

Sotto l'Alto Patronato del Presidente della Repubblica

Proceedings of the 2nd International Conference
ARCHAEOLOGY, VOLCANISM and REMOTE SENSING

Sorrento (Italy) 20-22 June 2001



 **DSTN** Presidenza del Consiglio dei Ministri 
Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali



Ministero per i beni e le attività culturali



**Commissione Nazionale
Italiana per l'Unesco**



**Italian National Agency for New Technology,
Energy and the Environment**

Proceedings of the 2nd International Conference
ARCHAEOLOGY, VOLCANISM AND REMOTE SENSING
Sorrento (Italy) 20-22 June 2001

Edited by Fausto Vitiello

2006 ENEA
Italian National Agency for New Technologies, Energy and the Environment
Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Rome

ISBN 88-8286-142-2

TRASFORMAZIONI TERRITORIALI LEGATE ALL'ERUZIONE DEL VESUVIO DEL 79 AD

Aldo MARTURANO, Osservatorio Vesuviano, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Napoli; Salvatore Ciro NAPPO, Antonio VARONE, Soprintendenza Archeologica di Pompei.

L'eruzione e l'attività sismica

Il 24 agosto del 79 AD comincia l'eruzione del Vesuvio che seppellirà in poche ore sotto uno spesso strato di pomici un'ampia area ellissoidale a Sud-Est del vulcano. Pompei si trova sulla direttrice di massima deposizione e in poche ore l'altezza delle pomici raggiunge i 2,5 m. Dopo un periodo di relativa calma, il mattino del giorno successivo rovinosi flussi piroclastici si abbattono sulla città ad una velocità di 80 km/h, innalzando ad oltre 4 m lo spessore dei depositi che ricoprono completamente gli edifici più bassi.

Il materiale juvenile eruttato nella disastrosa manifestazione vulcanica ammonta a circa 4 km³. Tra questa del 79 AD e la precedente eruzione di comparabile intensità, la cosiddetta eruzione delle "Pomici di Avellino" datata al XVII secolo aC¹ è stata individuata stratigraficamente un'attività interpliniana consistente².

In realtà, cosa sapevano del Vesuvio i Romani? Pur conoscendone la natura vulcanica, come esplicitamente messo in risalto in età augustea dal geografo Strabone³, tuttavia a memoria d'uomo essi non avevano notizie di manifestazioni eruttive, né potevano per altra via aver preciso sentore della sua pericolosità⁴. Di fatto dei terremoti avvenivano in zona di tanto in tanto, ma è molto dubbio che fossero messi in rapporto col vulcano e, comunque, nessuna notizia in merito è stata tramandata.

Svetonio⁵ racconta di un terremoto avvenuto nel 37 AD, in concomitanza con la morte di Tiberio, che a Capri, sede preferita dall'Imperatore, danneggia il faro. Il 5 febbraio del 62 AD un forte terremoto colpisce Pompei ed Ercolano e, meno intensamente, Napoli e Nocera. Seneca, che pur nelle *Naturales Quaestiones* se ne occupa ampiamente mostra di ignorare del tutto il potenziale nesso fra il terremoto e il vulcano, manifestando completa inconsapevolezza circa la pericolosità del Vesuvio, il che, evidentemente, doveva rispecchiare il senso comune dell'epoca⁶. A riprova di ciò, anche Plinio il Vecchio, il cui destino sarà indissolubilmente legato alla storia del Vesuvio e della vulcanologia, nella sua *Naturalis historia* della montagna cura solo la collocazione geografica e le caratteristiche agricole⁷.

¹ Vogel et alii, 1990.

² Arnò et alii, 1987; Rolandi et alii, 1998.

³ Strabone, *Geografia*, V, 4, 8.

⁴ Polara, 1997.

⁵ Svetonio, *Tiberius*, 74, 2.

⁶ Seneca, *Naturales Quaestiones*, VI, 1, 1-2.

⁷ Plinio il Vecchio, *Naturalis historia*, III, 60-62.

Il terremoto del 62 AD è certamente l'evento sismico più energetico registrato negli ultimi 2.000 anni nell'area vesuviana⁸. Se questo terremoto sia stato in connessione diretta o meno con l'eruzione di 17 anni dopo è ancora oggetto di speculazione scientifica. Sigurdsson⁹, per esempio, lo considera correlato alla tettonica regionale dell'area e troppo lontano nel tempo ai successivi eventi vulcanici per ritenerlo un reale precursore.

Recentemente però Cubellis e Marturano¹⁰ hanno dimostrato che gli effetti prodotti dal terremoto del 62 AD sono perfettamente compatibili con un terremoto vesuviano di energia medio-bassa, confermando le numerose evidenze che hanno convinto molti ricercatori a ritenere questo terremoto uno degli eventi anticipatori dell'eruzione e con essa strettamente correlati¹¹. Tra questi vanno annoverati anche quello del 64 AD, storicamente abbinato ad un'esibizione di Nerone nel teatro di Napoli¹², e una serie di eventi supportati da stringenti considerazioni su basi epigrafiche, archeologiche e storiche che individuano almeno altri due periodi di significativa attività sismica nei primi anni 70 AD e poco prima dell'eruzione¹³. La collocazione temporale va naturalmente intesa come indicativa per mancanza di diretti riscontri scritti, ma una sismicità concentrata in alcuni periodi, con punte energetiche in grado di produrre anche danneggiamenti, è perfettamente compatibile con la sismicità tipica delle aree vulcaniche.

Pompei al momento dell'eruzione era in piena ricostruzione e ferveva in essa anche un'intensa attività imprenditoriale. Numerosi rifacimenti e trasformazioni funzionali con aperture di botteghe o elevazioni erano in corso o erano state già effettuate su edifici seriamente danneggiati dal terremoto del 62 AD¹⁴; alcuni edifici, come le Terme Centrali, venivano costruiti o, come il Tempio d'Iside, ricostruiti ex novo; è stato però possibile riscontrare anche lavori di ulteriore rifacimento su parti di edifici già oggetto di restauri sicuramente connessi a fenomeni sismici, come nell'insula dei Casti Amanti¹⁵, o lavori di restauro di danni, causati da eventi sismici appena iniziati nel 79 AD¹⁶, con ogni verosimiglianza da non mettere in relazione con il terremoto del 62 AD, o danni di eguale natura di cui il restauro nel 79 AD non era nemmeno ancora iniziato¹⁷. Generalmente, tuttavia, la vita quotidiana continuava più o meno regolarmente all'interno delle mura domestiche. Anche infrastrutture esterne alle case, come strade, fosse settiche e l'intero acquedotto sono oggetto di rifacimenti che in alcuni casi bisogna immaginare anche prolungati nel tempo¹⁸.

