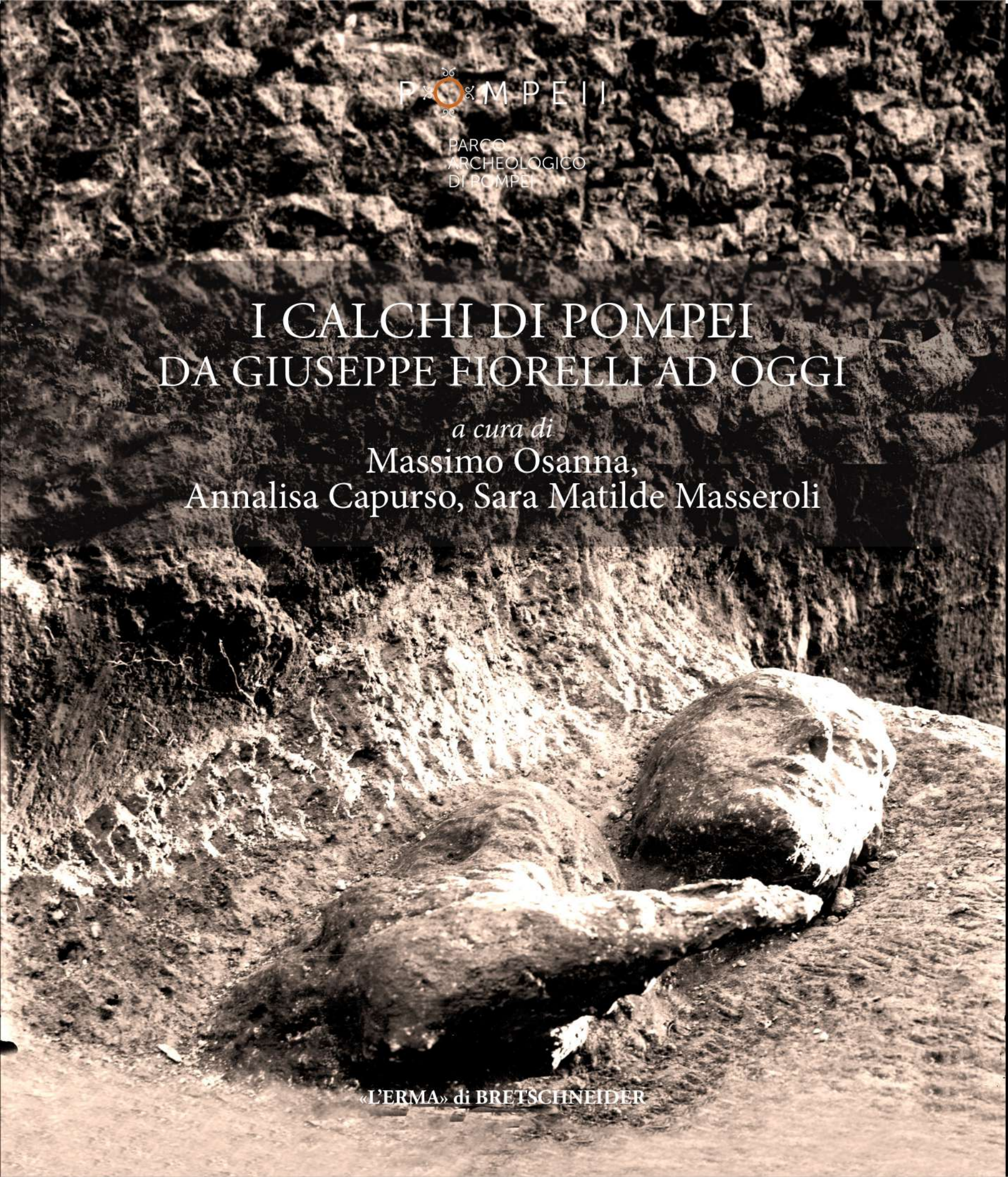




POMPEII

PARCO
ARCHEOLOGICO
DI POMPEI

I CALCHI DI POMPEI DA GIUSEPPE FIORELLI AD OGGI

a cura di
Massimo Osanna,
Annalisa Capurso, Sara Matilde Masseroli

«L'ERMA» di BRETSCHNEIDER

STUDI E RICERCHE DEL PARCO ARCHEOLOGICO DI POMPEI

46

Direttore Collana
Massimo Osanna

Ufficio Editoria
Luana Toniolo

Consiglio di Amministrazione del Parco Archeologico di Pompei

Gabriel Zuchtriegel
Marta Ragozzino
Angela Barbanente
Stefano Consiglio
Pierpaolo Forte

Comitato Scientifico Internazionale

Carmela Capaldi – Università degli Studi di Napoli Federico II
Maria Luisa Catoni – IMT Scuola Alti Studi Lucca
John Clarke – The University of Texas at Austin
Francesco De Angelis – Columbia University
Steven J. R. Ellis – University of Cincinnati
Giorgio Rocco – Politecnico di Bari
José María Luzón – Real Academia de Bellas Artes de San Fernando
Renata Picone – Università degli Studi di Napoli Federico II
Felix Pirson – German Archaeological Institute, Abteilung Istanbul
Carlo Rescigno – Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli
Christopher Smith – University of St Andrews
William Van Andringa – École Pratique des Hautes Études
Stéphane Verger – École Pratique des Hautes Études



I CALCHI DI POMPEI DA GIUSEPPE FIORELLI AD OGGI

a cura di
Massimo Osanna, Annalisa Capurso, Sara Matilde Masseroli

«L'ERMA» di BRETSCHNEIDER

Massimo Osanna, Annalisa Capurso, Sara Matilde Masseroli (a cura di)
I calchi di Pompei da Giuseppe Fiorelli ad oggi

Progetto grafico:
Alessio Gasparri

© Copyright 2021 «L'ERMA» di BRETSCHNEIDER

Via Marianna Dionigi 57	70 Enterprise Drive, Suite 2
00193, Roma - Italy	Bristol, Ct 06010 - USA
www.lerma.it	lerma@isdistribution.com

Sistemi di garanzia della qualità
UNI EN ISO 9001:2015

Sistemi di gestione ambientale
ISO 14001:2015

Tutti i diritti riservati. È vietata la riproduzione di testi e illustrazioni
senza il permesso scritto del Parco Archeologico di Pompei

In copertina:
Calco dalla casa del *Sarcerdos Amandus* (Archivio SAP).

Le foto sono da intendersi dell'autore se non diversamente indicato.

Massimo Osanna, Annalisa Capurso, Sara Matilde Masseroli
(a cura di)

I calchi di Pompei da Giuseppe Fiorelli ad oggi

ISBN: (cartaceo) 978-88-913-2116-9

ISBN: (digitale) 978-88-913-2118-3

CDD 930.1

1. Scavi archeologici - Pompei

INDICE

<i>Introduzione</i> , M. Osanna	p.	VII
I. Archeologia e vulcanologia		
<i>L'eruzione pliniana del Vesuvio del 79 d.C. Un'ipotesi interpretativa in merito alla morte dei pompeiani</i> , G. Mastrolorenzo	»	3
<i>Nuovi dati stratigrafici, tafonomici e vulcanologici dalla Regio V: il calco mancato dell'“ultimo fuggiasco”</i> , V. Amoretti, A. Martellone, A. Perrotta, C. Scarpati, T. Virtuoso	»	19
<i>Quando accadde? Le diverse ipotesi sulla data dell'eruzione del 79 d.C.</i> , M. Borgongino, G. Stefani	»	29
<i>Le impronte della morte. L'invenzione dei calchi dei pompeiani</i> , M. Osanna	»	45
<i>I calchi delle vittime trovate tra gli anni Trenta e Sessanta del Novecento. L'umana tragedia in quell'immane catastrofe</i> , A. Capurso	»	67
<i>I calchi recenti, dagli anni Settanta del Novecento al 2002. Una fedele istantanea di una immane tragedia</i> , S.M. Masseroli	»	99
<i>I calchi di Boscoreale</i> , A. Capurso, S.M. Masseroli	»	117
<i>I nuovi calchi di Civita Giuliana</i> , M. Osanna, V. Amoretti, F. Coletti	»	129
<i>Non solamente oggetti ma storie. I reperti associati ai calchi</i> , A. Capurso, S.M. Masseroli	»	149
<i>I calchi per lo studio della cultura tessile a Pompei</i> , F. Coletti, M. Galli, S. Mitschke	»	161
II. Indagini diagnostiche e restauro		
<i>CT scans and X-ray analysis of the Casts</i> , E. Lazer, R. Canigliula, D. Vu, A. Middleton, S. Luyck, G. Babino, K. Welch	»	203
<i>Studio antropologico dei calchi da Porta Nola</i> , L. Alapont Martin, R. Albiach Descals, S. Kay	»	225
<i>Analisi antropologico molecolari sui calchi di Pompei</i> , E. Pilli, M. Lari, F. Ametrano, S. Vai, A. Modi, D. Caramelli	»	235
<i>Corpi umani come capsule del tempo</i> , P.P. Petrone	»	241

<i>L'intervento di restauro nell'ambito del Grande Progetto Pompei,</i> S. Giudice, G. Napoli, M. Valentini	»	253
<i>Rilievo laserscanner e copie in 3D, G. Quaranta</i>	»	269

III. L'esposizione

<i>La musealizzazione dei calchi prima del Grande Progetto Pompei,</i> P. Bucciero, A. Capurso, S.M. Masseroli	»	275
<i>Per un'etica dei resti umani, V. Amoretti</i>	»	297

Catalogo dei calchi

<i>Premessa al catalogo, A. Capurso, S.M. Masseroli</i>	»	309
1. <i>I calchi</i>	»	313
2. <i>I calchi dispersi</i>	»	541
 <i>Profilo autori</i>	»	558

INTRODUZIONE

Massimo Osanna

Nell'ambito del Grande Progetto Pompei, oltre alle improcrastinabili attività di documentazione e messa in sicurezza delle strutture della città antica nonché al restauro di numerosi edifici, è stato intrapreso anche un sistematico lavoro di ricognizione, catalogazione e studio dei manufatti conservati nei vari depositi distribuiti all'interno del Parco Archeologico e in numerose *domus*, utilizzate come provvisori magazzini. L'attenzione agli oggetti, alla loro materialità, alla loro biografia, non poteva non includere i famosi calchi delle vittime, una "collezione" unica che, strano a dirsi, nonostante celeberrima, non era mai stata oggetto di uno studio sistematico.

Il progetto intrapreso nel 2014 è stato preliminarmente indirizzato ad un intervento di restauro. I calchi infatti, a parte singoli interventi di restauro avvenuti in occasioni (non documentate) in cui erano stati oggetto di traumi, non erano mai stati interessati da un progetto sistematico che partisse dalla loro materialità. Non era noto neppure il numero esatto dei calchi realizzati e preservatisi sino ai nostri giorni. La maggior parte degli studi si era limitata ad un approccio meramente bibliografico che non teneva conto di tutto il potenziale informativo insito in questa straordinaria "collezione". Ovviamente per procedere al restauro si è innanzitutto portato avanti un complessivo censimento di tutti i calchi e frammenti di calchi distribuiti in maniera poco coerente all'interno degli spazi fruibili del parco o in depositi più o meno organizzati. Parallelamente è stata effettuata una sistematica ricerca di archivio in modo da reperire quanto disponibile di una documentazione mai raccolta in maniera sistematica.

Una volta terminata la complessa ricognizione e raccolto tutto il materiale documentario disponibile si è proceduto a elaborare il progetto di restauro che ha interessato tutti i calchi reperiti, considerandone stato di conservazione, dinamiche di degrado, analisi osteologica e della composizione del materiale usato per realizzare la forma. Come era prevedibile, le scoperte e le nuove acquisizioni sono state numerose. I dati riguardano tanto la biografia delle vittime (grazie alle radiografie effettuate e alle analisi del DNA), il loro aspetto, *status*, salute, ecc. fino alle dinamiche della morte; quanto la tecnica di realizzazione dei calchi, le variazioni nella composizione del gesso utilizzato,

il trattamento riservato alle ossa al momento della creazione della forma.

Dati interessantissimi vengono ad esempio dall'analisi del materiale impiegato nella realizzazione, soprattutto se considerato nella diacronia, nella lunga durata della pratica, tra 1863 e oggi. Non siamo di fronte ad una evoluzione e un progressivo perfezionamento della tecnica, quanto piuttosto al contrario: i calchi del XIX secolo sono generalmente migliori di quelli del XX secolo, e in particolare di quelli realizzati nel dopoguerra. I materiali utilizzati erano migliori: si passa da un alabastro di notevole qualità e particolarmente puro dei primi calchi ad una composizione che conosce l'impiego della scagliola prodotta industrialmente, a partire dallo scorcio dell'800. Materiale assai più economico e scadente verrà progressivamente utilizzato e in particolare nel dopoguerra, dando vita a realizzazioni decisamente meno plastiche e rispondenti all'originaria impronta lasciata nella cenere indurita: il gesso edilizio di bassa qualità fa perdere infatti fedeltà all'impronta, che in più casi risulta rimodellata. Negli anni '80 del XX secolo si utilizzerà infine anche il cemento, facendo seguito ad un impiego pervasivo della materia nelle pratiche di cantiere: si realizzano così manufatti assai pesanti e allo stesso tempo più fragili.

Il presente volume rappresenta dunque la prima disamina complessiva e sistematica dei calchi pompeiani, di cui è ora possibile seguirne le vicende a partire dalla prima scoperta avventurosa e singolare, e per tutta la loro storia scandita da peregrinazioni da un luogo all'altro, tra disastri bellici, scomparse e riapparizioni, che si svolge nel corso della "seconda vita" di Pompei, tra l'inverno 1863 ed oggi.

Come ormai consuetudine consolidata a Pompei, si è deciso di intraprendere un progetto di edizione che rispondesse all'approccio utilizzato nel corso della ricerca e del restauro, ossia una raccolta di saggi multidisciplinare, coinvolgendo nel lavoro archeologi, antropologi fisici, vulcanologi, archeobotanici, archeozoologi, restauratori, architetti, informatici, radiologi, medici, nella consapevolezza che una materia così complessa non potesse che essere approcciata con un *team* di specialisti di diversi settori disciplinari invitati a dialogare costantemente sui vari

aspetti che le rinnovate analisi e gli interventi di restauro portavano alla ribalta.

Il Grande Progetto Pompei ha rappresentato l'avvio di un generale ripensamento dei modelli di gestione e fruizione del sito archeologico. È stata tracciata una strada finalizzata ad individuare le metodologie e le attività necessarie per procedere al passaggio dalla straordinarietà a un'attività conservativa costante e programmata. Il monitoraggio del sito e la sua manutenzione rappresentano condizioni imprescindibili per la sua tutela, e questa andrà perseguita sistematicamente nei prossimi anni, ma al contempo bisogna continuare con la ricerca sistematica. Riteniamo che questo rappresenti una condizione im-

prescindibile per la trasmissione di un inestimabile patrimonio alle future generazioni. Per fare questo non è possibile tralasciare aspetti fondamentali come la ricerca, l'approfondimento della conoscenza, la sperimentazione delle tecnologie di intervento, e *last but not least* la comunicazione e la divulgazione dei saperi e delle conoscenze. Con questo lavoro sui calchi si assolve ad un debito scientifico fondamentale. Quello che resta da fare è definirne luogo di deposito e esposizione permanente, che risponda alle esigenze di conservazione di un patrimonio tanto importante quanto fragile.

Roma, 19 luglio 2021

I

ARCHEOLOGIA E VULCANOLOGIA



L'ERUZIONE PLINIANA DEL VESUVIO DEL 79 D.C.