⁸ Marturano, Rinaldis, 1995.

⁹ Sigurdsson et alii, 1985.

¹⁰ Cubellis, Marturan, 2002.

¹¹ Luongo et alii, 1993; Marturano, Rinaldis, 1998.

¹² Tacito, *Annales*, XV, 34, 1.

¹³ *Archaeologie und Sismologie*, 1995.

¹⁴ Maiuri, 1942.

¹⁵ Varone, 1995.

¹⁶ Adam, p. 73; Andreau, 1973, p. 385.

¹⁷ Andreau, 1973, pp. 385 et sequentes.

¹⁸ Varone, 1995; Nappo, 1995; Nappo, 1996.

L'ipotesi di lavoro

Una ripetuta attività sismica, dispiegatasi su un arco temporale di almeno un ventennio, con punte più energetiche tali da procurare anche danni alle strutture, è compatibile con la liberazione di energia elastica accumulata negli strati più superficiali della crosta terrestre in risposta a deformazioni causate da variazioni di pressione di sorgenti magmatiche profonde. In superficie l'entità del rigonfiamento è funzione della dimensione, forma e profondità della sorgente e dipende dalle proprietà meccaniche delle rocce. Una delle prime testimonianze di rigonfiamento pre-eruttivo è legata all'eruzione del Monte Nuovo, nei Campi Flegrei, del 1538. Infatti nel 1503 e nel 1511 due editti vicereali concedevano alla città di Pozzuoli le terre che si rendevano disponibili per l'arretramento del mare. Da allora in molte aree vulcaniche del mondo sono stati segnalati episodi di rigonfiamento (inflazione) prima di un'eruzione e di sgonfiamento (deflazione) dopo di essa¹⁹.

Nessun riscontro, invece, è stato ricercato fino ad oggi sui possibili fenomeni di deformazione superficiale che precedettero l'eruzione del 79 AD. Finalmente oggi è possibile affermare che tali fenomeni si verificarono e furono tali da influenzare tutta l'area vesuviana. Di particolare significato è anche la metodologia utilizzata. Al contrario di quanto avviene normalmente: "spiegazione scientifica che segue le evidenze di scavo", in questo caso l'ipotesi geofisica ha preceduto la verifica archeologica. Infatti, all'ipotesi che un'inflazione avesse potuto interessare l'area vesuviana, con andamento decrescente dall'apparato vulcanico verso l'esterno, è seguita la valutazione dei percorsi più favorevoli per verificare tale supposizione. Il più promettente è stato giudicato quello di ricercare indizi e prove che segnalassero difficoltà di approvvigionamento idrico a Pompei (una diminuzione della portata dell'acquedotto, o finanche una cessazione completa del rifornimento, oppure rifacimenti lungo l'acquedotto e/o delle condutture cittadine). Ciò in considerazione del fatto che Pompei era servita da un acquedotto che attraversava la Piana Campana al di là del Vesuvio e che si può ragionevolmente ritenere che un'alterazione delle pendenze intorno a tale montagna abbia dovuto senz'altro influenzare in modo più o meno marcato proprio lo scorrimento delle acque che nel loro percorso artificiale si avvicinassero al vulcano.

La conferma della carenza d'approvvigionamento idrico che afflisse Pompei negli ultimi anni della sua storia, come ora sarà evidenziato, può allora essere letta al meglio, pur tra le tante ipotesi possibili, come conseguenza diretta ed evidente di uno stato di trasformazione del suolo (inflazione) connesso a quelle manifestazioni che sarebbero poi state responsabili del fenomeno eruttivo.

¹⁹ Le deformazioni del suolo vengono oggi sistematicamente controllate su molti vulcani attivi del mondo perché ormai considerate una misura essenziale per le attività di sorveglianza e monitoraggio. Famose le deformazioni rilevate ad inizio secolo da Omori (1914) all'Usu e al Sakurazjima e da Wilson (1935) al Kilauea. Tra le aree recentemente attive i Campi Flegrei (Berrino et alii, 1984) e Long Valley (Hill, 1983) il St. Helens (Lipman, Mullineaux, 1981) che erutta nel 1980 e la caldera di Rabaul (McKee et alii, 1985) in cui si è verificata un'eruzione nel 1994.

L'approvvigionamento idrico a Pompei. Documentazione e nuovi dati

Come è noto l'impianto idrico di Pompei, alimentato dall'acquedotto del Serino²⁰, si avvaleva di un impianto di filtraggio, quale prescritto da Vitruvio²¹, nel tripartitore idrico posto a porta Vesuvio nel punto più alto della città, il *castellum aquae*²² (Fig. 1) dal quale l'acqua veniva diramata ai vari *castella plumbea* (Fig. 2) sorta di alte torrette munite di serbatoi di piombo, che servivano a farne diminuire la pressione e a spezzarne la velocità di flusso, man mano che essa procedeva verso valle. Una complessa rete di *fistulae* (Fig. 3) ossia di tubi pure di piombo, la adduceva agli impianti pubblici, principalmente terme e fontane, e anche alle utenze private, ossia case, opifici, attività commerciali varie.



Fig. 1 - Castellum aquae nei pressi di Porta Vesuvio

Le ben 43 fontane pubbliche, in particolare, servite da condotta idrica in *fistulae* denarie di piombo che correvano lungo i marciapiedi, erano singolarmente collegate con i *castella plumbea* che appunto le alimentavano, non essendosi riscontrato nessun caso in cui una *fistula* alimentasse due fontane. Esse sono generalmente inserite per parte sul marciapiede, per parte nella strada, cosa che ne consentiva un uso agevolato per le varie utenze. Solo una è posta completamente sopra il marciapiede mentre altre due, in corrispondenza della confluenza di due strade, sono disposte per intero sul selciato.

²⁰ Sgobbo, 1938, pp. 75 et sequentes; Elia, 1938, pp. 99 et sequentes; Riera, 1994, pp. 243 et sequentes, figg. pp. 242, 252, 274.

²¹ Vitruvio, *De Architectura* VIII, 6, 1-2.

²² Paribeni, 1903, pp. 25 - 31; Bernardelli, 1971, pp. 1152 et sequentes; Riera, 1994, pp.270-274.