UN'IPOTESI INTERPRETATIVA IN MERITO ALLA MORTE DEI POMPEIANI

Giuseppe Mastrolorenzo

INTRODUZIONE

Il Vesuvio è divenuto il vulcano più noto al mondo (fig. 1), lo stereotipo del vulcano, proprio a seguito della scoperta delle città romane di Pompei, Ercolano e Stabia, sepolte dalla cenere e dai lapilli prodotti dall'eruzione del 79 d.C.

Per la scarsissima documentazione storica disponibile su questa eruzione, descritta esclusivamente nelle due lettere di Plinio il Giovane a Tacito, l'evento aveva destato solo un modesto interesse da parte dei contemporanei e nei secoli successivi, fino ai primi ritrovamenti archeologici del XVIII secolo. Da allora, e con il progredire dei rinvenimenti, le ricerche archeologiche e naturalistiche sull'eruzione vanno di pari passo con il miglioramento delle tecniche di scavo e di indagine scientifica; in un periodo storico nel quale sia l'archeologia, sia la geologia iniziano a delinearsi come specifici ambiti di ricerca, e la diffusione delle conoscenze diventa sempre più tempestiva su scala mondiale.

Nella comprensione della catastrofe è possibile individuare alcuni momenti distinti.

Per i contemporanei, e nel corso dei secoli successivi all'evento e fino alla riscoperta delle città sepolte, la percezione della reale natura della fenomenologia vulcanica e della sua entità era certamente molto vaga. Ciò a causa della quasi assoluta assenza di conoscenze scientifiche, e di esperienze dirette di eventi simili. Al più, per immaginare i fenomeni responsabili della totale devastazione del territorio vesuviano si poteva fare riferimento ad altre eruzioni, molto più modeste, di vulcani in aree popolate, quali l'Etna, le isole Eolie, o lo stesso Vesuvio, per altro poco attivo almeno dall'età tardo-antica al 1631, quando si verificherà una eruzione sub-pliniana che inaugurerà un periodo di frequente attività eruttiva che continuerà fino all'ultima eruzione del marzo 1944. Pertanto, la percezione della catastrofe narrata da Plinio il Giovane doveva risultare perlomeno confusa.

Successivamente, con la riscoperta delle città sepolte da spessori di ceneri, lapilli e tufi, di metri o decine di metri, si percepiva, per la prima volta nella storia, quale potesse essere la reale entità di una catastrofe vulcanica.

Ma, in realtà, eruzioni esplosive analoghe, o anche maggiori rispetto a quella del 79 d.C., sono comuni nella storia geologica dei vulcani esplosivi a livello planetario e sono documentate anche nella stratigrafia relativamente recente degli ultimi millenni.

Tali catastrofi, pur frequenti sulla scala dei tempi geologici, sono raramente avvenute in aree popolate o comunque in tempi storici.

Ma proprio tra il XIX e l'inizio del XX secolo, eruzioni esplosive catastrofiche, quale quella del Tambora nel 1815, del KraKatoa nel 1883, in Indonesia, della montagna Pelee nella Martinica nel 1902, rivelano drammaticamente, e con ampia diffusione mediatica, le fenomenologie fisiche, la portata e le conseguenze sugli insediamenti umani e sull'ambiente, di violente eruzioni esplosive.

Solo dall'esperienza di tali eventi osservati e documentati direttamente, si cominciava a comprendere in modo più chiaro la catastrofe del 79 d.C., per semplice analogia con disastri più recenti.

Ma, ancora fino agli inizi degli anni settanta del secolo scorso, a fronte dei notevoli progressi nelle scienze geologiche, non sono ancora chiari i reali meccanismi eruttivi e deposizionali delle eruzioni pliniane pertanto l'interpretazione della stratigrafia vulcanica dell'eruzione del 79 d.C. resta ancora vaga e controversa.

Solo con i nuovi modelli vulcanologici sviluppati nel corso degli anni '80 e '90, sulla base di studi di eruzioni, quali ad esempio quella del Mount St. Helens nello Stato di Washington nel 1980, o quella del Pinatubo nelle Filippine nel 1991, nonché, di simulazioni fisiche e numeriche, si poteva pervenire finalmente a una definizione più rigorosa e quantitativa dei mec-



Fig. 1. Il cratere del Vesuvio dall'alto. L'area craterica è costituita dalle sequenze eruttive più recenti del complesso vulcanico del Somma-Vesuvio, ed in particolare da colate laviche e depositi piroclastici prodotti nel corso degli ultimi secoli di attività mista, effusiva ed esplosiva, del Vesuvio.

canismi associati alle diverse fenomenologie ricorrenti nelle eruzioni esplosive in generale, e pliniane più specificamente.

Ancora più recente, e riconducibili a ricerche svolte a partire da meno di un ventennio, è la comprensione degli effetti sulle strutture, sulle persone e sugli animali, della catastrofe del Vesuvio, drammaticamente confermata da analoghe fenomenologie, da eruzioni disastrose recenti, quale quella del Monserrat nel 1997 nelle Antille e del Merapi a Giava nel 2010.

Congiuntamente alle conoscenze acquisite dallo studio diretto di eruzioni recenti, con potenti mezzi di indagine, le ricerche sull'eruzione di Pompei e sulle altre catastrofi del Vesuvio avvenute millenni prima, hanno una determinante ricaduta in termini di valutazione di pericolosità vulcanica e di rischio a livello mondiale. Questo, in particolare, nell'area napoletana, abitata da oltre 3 milioni di persone, che in qualsiasi momento ed anche con preavviso solo modesto potrebbero essere esposti a una nuova catastrofe.

L'ERUZIONE

Proprio in riferimento all'eruzione del Vesuvio del 79 d.C., con il termine "pliniana" in vulcanologia si indicano eruzioni esplosive caratterizzate dallo sviluppo di colonne convettive sostenute, di gas e materiale piroclastico, che raggiungono quote strato-

sferiche e producono dispersione di cenere e lapilli su aree di migliaia di chilometri quadrati.

In questa categoria di eruzioni, volumi di magma, dell'ordine di qualche miliardo di metri cubi, vengono espulsi dal condotto vulcanico in eventi della durata compresa fra qualche ora e qualche decina di ore a flussi di massa, valutabili da decine a centinaia di migliaia di tonnellate al secondo.

A fronte di queste caratteristiche comuni a molte eruzioni avvenute nella storia geologica di vulcani esplosivi studiati a livello planetario, nell'ambito di una singola eruzione, si possono osservare diverse e peculiari fenomenologie.

Tra le più ricorrenti, sono documentate, transizioni da condizioni di colonna convettiva sostenuta a fasi di collasso della colonna.

Conseguenza di queste transizioni è il passaggio da fenomenologia di trasporto atmosferico del materiale piroclastico ad opera dei venti dominanti e deposizione per caduta (*fallout*) a trasporto per flusso gravitativo (*pyroclastic flow* e *pyroclastic surge*). Queste transizioni si riflettono in differenze sostanziali nella struttura e tessitura dei depositi piroclastici accumulati al suolo dalle diverse fasi dell'eruzioni.

Nel corso degli ultimi decenni, attraverso l'osservazione diretta di eruzioni e ricerche sui processi di trasporto e deposizione, anche utilizzando simulazioni in laboratorio e modellistica numerica è stata acquisita una adeguata conoscenza sulle correlazioni tra meccanismi eruttivi e deposizionali e caratteristiche dei depositi. In tal modo, dall'analisi delle sequenze stratigrafiche è possibile non solo definire la fenomenologia eruttiva, ma anche ricavare i valori di alcuni parametri che controllano le condizioni fisiche e chimico-fisiche, relative alle diverse fasi del processo eruttivo e deposizionale.

Utilizzando tali approcci, diversi gruppi di ricerca hanno raggiunto risultati in gran parte concordanti sulla successione dei meccanismi eruttivi e degli eventi nel corso dell'eruzione del 79 d.C.¹ e hanno fornito uno schema di riferimento per le unità eruttive e deposizionali, nonché delle loro correlazioni stratigrafiche, che può essere considerato ancora valido anche alla luce delle successive ricerche e dello studio di nuovi scavi.