Fig. 2 - Castellum plumbeum nell'angolo Nord-orientale dell'Insula IV-13



Fig. 3 - Fistulae in fase di smontaggio lungo Via di Nola

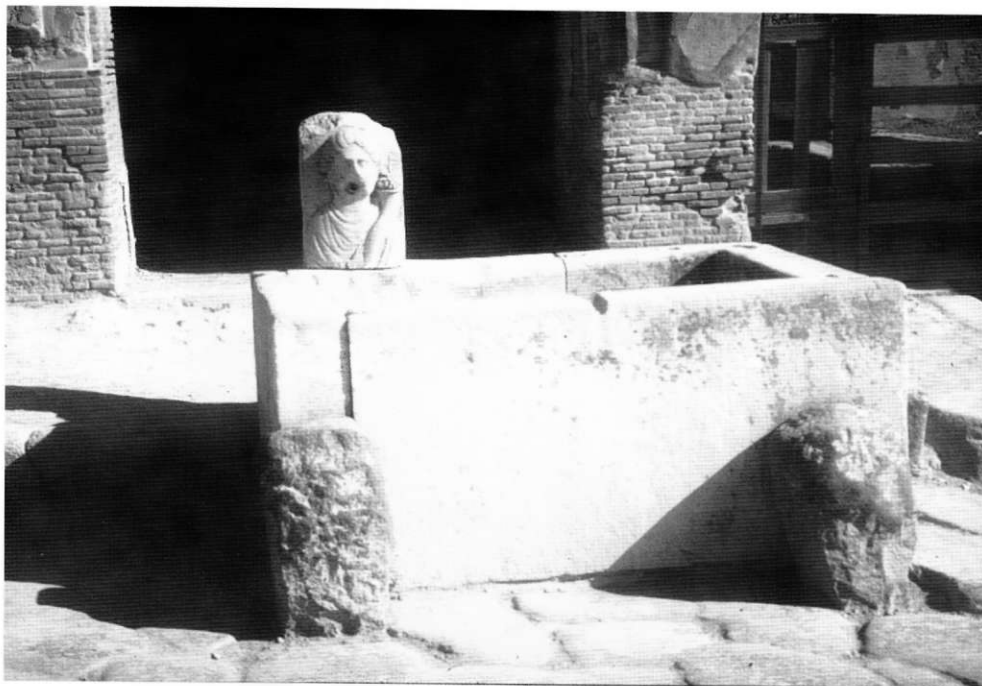


Fig. 4 - Fontana nella parte occidentale di Via dell'Abbondanza

In generale le fontane di Pompei hanno un'ampia vasca sormontata da un pilastrino, decorato con soggetti a rilievo, nel quale è posizionato il foro per la fuoriuscita della cannula, legata alla fistula che sale dal marciapiede in un alloggiamento protetto (Fig. 4).

Il fondo delle fontane presenta sempre una leggera pendenza verso il foro di deflusso dell'acqua, a sua volta posto sul lato della vasca coincidente con la pendenza della strada. Tale foro era normalmente tappato per consentire il riempimento completo del bacino e veniva aperto in occasione della manutenzione e della pulizia delle vasche.

Un secondo canale di deflusso delle acque, posto al centro sul bordo del lastrone opposto alla cannula, fungeva da troppo-pieno. Questo sistema lascia trasparire che le fontane erano continuamente alimentate e l'acqua del bacino era sempre pulita grazie proprio al sistema di tracimazione. Che le strade venissero così sempre tenute pulite dalle scorie varie eliminate dalle abitazioni grazie all'acqua fluente, che dalle fontane si riversava continuamente su di esse, è anche pienamente mostrato dal diffuso e noto sistema di passaggi pedonali su grossi basolati, reso appunto necessario dall'ovvio bisogno di transitare da un marciapiedi all'altro senza bagnarsi i piedi.

È chiaro altresì, tuttavia, che la costruzione di una tale complessa struttura di distribuzione di acque anche per usi mirati di pubblica igiene, supportata peraltro nelle dorsali strategiche anche da una rete fognaria, abbia presupposto a monte la disponibilità di una quantità d'acqua considerevole, tale appunto da giustificare la realizzazione sistematica dei passaggi pedonali (Fig. 5).

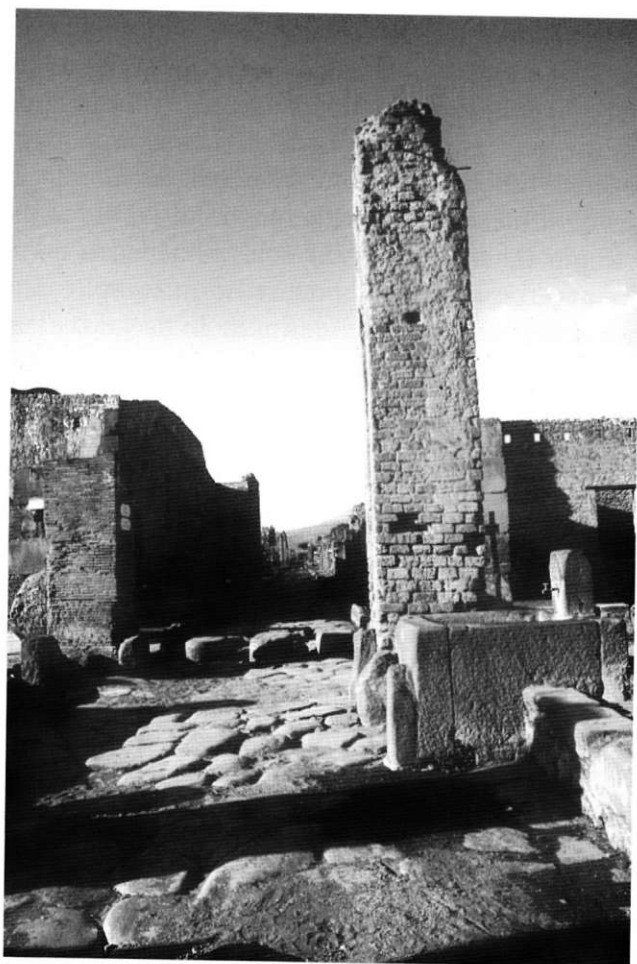


Fig. 5 - Incrocio tra Via di Stabia e Via dell'Abbondanza con fontana, castellum plumbeum e passaggi pedonali in pietra lavica