La sezione di Oplonti (fig. 2) può essere considerata tra le più complete della formazione piroclastica del 79 d.C. La colonna stratigrafica (fig. 3) tracciata da Sigurdsson riporta tutte le unità deposizionali principali corrispondenti alle diverse fasi dell'eruzione, caratterizzate da differenti processi di trasporto e di deposizione del materiale piroclastico.

In estrema sintesi, l'integrazione tra le stratigrafie rivelate, nei siti di Ercolano, Oplonti, Pompei, Boscoreale e Stabia, evidenzia come la sequenza eruttiva del 79 d.C. comprenda una prima fase associata ad una colonna sostenuta convettiva di

¹ SIGURDSSON *et al.* 1985.



Fig. 2. Sezione stratigrafica dell'affioramento della formazione dell'eruzione del 79 A.D. sulla parete nord dello scavo archeologico della villa A di Oplonti. La sequenza esposta è tra le più complete e rappresentative delle diverse unità deposizionali dell'eruzione. Dalla sezione, tuttavia, non sono rilevabili eventuali, possibili stasi dell'attività eruttiva, tra le diverse fasi.

cenere e gas (colonna pliniana), responsabile del trasporto e della deposizione al suolo di lapilli, prima bianchi e poi grigi per uno spessore che nell'area di Pompei è dell'ordine di circa due metri e mezzo. Questa è seguita da una seconda fase di alternanza fra brevi episodi di colonna sostenuta e di collasso, responsabile della deposizione di flussi gravitativi (*pyroclastic flow-pyroclastic surge*), che nella sezione tipo Oplonti consiste in 6 unità cineritiche da *pyroclastic surge* alternate a livelli di lapilli. La sequenza eruttiva generale è registrata da successioni stratigrafiche differenti nei vari siti studiati in relazione alla loro posizione rispetto al centro eruttivo. Le differenze più evidenti, riguardano il sito di Ercolano posto a sud-ovest, rispetto al probabile centro eruttivo del 79 d.C. (corrispondente verosimilmente all'area attualmente occupata dal Grancono del Vesuvio).

A Ercolano, infatti, risultano praticamente assenti i depositi prodotti dalla prima fase eruttiva e costituiti dalle pomice bianche e grigie, mentre sono enormemente sviluppati i depositi prodotti dalla seconda fase, costituiti dall'alternanza di 6 unità da *pyroclastic surge* e altrettante unità da *pyroclastic flow*.

Tale principale diversità tra i siti è dovuta alle diverse modalità eruttive e deposizionali tra la prima e la seconda fase dell'eruzione. Infatti, la distribuzione areale delle unità di lapilli pomice bianchi e grigi in un vasto settore a sud-est del Somma-Vesuvio, tracciata da Sigurdsson e riportata in fig. 4, è il risultato della deposizione, per effetto di venti dominanti provenienti dal quadrante nord-occidentale, del materiale piroclastico disperso da una colonna convettiva soste-

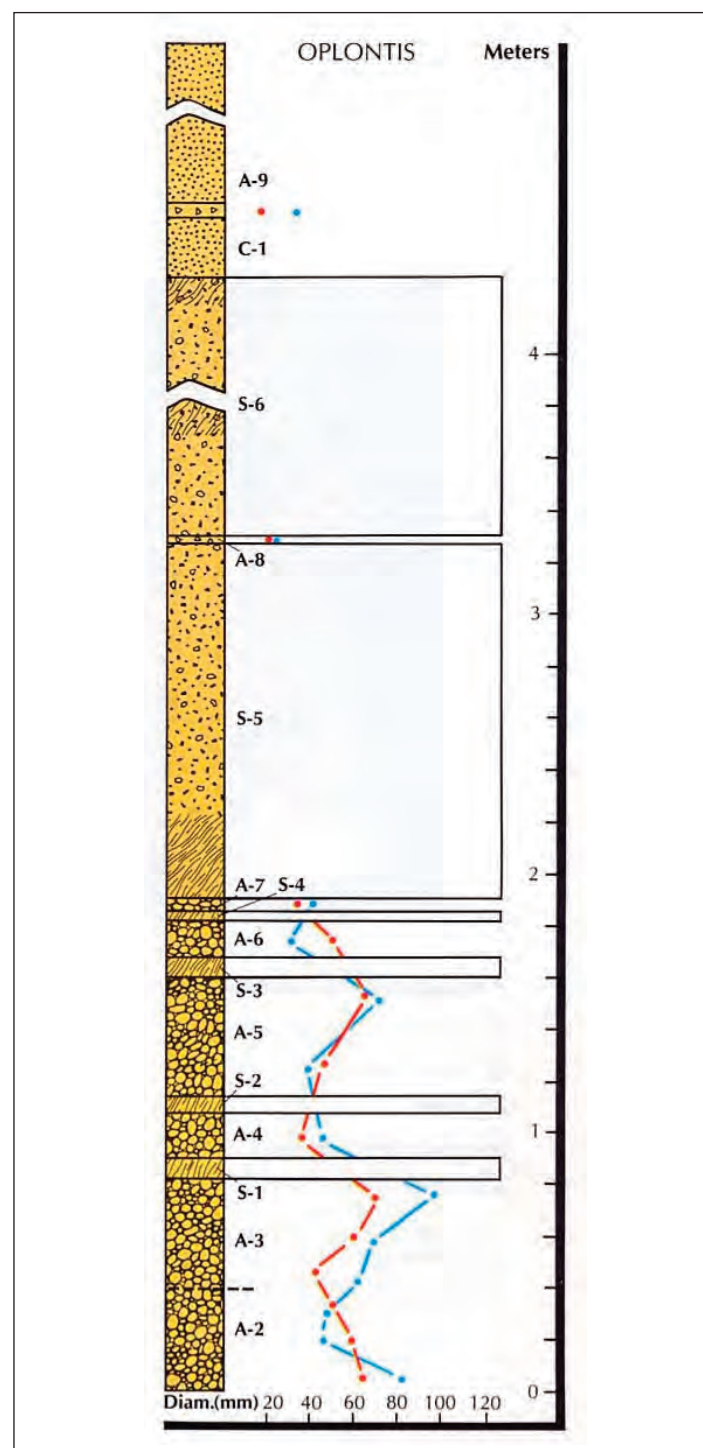


Fig. 3. Schema stratigrafico della sezione di Oplonti riportata in fig 2. In particolare, sono evidenziati i depositi della sequenza basale di pomice bianche e grigie da caduta (A-2, A-3) e della successiva alternanza di depositi da *pyroclastic surge* (da S-1 a S-6) e minori livelli di pomice da caduta (da A-4 ad A-9) (da SIGURDSSON *et al.* 1985).

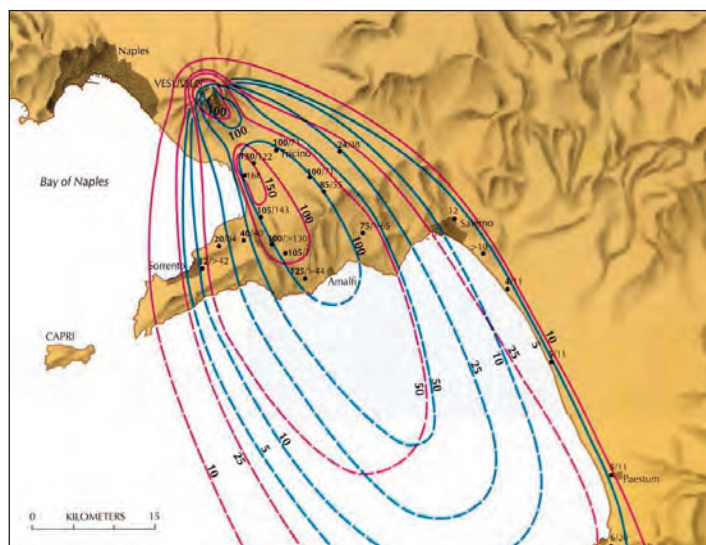


Fig. 4. Mappa delle isopache (curve di eguale spessore) dei depositi da caduta dell'eruzione del 79 A.D. (linee rosse per le pomici grigie e blu per le pomici bianche) (da SIGURDSSON *et al.* 1985).