A partire da Maiuri è stato tuttavia da più autori a varie riprese sostenuto che il sistema idrico urbano nel 79 AD non era più in funzione a causa dei danni del terremoto del 62 AD e che si stava lavorando per il suo ripristino²³. Maiuri, che nel 1931 AD eseguì i lavori di posa di una nuova condotta idrica, dal nuovo serbatoio (posto nel terrapieno intramurale di Porta Vesuvio) fino ai Teatri, e scavò lungo tutti i marciapiedi occidentali prospicienti le *insulae* di Via Stabia, riferisce che era stata rinvenuta "...in alcuni tratti..." una trincea piena di lapillo non sconvolto entro la quale erano allocati due pezzi di grandi fistulae in positura originaria in corrispondenza dell'Isola degli Amorini Dorati (VI-16). Egli interpretava tale dato come prova dell'asportazione delle condotte plumbee dell'impianto idrico di età augustea perché gravemente danneggiato dal terremoto del 62 AD, riportando inoltre allo stesso fenomeno il rinvenimento nel 1903 AD di altri due frammenti di fistulae in prossimità dell'angolo Sud-Est della stessa insula ed il pezzo rinvenuto nel corpo orientale delle Terme Stabiane aggiunto su Via di Stabia²⁴, egli

²³ Maiuri, 1931, pp. 546 - 576, tav. XVII; Etienne, 1966, pp. 20-22; Andreau, 1973, pp. 369 et sequentes; Andrea, 1980, p. 42.

²⁴ Maiuri, 1931, pp. 546 et sequentes; Maiuri, 1942, pp. 91 et sequentes.

ipotizzava che, in previsione dell'allestimento di un nuovo impianto idrico, gli *officinatores* stessero asportando le *fistulae* per rifonderle e quindi posare nuovo materiale. Frattanto, sempre secondo lo studioso, era funzionante una rete di distribuzione provvisoria che garantiva l'acqua in case importanti come quella dei Vettii, del Menandro, dell'Efebo, di Trebio Valente e di Loreio Tiburtino. Lo stesso Maiuri aveva ribadito queste convinzioni liberando dal lapillo il diverticolo che, tra le *insulae* 1 e 2 della Regio II, collegava Via dell'Abbondanza con l'area della Grande Palestra e rinvenendo una trincea profonda quasi 1,5 m completamente piena di lapillo, ossia aperta al momento dell'eruzione. Tale trincea fu da lui messa in relazione con la valvola idraulica trovata nell'angolo Nord-occidentale del vicolo ed i resti della condotta che alimentava la Grande Palestra e che egli stesso rinvenne²⁵.

H. Heschbach, al contrario, ebbe modo di affermare con diverse osservazioni che necessariamente un nuovo impianto idrico doveva essere in funzione negli anni successivi al terremoto del 62 AD; lo studioso registrava che un gran numero di edifici, sia pubblici che privati, nel 79 AD comunque erano serviti da una condotta idrica plumbea e che gli ingenti e diffusi lavori di restauro non potevano fare a meno di un'idonea e soddisfacente distribuzione dell'acqua pubblica. Infine Heschbach ritenne l'incompletezza o l'apparente dismissione delle *fistulae* come pure dei serbatoi plumbei solo eccezionalmente rinvenuti alla sommità dei castella imputabile alle asportazioni degli elementi di piombo durante gli scavi moderni senza opportune segnalazioni e ai recuperi fatti subito dopo l'eruzione dei materiali costosi e riutilizzabili, quale appunto il piombo²⁶.

Adam, dal canto suo, ha ritenuto che le tubature poste lungo i marciapiedi quasi in superficie non possano conciliarsi con le capacità tecniche e ingegneristiche dei Romani e debbano invece spiegarsi come sistemazioni provvisorie atte ad assicurare un rifornimento idrico di emergenza alla città dopo il terremoto del 62 AD. A suo avviso esisterebbero almeno tre edifici termali e due opifici sicuramente in possesso di acqua corrente al momento dell'eruzione²⁷.

Le evidenze citate da Adam, tuttavia, sono facilmente oppugnabili. È possibile dimostrare, infatti, che in nessuna di esse c'è la prova di una condotta d'acqua funzionante e che al contrario per alcune si può senz'altro invocare il ricorso all'uso di cisterne. Non è però il caso di entrare nello specifico delle argomentazioni, dal momento che elementi nuovi hanno definitivamente chiarito l'impossibilità materiale che a Pompei arrivasse l'acqua dalle condutture poco prima della catastrofe.

Christoph Ohlig in una sua recentissima monografia, già tesi di dottorato, ha fornito le prove archeologiche del fatto che il *castellum aquae* al momento dell'eruzione era certamente non funzionante²⁸, mentre una serie nutrita di saggi effettuati nell'intera area cittadina di Pompei hanno del pari chiarito, senza più ombra di dubbio, che la rete idrica era allo stesso momento assolutamente scompagnata e che si stava dappertutto

²⁵ Maiuri, 1939, pp. 200-202, fig.21; Maiuri, 1942, pp. 91-94.

²⁶ Heschbach, 1979, pp. 54 et sequentes.

²⁷ Adam, 1986, p. 80. Si tratterebbe della sezione femminile delle Terme Stabiane, della sezione maschile delle Terme del Foro, dei bagni nel complesso di Giulia Felice, della conceria I 5, 2 e della fullonica di Stephanus (I 6, 7).

²⁸ Ohlig, 2002.

allestendo una nuova allocazione a maggiore profondità per nuove condutture. Infatti la necessità di dotare il parco archeologico di Pompei di una dorsale tecnologica, costituita da cavi elettrici e fibre ottiche e di un impianto idrico moderno, ha reso necessaria una serie di indagini lungo i marciapiedi delle strade della città antica effettuata tra il 1992 e il 1994. Prima sono stati così effettuati 85 saggi per delineare il percorso ottimale del cavidotto, poi sono state scavate le vere e proprie trincee di collegamento tra essi per l'alloggiamento dei cavi su uno sviluppo complessivo in lunghezza di oltre 2000 m entro le mura urbiche. I saggi, rigorosamente stratigrafici, hanno sempre raggiunto gli strati sterili ed hanno occupato tutto l'ambito dei marciapiedi per moduli di due metri; le trincee di collegamento hanno avuto una larghezza di circa 80 cm ed una profondità che variava dai 120 ai 180 cm e quasi sempre hanno raggiunto gli strati non antropizzati²⁹ (Fig. 6).