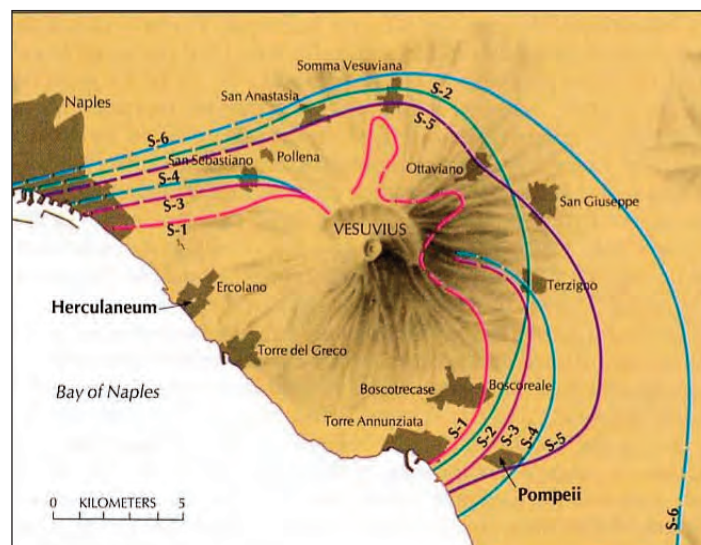


Fig. 5. Mappa dei limiti di distribuzione areale dei diversi depositi da *pyroclastic surge*. L'andamento regolare e grossolanamente semicircolare dei limiti dei depositi, indica l'espansione radiale delle nubi turbolente a bassa densità dall'area eruttiva verso le pianure circostanti. Tale comportamento è il risultato del collasso ripetuto di una colonna eruttiva. (da SIGURDSSON *et al.* 1985).

nuta (stabile per diverse ore), che, nella fase di massimo sviluppo verticale, raggiungeva quote anche superiori ai 30 chilometri, nella stratosfera.

Contrariamente, la seconda fase dell'eruzione che dava luogo alla formazione di flussi piroclastici era il risultato di collassi ripetuti della colonna eruttiva sull'apparato vulcanico, che generavano fronti radiali di correnti gravitative (simili a valanghe), costituite da misture di materiale piroclastico e gas ad alta temperatura, che avanzavano sotto l'effetto della morfologia dei pendii. I depositi risultanti da *pyroclastic surge* e *pyroclastic flow*, ricchi di materiale cineritico ricoprivano più omogeneamente i diversi settori intorno al vulcano, come evidenziato da Sigurdsson nella mappa riportata in fig. 5.

Relativamente a questi ultimi fenomeni, la città di Ercolano era particolarmente esposta, trovandosi a minore distanza, rispetto al centro eruttivo, e sulla costa, al termine dell'acclive pendio del Vulcano. Di contro, essendo orientata oltre 90° ad ovest, rispetto all'asse di dispersione dei depositi da caduta prodotti nella prima fase dell'eruzione era praticamente fuori dalla zona di deposizione dei lapilli da caduta.

Per tale motivo, gli abitanti della città di Ercolano, per la durata di almeno 12 ore della prima fase eruttiva, non subivano alcun effetto diretto dall'evento (fatta eccezione verosimilmente per l'attività sismica e per il fragore prodotto dalla colonna eruttiva). Mentre i circa 300 individui ancora presenti ad Ercolano al momento del passaggio del primo *surge* piroclastico persero la vita all'istante, a causa dell'elevata temperatura².

Nel corso degli ultimi decenni, utilizzando diversi approcci analitici, sono stati ricavati alcuni parametri fisici rilevanti delle diverse fasi dell'eruzione. In particolare, dall'applicazione di modelli fisici relativi alla dinamica delle colonne pliniane, si è valutato che nel corso della prima fase da colonna sostenuta, il raggio del condotto eruttivo variava da meno di 100 metri a circa 150 metri, mentre la velocità di uscita del materiale piroclastico oscillava fra i 300 e 400 metri al secondo, con flussi di massa dell'ordine di qualche centinaio di milioni di chilogrammi al secondo³.

Da analisi dei depositi da "*pyroclastic surge*" ad Ercolano⁴, Valentine deduce velocità iniziali comprese tra qualche decina di metri al secondo e circa 200 metri al secondo per il primo e

² MASTROLORENZO *et al.* 2001.

³ SIGURDSSON *et al.* 1985 e CAREY - SIGURDSSON 1987.

⁴ VALENTINE 1998.

il secondo *surge* rispettivamente, con densità dell'ordine delle decine di chilogrammi per metro cubo. Relativamente alle temperature di deposizione del materiale piroclastico, va osservato come i lapilli pomicei della prima fase dell'eruzione, dovevano raggiungere il suolo a temperatura prossima a quella ambientale essendo le velocità di caduta (comprese fra metri e decine di metri al secondo), tali da garantire condizioni di quasi equilibrio termico tra le particelle e l'atmosfera.

Diverse considerazioni riguardano i depositi da flusso piroclastico, prodotti dal collasso delle colonne eruttive e dalla propagazione sui pendii, di misture di gas e particelle con capacità di mantenere elevate temperature fino a distanze anche superiori ai 15 chilometri dal centro di emissione. Le poche determinazioni dirette delle temperature deposizionali di flussi piroclastici, attraverso metodi paleomagnetici, indicano valori nell'ordine di circa 400° centigradi⁵.

Altre valutazioni indirette, relativamente a tali parametri, sono state basate sulla analisi degli effetti delle varie fasi dell'eruzione, come sarà esposto nei successivi paragrafi.

Da tali studi stratigrafici, e utilizzando i vincoli temporali dedotti dalle lettere di Plinio il Giovane e dal calcolo dei tempi necessari alla deposizione delle unità da caduta (*fallout*), Sigurdsson traccia anche uno schema di corrispondenza tra gli eventi descritti nelle due lettere inviate a Tacito e gli eventi eruttivi individuati dall'analisi della sequenza stratigrafica della formazione vulcanica.

Ovviamente, tali comparazioni sono dipendenti dall'attendibilità dei vincoli temporali deducibili dalle lettere di Plinio il Giovane. Ma a tale proposito, va notato come la stessa data dell'eruzione sia fortemente dubbia, in base alle recenti ricerche pubblicate⁶.

In ogni caso, da quanto riportato nella dettagliata analisi delle lettere di Plinio il Giovane, condotta da Marcello Gigante⁷, sembrerebbe che contrariamente ad altri passi del testo, quelli relativi alla descrizione delle fenomenologie vulcaniche non siano influenzati da riferimenti letterari ad autori quali Virgilio e Orazio.

In sostanza, mentre sussistono seri dubbi sulla corrispondenza alla realtà dei fatti e delle circostanze riportati da Plinio il Giovane, le descrizioni relative alle fenomenologie vulcaniche e alla loro successione appaiono ragionevolmente corrispondenti alla sequenza degli eventi dedotta dall'analisi vulcanologica della stratigrafia generale dell'eruzione.

Tale corrispondenza va ricondotta all'assoluta straordinarietà del fenomeno catastrofico osservato, in merito al quale, evidentemente non era disponibile alcun riferimento letterario a cui attingere. Infatti, nella prima lettera a Tacito, Plinio il Gio-

vane riporta dettagli sulla struttura della colonna convettiva pliniana, quale lo sviluppo verticale e la zona di espansione sommitale, e tali caratteristiche, prerogative esclusivamente di eruzioni esplosive di grande entità, non potevano essere note altrimenti che dal racconto di testimoni del disastro. Analogamente, la descrizione della pioggia di ceneri e di "... pezzi di pomice e pietre annerite e arse e spezzettate dal fuoco ...", secondo quanto riportato da Plinio il Giovane, costituisce una perfetta descrizione delle fasi di caduta e deposizione di materiale piroclastico trasportato dal vento. Una analoga perfetta corrispondenza con la realtà è la descrizione del rapido accumulo di cenere e lapilli nel cortile della dimora di Pomponiano, tale da rischiare di impedire l'uscita dalle stanze. Tali accumuli di materiale piroclastico sono stati rinvenuti comunemente a Pompei, Oplonti, Villa Regina e Stabia, quali effetto, oltre che, del rapido incremento dello spessore dei depositi da caduta nel corso dell'eruzione, anche per lo scivolamento degli strati di lapilli già accumulati sui tetti.

Anche in questo caso e viste le scarse opportunità di assistere a una grande eruzione esplosiva, la descrizione dimostra come Plinio il Giovane abbia realmente ricevuto informazioni su questa fase dell'eruzione da testimoni diretti. Infine, le "... fiamme e, annunciatore di fiamme, un odore di zolfo..." citate da Plinio il Giovane per gli istanti che precedono la fuga di coloro che si erano recati sulla spiaggia, la morte dello zio, e la descrizione del permanere dell'oscurità, benché fosse già giorno, sono compatibili con zone marginali di nubi ardenti (*pyroclastic flow-pyroclastic surge*).

Queste fenomenologie che concludono realmente l'eruzione, in accordo con l'osservazione da Miseno della propagazione di nubi scure, verso Capri e lo stesso promontorio di Miseno, sono compatibili con il quinto *pyroclastic surge*, che è il più rilevante in termini volumetrici.

Le brevi descrizioni delle fasi principali dell'evento disastroso, basate su racconti di testimoni o sulle osservazioni personali da Miseno, sono, pertanto, e per quanto ne sappiamo, la prima cronaca attendibile di un'eruzione esplosiva che oggi giustamente definiamo pliniana, o secondo una classificazione più recente, di indice di esplosività vulcanica (VEI) fissato a 5. Mentre, oltre alla questione sulla data esatta dell'eruzione, non disponiamo di alcun elemento oggettivo per accertare né l'ora di inizio dell'evento, né il giorno e l'ora della sua fine, e quindi l'effettiva durata dell'intera eruzione, dato particolarmente rilevante per la comprensione della reazione della popolazione al disastro e, ovviamente, per la ricostruzione della successione temporale degli eventi.

⁵ KENT *et al.* 1981; INCORONATO *et al.* 1997.

⁶ Si veda in questo volume il contributo di STEFANI - BORGONGINO.

⁷ GIGANTE 1989.

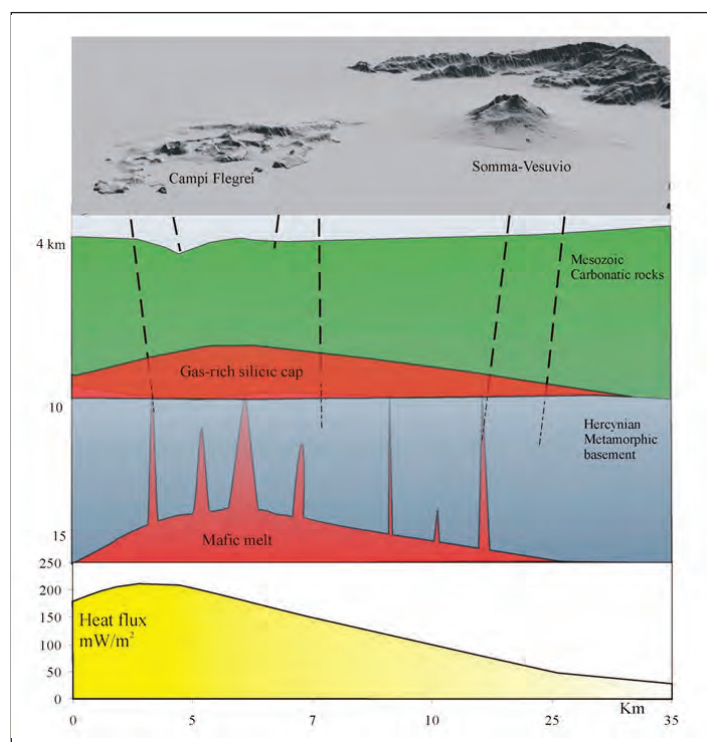


Fig. 6. Rappresentazione schematica del sistema magmatico che ha alimentato l'attività eruttiva del Somma-Vesuvio e dei Campi Flegrei nel corso dei millenni (da PAPPALARDO - MASTROLORENZO 2012).

Infatti, l'analisi della stratigrafia dei depositi vulcanici non può fornire alcuna indicazione sulla data di inizio della deposizione e in particolare sulla continuità temporale degli eventi deposizionali. In sostanza, per la prima fase dell'eruzione, associata alla deposizione dei lapilli bianchi e grigi, si può ritenere che non vi siano state interruzioni, e che quindi la pioggia di lapilli sia continuata per circa dodici ore. Infatti, qualsiasi interruzione nello sviluppo della colonna avrebbe comportato drastiche modificazioni nella gradazione e quindi nella dimensione media dei lapilli e nella sequenza deposizionale da *fallout*. Contrariamente, nella seconda fase dell'eruzione, l'alternanza di eventi da *fallout* e da *pyroclastic flow* o *pyroclastic surge*, potrebbe aver subito delle stasi, anche di ore, non rilevabili in alcun modo dall'analisi della stratigrafia. Eventuali stasi avrebbero potuto favorire l'evacuazione della popolazione prima degli eventi più disastrosi della seconda fase dell'eruzione.

Tale considerazione rivela come, benché le lettere di Plinio il Giovane contengano elementi di estremo interesse anche per

la vulcanologia, esse hanno spesso indotto ad assunzioni prive di reale fondamento gli archeologi e geologi. Prima tra tutte l'idea che analogamente a quanto narrato a proposito degli ultimi istanti di vita di Plinio il Vecchio, la principale causa di morte nell'eruzione fosse l'asfissia. Ma tale aspetto sarà affrontato in dettaglio a proposito degli effetti dell'eruzione.

MECCANISMI ERUTTIVI E DEPOSIZIONALI

Come premessa dovuta, nella descrizione dei possibili processi responsabili delle fenomenologie delle catastrofi vulcaniche, è opportuno specificare che, a fronte del notevole sviluppo dei metodi di analisi, degli aspetti teorici e dei modelli interpretativi, i processi di genesi ed evoluzione del magma e di innesco di un'eruzione restano tuttora materia di dibattito scientifico.

Negli ultimi anni, sono state pubblicate alcune ricerche sulla possibile struttura e dinamica della camera magmatica (fig. 6) con notevoli implicazioni sui meccanismi eruttivi⁸. Studi magmatologici hanno dimostrato, per la prima volta, la possibilità prima esclusa, che ad una profondità compresa tra circa 9 e circa 7 km al di sotto del Somma-Vesuvio, e di circa 6 km al di sotto dei Campi Flegrei, sia localizzata la sommità di una estesa camera magmatica, comune ai due sistemi vulcanici attivi.

Tale camera molto sviluppata orizzontalmente, è anche in accordo con i risultati delle ricerche di tomografia sismica crostale. Il magma sarebbe già differenziato, e quindi con elevata concentrazione di gas, e pronto in qualsiasi momento e senza ulteriori processi di migrazione a minore profondità a generare eventi eruttivi. Ma tale condizione si sarebbe configurata almeno da alcune decine di migliaia di anni, e pertanto doveva essere in atto anche nel 79 d.C.

Relativamente ai processi di innesco e di risalita del magma, Mastrolorenzo e Pappalardo hanno rivelato come la risalita, dalla camera verso la superficie, sia un processo relativamente rapido, controllato dall'elevato contenuto di gas in soluzione e dai processi di vescicolazione, dominati dalla rapida decompressione durante la risalita. In particolare, lo studio dei micro-liti, cristalli di piccole dimensioni che si formano durante la risalita nel condotto in molte eruzioni esplosive, compresa quella del 79 d.C., indica tempi di risalita dell'ordine di giorni, o addirittura di solo qualche decina di minuti.