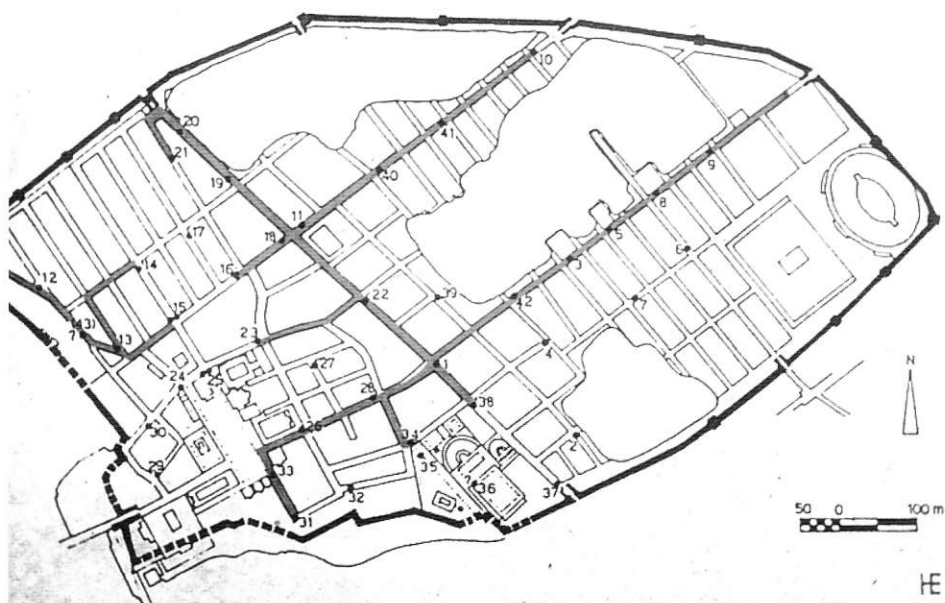


Fig. 6 - Mappatura delle aree esplorate lungo i marciapiedi di Pompei

Il primo dato rilevante è che lungo gran parte delle strade cittadine era presente un cavo antico vuoto e a cielo aperto riempitosi di lapillo al momento dell'eruzione del 79 AD. Il cavo, posizionato quasi sempre a ridosso dei basoli che delimitano il marciapiede (Fig. 7) ha una larghezza che varia tra i 60 ed i 90 cm ed una profondità che in qualche caso raggiunge i 160 cm dal piano del marciapiede; generalmente è più profondo in corrispondenza degli attraversamenti viari basolati (Fig. 8).

²⁹ Una prima comunicazione scritta dei risultati è stata data in: *L'impianto idrico di Pompei. Nuovi dati in Cura Aquarum in Campania* Atti del convegno, Katholike Univeriteit Nijmegen, 1996, pp. 37 - 45. Una seconda comunicazione, più ampia, dove sono stati esposti i risultati dell'indagine archeologica insieme alla metodica degli interventi e agli strumenti utilizzati si può confrontare in Nappo, 2002.



Fig. 7 - Trincea riempita dal lapillo dell'eruzione del 79 AD posta nel tratto orientale di Via dell'Abbondanza

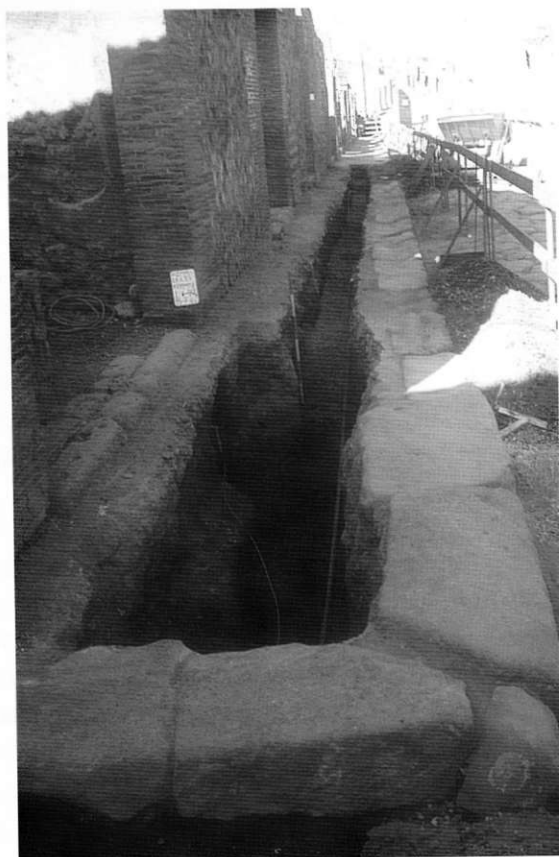


Fig. 8 - Trincea riempita dal lapillo dell'eruzione del 79 AD posta lungo la fronte settentrionale dell'Insula del Citarista (I-4)

Altro dato significativo è che sovente tale trincea antica si interrompe in corrispondenza degli ingressi delle case, evidentemente per permettere un comodo transito in esse in attesa che tutto fosse pronto per l'allocazione dei tubi. Un'analoga situazione, sembrerebbe appunto dettata dalle stesse ragioni, si è evidenziata proprio lo scorso mese in un saggio archeologico effettuato da Antonio Varone nel vicolo di separazione tra le insulae 12 e 13 della regione IX in corrispondenza dell'ingresso del civico IX 12, 9.

Si è potuto constatare, inoltre, che l'unica rete idrica esistente nell'intera città era appunto quella, ormai smembrata e ridotta a tronconi, che correva in superficie o solo pochi centimetri al di sotto dei marciapiedi e che presenta cospicui segni di ripetuti restauri e rimaneggiamenti. Le fistulae con la caratteristica forma a pera e con il listello di chiusura posto in alto³⁰, sicuramente non potevano sopportare pressioni molto alte e necessitavano di manutenzione con una certa frequenza visto le numerose riparazioni.

Nella trincea che si stava approntando a quota inferiore, infine, erano stati in alcuni tratti già allocati i tubi e talora essi erano stati già ricoperti.

Tali dati vanno riguardati anche alla luce delle ricerche effettuate da Ohlig, che ha trovato e analizzato due sedimenti calcarei nel canale d'afflusso al castellum aquae differenti per spessore e composizione mineralogica e chimica. Egli ha così mostrato che Pompei, attraverso quest'unico acquedotto ha ricevuto successivamente l'acqua da due zone diverse di sorgente e nella seconda fase l'afflusso dell'acqua era notevolmente minore. Analizzando poi ulteriori campioni di sedimentazione da settori dell'acquedotto del Serino nel tratto a monte e a valle della diramazione da esso a Pompei, che la logica vorrebbe posto in prossimità della località oggi detta (e forse non a caso, proprio per riferimento agli acquedotti) Torricelle, a metà strada tra gli abitati di Sarno e Palma Campania, ha potuto accertare che in una prima fase Pompei riceveva l'acqua da un proprio acquedotto dalla regione montagnosa a Nord-Est di Avella. A suo avviso tale acquedotto approvvigionava Pompei già molto tempo prima dell'età augustea, quando appunto venne creato l'acquedotto del Serino, al quale Pompei si sarebbe allora allacciata, ricevendo peraltro un minor gettito d'acqua. In tale prima fase un bacino a cielo aperto si sarebbe trovato al posto del castellum aquae costruito solo in un secondo momento.