Tale evidenza rivela come fenomeni precursori dell'eruzione possano verificarsi anche solo ore o giorni prima dell'evento, in accordo con i riferimenti di Plinio il Giovane a terremoti avvenuti immediatamente prima e durante l'eruzione.

⁸ MASTROLORENZO - PAPPALARDO 2006; PAPPALARDO - MASTROLORENZO 2012.

Altre evidenze sui meccanismi di risalita del magma nel condotto si possono ricavare dalle ricerche condotte da Mastrolorenzo e Pappalardo⁹ (fig. 7) sulla vescicolazione del materiale piroclastico.

Analogamente ad altre eruzioni esplosive del Somma-Vesuvio, anche quella del 79 d.C., presenta caratteri di vescicolazione in condizioni di quasi-equilibrio, con frammentazione del magma a profondità di alcune centinaia di metri al raggiungimento delle condizioni ottimali di espansione per decompressione, durante la risalita nel condotto.

Tali caratteristiche sono comuni ai prodotti della prima e della seconda fase dell'eruzione, rivelando che, le differenze nei meccanismi eruttivi e deposizionali non dipendevano da sostanziali differenze nei processi di vescicolazione e frammentazione, bensì, da instabilità nel condotto e nella colonna convettiva, verosimilmente associate a condizioni critiche di flusso, combinate con instabilità del condotto. In particolare, un fattore critico di instabilità è l'allargamento del condotto a seguito dell'erosione prodotta dalla risalita della mistura eruttiva a velocità di alcune centinaia di metri al secondo, e quindi intorno a valori supersonici.

La dipendenza delle transizioni eruttive e deposizionali, principalmente da instabilità nella colonna eruttiva, comporta che i *pyroclastic flow* e *pyroclastic surge* preservino tutto il materiale solido e buona parte del gas presente all'interno della colonna convettiva, così come l'elevata quantità di calore, dovuta all'alta temperatura di emissione (di solo qualche centinaia di gradi inferiore a quella magmatica) e una elevata velocità iniziale dovuta alla conversione dell'energia potenziale della colonna in energia cinetica a seguito del collasso. In altre parole, l'energia termica e meccanica che avrebbe consentito alla colonna eruttiva di raggiungere quote stratosferiche, viene convertita nell'energia per la propagazione, l'inglobamento di area e il trasporto di migliaia di tonnellate di materiale piroclastico al secondo, lungo i pendii del vulcano e fino a distanze anche superiori ai 15 Km. L'avanzamento dei flussi piroclastici avviene come onde transienti con fronti spessi da pochi metri a qualche centinaia di metri. All'interno di questi fronti la concentrazione di particelle diminuisce con la quota, raggiungendo, alla sommità, densità prossime a quella atmosferica.

Per tale motivo la propagazione delle nubi piroclastiche da flusso può estendersi ben oltre i limiti deducibili in base allo studio degli strati di cenere depositati lungo il percorso, infatti, come dimostrato da eruzioni di vulcani esplosivi in varie aree del Pianeta, lo studio della stratigrafia fornisce quasi sempre un quadro sottostimato dell'area realmente invasa dalle nubi piro-

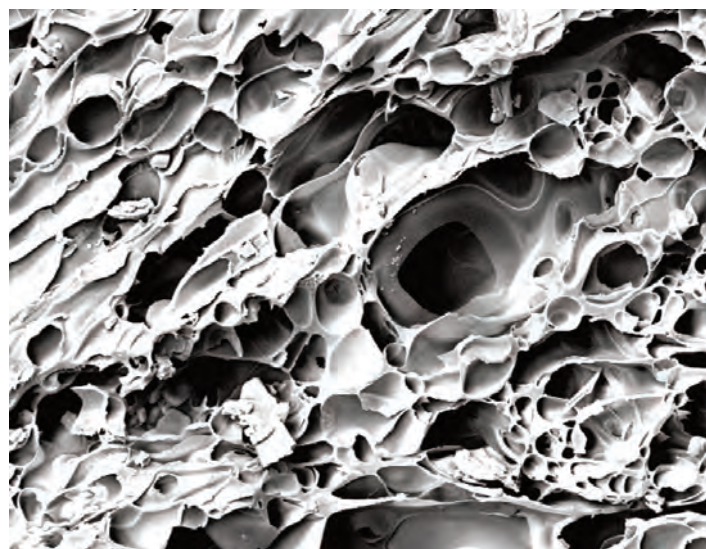


Fig. 7. Immagine al microscopio elettronico a scansione di granulo pomiceo del deposito delle pomici bianche dell'eruzione del 79 A.D. a Pompei.

clastiche. Infatti, la nube piroclastica può avanzare, lasciando al suolo solo sottili livelli di cenere che difficilmente si preservano.

Uno studio più accurato dei processi di trasporto e quindi di diffusione areale del materiale piroclastico nelle diverse fasi dell'eruzione pliniana è stato sviluppato nell'ultimo decennio attraverso la simulazione numerica.

Sulla base dei modelli fisici e delle relative formulazioni Mastrolorenzo e Pappalardo¹⁰ hanno prodotto simulazioni numeriche finalizzate a valutazioni di pericolosità.

Le mappe (fig. 8), basate su dati di *input* ricavati dallo studio stratigrafico e granulometrico dei depositi da caduta e da flusso piroclastico, rivelano come i limiti sul campo dei depositi piroclastici forniscano un quadro incompleto dell'area realmente interessata dalla deposizione e quindi dagli effetti dell'eruzione pliniana (VEI = 5, fig. 9). Di fatto, sia per quanto riguarda il trasporto eolico e la deposizione del materiale piroclastico, sia relativamente al passaggio di nubi piroclastiche, le aree interessate nelle quali si può risentire degli effetti, sono molto più estese di quelle delimitate sulla base dei ritrovamenti di depositi ancora preservati. Tale evidenza è particolarmente rilevante nella valutazione degli effetti delle diverse fasi dell'eruzione, nonché, per la delimitazione di zone a rischio per eventi futuri.

⁹ MASTROLORENZO - PAPPALARDO 2006.

¹⁰ MASTROLORENZO - PAPPALARDO 2010.

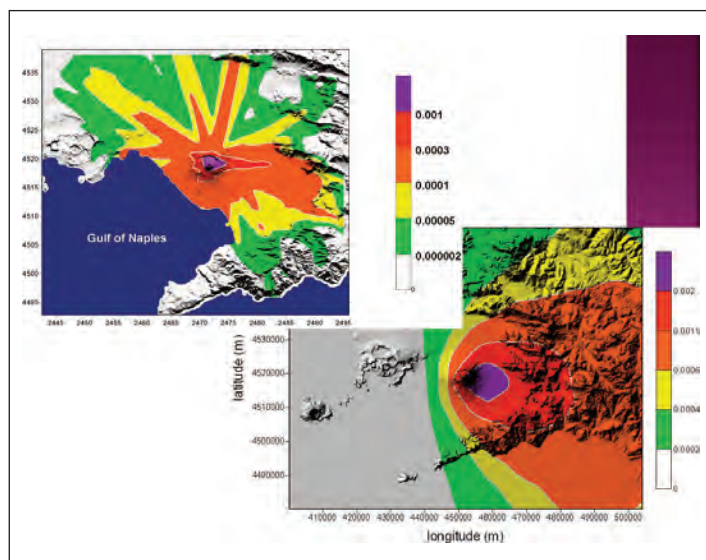


Fig. 8. Mappe di pericolosità da flussi piroclastici (PDCs) e da caduta piroclastica (*fallout*), rispettivamente a sinistra e a destra (simulazioni di Giuseppe Mastrolorenzo, modificate da MASTROLORENZO 2004, 32° International Geological Congress - Field Trip Guide Book-P67 e DE NATALE *et al.* 2006).

Inoltre, le simulazioni numeriche, adottando un ampio intervallo di valori per i parametri di *input*, forniscono scenari più generali, che risentono meno di variabili locali o temporali, quale la variazione stagionale nella velocità e nella direzione dei venti a quota troposferica e stratosferica, così come effetti locali e pseudo casuali nella propagazione di flussi piroclastici.

EFFETTI DELL'ERUZIONE

Le ricerche interdisciplinari bio-geoarcheologiche condotte dall'autore, da oltre un ventennio, sulle eruzioni esplosive del Somma-Vesuvio e sull'eruzione del 79 d.C., più in particolare, hanno rivelato la vera entità dell'impatto delle diverse fenomenologie eruttive sull'ambiente, gli insediamenti umani, gli individui e gli animali¹¹. L'obiettivo prioritario di tali ricerche è l'individuazione degli effetti della deposizione di livelli pomicei da *fallout*, nelle fasi eruttive da colonna sostenuta, e del passaggio e della deposizione di correnti piroclastiche sulle persone a varie distanze dal centro eruttivo.

Tra i primi risultati ed i più significativi è la comprensione degli effetti delle correnti piroclastiche sui 300 resti scheletrici di

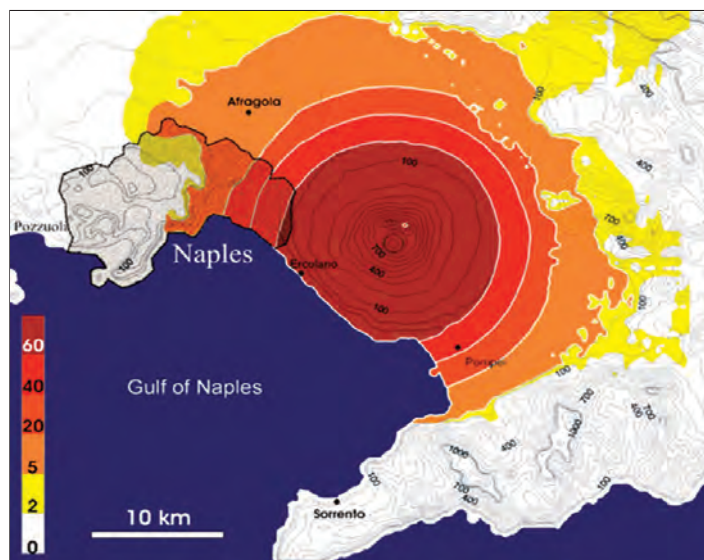


Fig. 9. Simulazione numerica di un tipico flusso piroclastico da collasso di colonna pliniana, con proprietà reologiche e dinamiche analoghe a quelle ricavate per i *pyroclastic surge* S4 ed S5 dell'eruzione del 79 A.D. (da MASTROLORENZO *et al.* 2006).

individui rinvenuti ad Ercolano agli inizi degli anni '80. Le ricerche interdisciplinari su tali eccezionali reperti¹², che saranno poi estese agli altri reperti di vittime rinvenuti nei siti di Oplonti e Pompei, partivano dalla necessità di comprendere se la morte fosse dovuta ad effetti meccanici, al soffocamento al calore o ad altre cause.

Ancora negli anni '90, infatti, nell'assenza di ricerche specifiche in merito, che avessero chiarito le cause di morte, era opinione diffusa tra vulcanologi ed archeologi che l'asfissia fosse la causa esclusiva della morte delle centinaia di individui dei quali erano stati rinvenuti i resti.

Non sono ben comprensibili le cause di tale diffusa convinzione, ma una spiegazione potrebbe essere trovata proprio nella suggestione dei passi riportati nelle lettere di Plinio il Giovane a Tacito. La narrazione della morte dello zio a seguito di gravi difficoltà respiratorie potrebbe essere stata adottata passivamente come spiegazione accettabile ed estensibile a tutte le vittime.

In tale ipotesi, Plinio il Giovane potrebbe essere "responsabile incolpevole" di un infondato assioma sulla causa di morte nell'eruzione. D'altra parte, nei passi sulla morte di Plinio il Vecchio, gli altri presenti sulla spiaggia non subivano la stessa sorte e, inoltre, si fa menzione a difficoltà respiratorie pregresse e ben note.

¹¹ MASTROLORENZO *et al.* 2001.

¹² MASTROLORENZO *et al.* 2001; MASTROLORENZO *et al.* 2010.

A ulteriore supporto alla tesi, non dimostrata, della morte per soffocamento, è probabilmente la diffusa esperienza di difficoltà respiratorie in prossimità di vulcani in attività, per effetto della elevata concentrazione di cenere sottili e gas nell'area.

Come succede in molte ricerche scientifiche, anche le ricerche guidate dall'autore¹³ sugli effetti dell'eruzione sulle persone, partono dalla semplice osservazione che la maggioranza degli scheletri e dei calchi mostrava posture naturali, di individui seduti, sdraiati sulla schiena, su un fianco o sul dorso, come immobilizzati in un istante. Molti si proteggevano il volto con le mani e, senz'altro, proprio questa postura aveva contribuito alla suggestione della spiegazione della morte per asfissia. Ma era evidente che, se le vittime erano bloccate nell'ultimo istante di vita in tale postura di autoprotezione, seppure la difficoltà respiratoria vi era stata, la causa di morte doveva essere sopraggiunta in modo istantaneo.

Analogamente, evidente era l'assenza di effetti meccanici violenti da impatto o da trascinamento nei flussi piroclastici. Tali effetti si sarebbero riflessi in posture scomposte e innaturali. Ma tali posture erano invece documentate per le vittime della prima fase dell'eruzione rivenute al di sotto di crolli di tetti e solai, principalmente nell'area di Pompei.

Al fine di risolvere il mistero delle vittime dell'eruzione del Vesuvio, la prima fase della ricerca è stata condotta sugli scheletri inglobati nel primo *pyroclastic surge* depositato sulla spiaggia di Ercolano e all'interno dei 12 fornici per il ricovero di barche (fig. 10).

Su tale contesto l'autore¹⁴ ha guidato una ricerca interdisciplinare bio-geoarcheologica per la comprensione della posizione dei resti scheletrici (fig. 11) all'interno del livello cineritico fine costituente il primo *surge*, delle loro posture, delle connessioni articolari, delle modificazioni macroscopiche e microscopiche e di tutti gli altri elementi utili per la comprensione degli effetti dell'eruzione sugli individui.

A parte qualche resto rivenuto all'interno della parte scavata della città di Ercolano, le vittime dell'area della spiaggia sono gli unici rinvenimenti e suggeriscono che gli abitanti, valutabili in alcune migliaia, avessero abbandonato la città durante la prima fase dell'eruzione, via terra e via mare. Infatti, il primo livello da *pyroclastic surge* costituisce l'inizio della seconda fase dell'eruzione caratterizzata da grande instabilità della colonna convettiva pliniana, che si traduce in una sequenza di collassi con la generazione di flussi piroclastici.

Il primo *pyroclastic surge* è proprio il primo evento che raggiunge la città di Ercolano dalla quale fino a quel momento era stato possibile seguire le precedenti dodici ore di eruzione senza subire effetti importanti, se non, verosimilmente, la dispersione



Fig. 10. Panorama dell'area della spiaggia romana di Ercolano (foto M. Osanna).

di cenere fine dalla colonna convettiva a causa delle turbolenze atmosferiche.

La diffusa connessione anatomica degli scheletri di Ercolano, la loro postura naturale con individui seduti o sdraiati, così come la preservazione in posto di oggetti anche delicati e di piccole dimensioni, indicava l'assenza di effetti da trasporto nel *surge* piroclastico, confermata da studi granulometrici che indicano bassa concentrazione di cenere all'interno delle nubi turbolente, con dimensioni medie dei granuli dell'ordine delle centinaia di micron, densità della mistura di alcuni chilogrammi per metro cubo e velocità di qualche decina di metri al secondo. Inoltre, i fornici posizionati al termine del pendio

¹³ MASTROLORENZO *et al.* 2001; MASTROLORENZO *et al.* 2010.

¹⁴ MASTROLORENZO *et al.* 2001; MASTROLORENZO *et al.* 2010.