Si è allora propensi ad avanzare l'ipotesi di interpretare il complesso di tale elementi come conseguenza di un fenomeno di trasformazione orografica del territorio.

Pompei riceve da Avella le sue acque, in grande abbondanza, sì che oltre agli usi pubblici moltissime case private se ne avvantaggiano per costruire giochi d'acqua nei giardini o impianti termali privati. Ad un certo punto, tuttavia, l'acqua non arriva più con la stessa intensa portata, o manca addirittura, sì che Pompei è costretta ad allacciarsi all'acquedotto nel frattempo costruito per portare l'acqua alla flotta di Miseno, evidentemente posto a quota maggiore. È interessante notare, a tal riguardo, che molti impianti termali privati vengono stranamente dismessi anteriormente al terremoto del 62 AD.³¹ Se la causa di ciò può effettivamente essere imputata alla carenza d'acqua ormai conclamata, un tale fenomeno sarebbe stato avvertito già precedentemente al terremoto del 62 AD. Il terremoto, da parte sua, al pari delle altre scosse sismiche che si

³⁰ Jacono, 1934, p. 3.

³¹ Adam, 1986, p. 81.

succedettero sino a poco tempo prima dell'eruzione³² e alle deformazioni del terreno, doveva sicuramente aver creato una serie di danni notevoli alle tubature, di continuo rabberciate. È possibile, tuttavia, che la decisione definitiva di rifare completamente il circuito idrico cittadino, operazione di fatto in corso nel 79 AD, stavolta ad una quota più profonda e quindi meno soggetta a sollecitazioni diverse, possa essere stata anche determinata da una nuova emergenza idrica nel frattempo intervenuta che di fatto aveva privato la città dell'acqua.

Contemporaneamente, quindi, alla soluzione del problema a monte, com'è verosimile ipotizzare, si profittava del digiuno forzato di acqua per rifare radicalmente l'impianto idrico all'interno della città. Niente naturalmente costringe a respingere l'idea che il rifacimento delle condutture possa aver avuto luogo indipendentemente da una nuova crisi idrica. Sta di fatto che nella città acqua comunque non ne arrivava da nessuna conduttura e in essa venivano nuovamente recuperate le cisterne e rimessi in funzione i pozzi. Non ci si meraviglierebbe, anzi, nel constatare, se pur ciò fosse possibile, che le tante anfore trovate ammassate in moltissime case pompeiane non già più contenessero vino, bensì acqua potabile e per usi alimentari fatta giungere mediante operazioni di trasporto.

Un quadro siffatto può avere dei riscontri significativi dal punto di vista geofisico. La causa più comunemente associata alle deformazioni di un apparato vulcanico, anche se non l'unica, è la presenza di magma in profondità in grado di generare sovrappressioni. L'entità della deformazione dipende dai parametri che caratterizzano la sorgente e dalle caratteristiche del mezzo. Per simulare le deformazioni verticali e orizzontali provocate da sorgenti di pressione in aree vulcaniche, sono stati sviluppati numerosi modelli matematici e metodi numerici. Al pionieristico lavoro di Mogi hanno fatto seguito quelli proposti da Walsh e Decker nel 1971, Bonafede e altri nel 1986, Bianchi e altri nel 1987, Okada nel 1992 ed infine De Natale e Pingue nel 1993, che prendono in considerazione tra l'altro, la forma della camera magmatica, le irregolarità topografiche, l'eterogeneità e le caratteristiche viscoelastiche del mezzo, la presenza di fratture³³. Modelli semplici che considerano un mezzo elastico e una sorgente a simmetria radiale sono in genere preferiti a modelli più sofisticati quando la quantità e qualità dei dati a disposizione non permette alcuna effettiva discriminazione. Il caso qui considerato sicuramente rientra in quest'ambito.

Il semplice modello di Mogi, in cui è assunto che la crosta terrestre sia un corpo ideale semi-infinito e la deformazione sia causata da una sorgente sferica a pressione idrostatica situata in profondità, permette di calcolare la variazione di quota (Δh) e di distanza orizzontale (Δd) in funzione di un aumento della pressione (ΔP) in una sorgente sferica di raggio a , posta ad una profondità f .

$$\Delta h = k f / (f^2 + d^2)^{3/2}$$

$$\Delta d = k d / (f^2 + d^2)^{3/2}$$

³² *Archaeologie und Sismologie*, 1995.

³³ Mogi, 1958; Walsh, Decker, 1971; Okada, 1992; Bonafede et alii, 1986; Bianchi et alii, 1987; De Natale, Pingue, 1993.

in cui d è la distanza orizzontale del punto d'osservazione al punto di massimo sollevamento e $k = (3\alpha^3\Delta P)/(4\mu)$ dove μ è la rigidità. In figura 9 sono riportate le variazioni relative delle componenti verticale e orizzontale delle deformazioni in funzione della distanza (misurata in rapporto alla profondità f dal centro di deformazione).

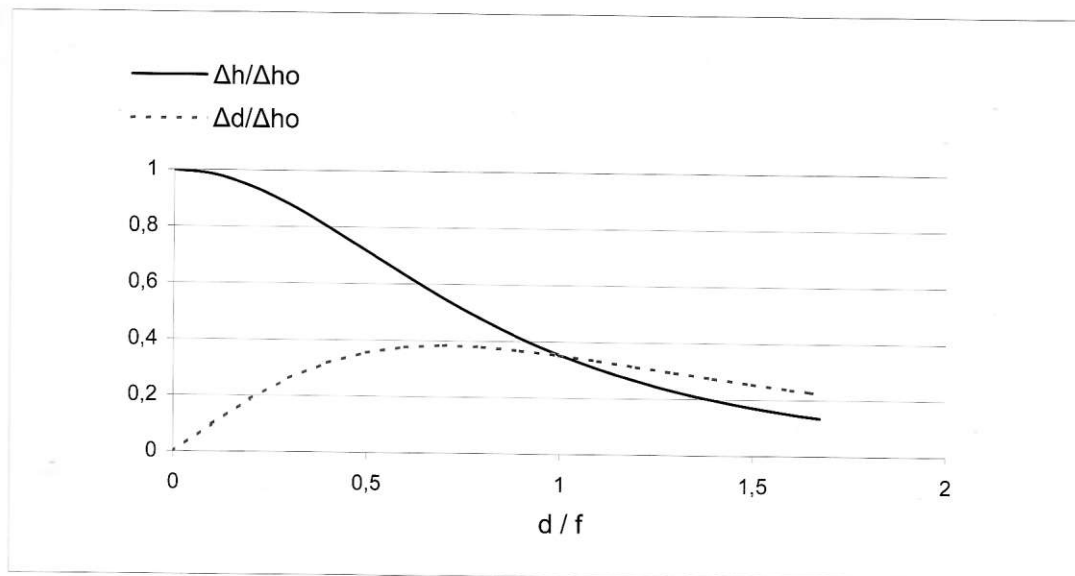


Fig. 9 - Modello di Mogi (1958): variazioni relative alle componenti verticale ed orizzontale delle deformazioni in funzione della distanza dal centro della deformazione espressa in rapporto alla profondità f dal centro di deformazione

L'applicazione all'area vesuviana per la stima delle deformazioni verticali tiene conto delle seguenti condizioni e considerazioni:

- la sorgente d'inflazione è posta sulla verticale dell'attuale cono vesuviano;
- tra le località Torricelle e Castellum aquae a Pompei l'acquedotto si avvicina al centro di massima deformazione verticale;
- la località Torricelle è attualmente ad una quota $H_T \approx 53$ m slm e il Castellum aquae ad una quota $H_P \approx 45$ m slm ($H_T - H_P \approx 8$ m). La pendenza dell'intero tratto sarebbe pertanto oggi sufficiente per un'erogazione regolare se comparata a quella media dell'acquedotto Claudio (40 cm/km) rilevata nella parte che interessa la Piana Campana³⁴;
- all'interno dei cunicoli dell'acquedotto di Pompei sono stati rilevati due tipi d'incrostazioni evidentemente provenienti da due captazioni differenti relative a due portate differenti, valutate la prima circa il doppio della seconda. Le altezze dei flussi idrici sono state stimate in $h_1 \approx 0,5$ m la più antica, e $h_2 \approx 0,25$ m la più recente. Queste due altezze possono essere considerate come i dislivelli minimi

³⁴ Abate, 1850.

(ΔH) responsabili della mancata adduzione dell'acqua a Pompei in due distinte fasi, causate dal forzato cambiamento di pendenza dell'acquedotto prodotto da una deformazione provocata dal rigonfiamento del vulcano.

In tabella sono riportati, a titolo d'esempio, i valori del dislivello considerato (ΔH), della profondità della sorgente (f), della variazione in altezza stimata per il Castellum aquae a Pompei (ΔH_P) e in località Torricelle (ΔH_T) e della variazione d'altezza del punto di massimo sollevamento (ΔH_o) coincidente con il cratere vesuviano. Nei modelli c e d la variazione di quota ΔH_T è stata considerata nulla.

modello	ΔH (m)	f (km)	ΔH_P (m)	ΔH_T (m)	ΔH_o (m)
a	0,50	10	1,0	0,5	2,0
b	0,25	5	0,4	0,1	2,4
c	0,50	10	0,5	0	1,0
d	0,25	5	0,25	0	1,7

Nella figura 10 sono riportate le variazioni delle componenti verticali della deformazione relative alla prima fase (modello a) e alla seconda (modello b). Tentativamente questi due episodi in cui, come è stato supposto, si è sviluppata la massima deformazione, possono essere messi in relazione con i due periodi sismicamente significativi degli anni 1960 e 1970, ma non è escluso che la sismicità rilevata sia solo la più energetica di un segmento temporale più lungo in cui si è sviluppata la deformazione.

L'interazione tra più sorgenti magmatiche non è stata qui considerata, né è stato verificato alcun modello idraulico. Non sono altresì valutati altri eventi, inflattivi e/o deflattivi, pur possibili, frammisti ai soli deducibili ad oggi dalle evidenze archeologiche.

Si noti comunque che, in accordo con le soluzioni proposte, il litorale marino prospiciente Herculaneum e Oplontis, può essere stato interessato, sull'intero periodo, da innalzamenti significativi. D'altra parte va anche rilevato che in uno scavo ancora inedito condotto da Marisa de Spagnolis in località Bagni di Scafati si è potuto constatare, nella cosiddetta villa Vesuvio pure distrutta dall'eruzione del 79 AD, un pavimento sovrapposto e di molto rialzato su quello antecedente per un evidente affioramento superficiale della falda acquifera. Un innalzamento della falda negli ultimi 2000 anni è peraltro attestato da numerose evidenze archeologiche nella piana.

Il parallelo con l'attuale situazione, comunque, non è immediato. Il livello medio marino oggi è più alto di circa 1 m rispetto a quello di 2000 anni fa³⁵ e la morfologia costiera è stata più volte modificata, sia dai prodotti emessi proprio dall'eruzione del 79 AD, sia dalle eruzioni successive che, al di qua del Somma, hanno più volte riproposto rovinosi flussi piroclastici e colate laviche.

³⁵ Pirazzoli, 1991

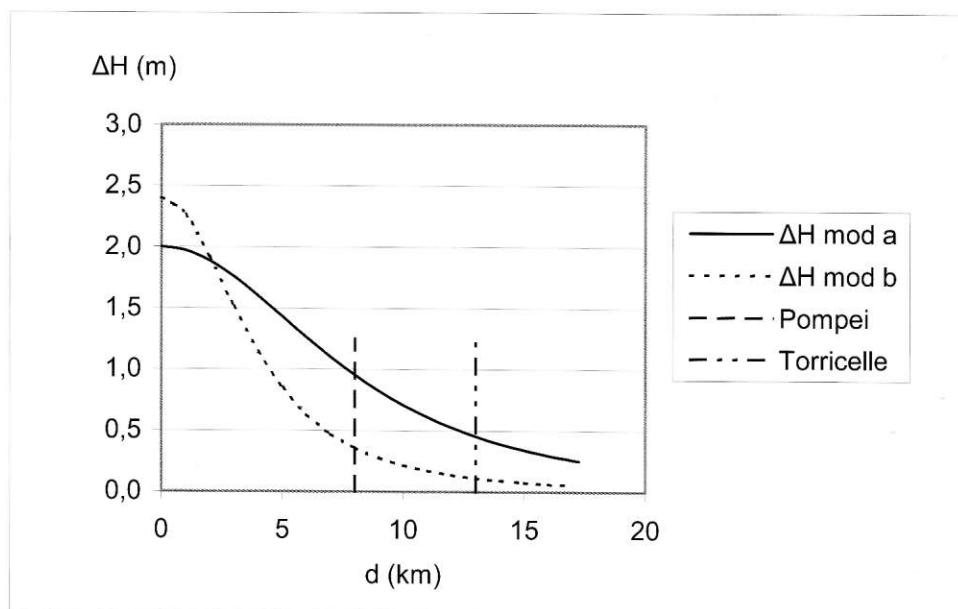


Fig. 10 - Stima della componente verticale della deformazione nell'area vesuviana prima dell'eruzione del 79 AD in funzione della distanza secondo il modello di Mogi. Le due curve rappresentano due eventi inflattivi distinti responsabili di due successive fasi di interruzione di approvvigionamento idrico a Pompei, come suggerito dai dati archeologici

Conclusioni e prospettive

Le variazioni morfologiche dell'area vesuviana in relazione all'evento del 79 AD sono state considerevoli. Quelle connesse ai circa 4 km^3 di materiale estruso durante l'eruzione sono state evidenziate dalle numerose indagini stratigrafiche che hanno proposto tempi e modalità di emissione, meccanismi di trasporto e di deposizione³⁶. Nulla era stato fino ad ora ipotizzato in relazione alle modifiche territoriali causate da fenomeni inflattivi connessi con movimenti di masse magmatiche precedenti l'eruzione. È stato dimostrato che cambiamenti morfologici avvenuti in alcuni decenni possono aver modificato l'intera area vesuviana con implicazioni notevoli, sia per l'interpretazione geofisica che archeologica.

Lo strumento utilizzato per la raccolta di tali dati è stato, per i motivi prima ricordati, quello classico dello scavo archeologico, ma si è fermamente convinti che il completamento dell'indagine lungo tutti i marciapiedi di Pompei e quindi anche dentro gli edifici, finalizzata a delineare puntualmente la distribuzione ed i percorsi dell'acqua pubblica, sia soprattutto quella relativa al tracciato dell'acquedotto, prima dalle sorgenti di Avella, poi dalla diramazione dell'acquedotto del Serino sino a Pompei, e ciò sia possibile e anzi solo fattibile con sistemi non invasivi, ricavando così tutti i dati che servono all'indagine in questione, non altrimenti recuperabili con lo scavo se non

³⁶ Sigurdsson et alii, 1985; Santacroce, 1987.

attraverso impensabili operazioni distruttive e comunque alteranti un palinsesto stratigrafico importantissimo, che un domani potrà essere invece utilmente messo inalterato a disposizione di indagini con diverse finalità e nuove tecnologie.

Gli strumenti sono quelli già ampiamente utilizzati nel settore della ricerca archeologica preventiva quali il Gradiometro Magnetico e il Radar stratigrafico GPR (Ground Probing Radar) oltre alla sempre utilissima ripresa aerea. Si confida di poter presto dare ulteriori risultati dopo l'apporto offerto alla ricerca da tali sistemi non invasivi.

Bibliografia

Adam J. P., Observations techniques sur les suites du séisme de 62 à Pompéi, *Tremblements de terre, éruptions volcaniques et vie des Hommes dans la Campanie antique*, Autori Vari, Naples, 1986, pp. 67 - 89.

Andreau J., Histoire des séismes et histoire économique. Le tremblement de terre de Pompéi (62 ap.J.C.), *Annales Economies Sociétés Civilisations* 28, 1973, pp. 369 - 395.

Andreau J., Il terremoto del 62, *Pompei 79*, Napoli, 1980, pp. 40 - 55.

Autori Vari, *Archäologie und Seismologie: La Regione Vesuviana dal 62 al 79 AD, problemi archeologici e sismologici. Colloquium*, Boscoreale 26-27 Novembre 1993, München, 1995.

Arnò V., Principe C., Rosi M., Santacroce R., Sbrana A., Sheridan M. F., Eruptive history, *Somma-Vesuvius*, CNR, PFG, Quaderni *La Ricerca Scientifica* 114 - 8, pp. 53-103.

Bernardelli R., Il tripartitore d'acqua di Porta Vesuvio a Pompei, *Studi Urbinati*, 3, 1971, pp. 1151 - 1156.

Berrino G., Corrado G., Luongo G., Toro B., Ground deformation and gravity changes accompanying the 1982 Pozzuoli uplift, *Bulletin of Volcanology*, 47-2, 1984, pp. 187 - 200.

Bianchi R., Coradini A., Federico C., Giberti G., Luciano P., Pozzi J. P., Sartoris G., Scandone R., Modeling of surface ground deformation in volcanic areas: the 1970-1972 and 1982-1984 crises of Campi Flegrei, Italy, *Journal of Geophysical Research*, 92, 1987, 14,139 - 14,150.

Bonafede M., Dragoni M., Quarenì F., Displacement and stress fields produced by a centre of dilation and by a pressure source in a viscoelastic half-space: application to the

- study of ground deformation and seismic activity at Campi Flegrei, *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society*, 87, 1986, pp. 455 - 485.
- Cubellis E., Marturano A., The vesuvian earthquake of October, 9 1999: macroseismic study, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2002 (in press).
- Della Corte M., Il pomerium di Pompei, *Rendiconti Lincei*, XXII, 1913, pp. 261 et sequentes.
- De Natale G., Pingue F., Ground deformations in collapsed caldera structure, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 57, 1993, pp. 19 - 38.
- Elia O., Un tratto dell'acquedotto detto "Claudio" in territorio di Sarno, *Campania Romana*, I, 1938, pp. 99 et sequentes.
- Heschebach H., Probleme der Wasserversorgung Pompejis, *Cronache Pompeiane*, V, 1979, pp. 24 - 60.
- Heschebach H., Schäfer T., Die öffentlichen Laufbrunnen Pompejis. Katalog und Beschreibung, *Pompeii Herculaneum Stabia*, I, 1983, pp. 11 - 40.
- Etienne R., *La vita quotidiana a Pompei*, Milano, 1966.
- Hill D. P., Monitoring unrest in a large silicic caldera, the Long Valley-Inyo Craters Volcanic complex in est-central California, *Bulletin of Volcanology*, 47-2, 1983, pp. 371 - 396.
- Jacono L., La misura delle antiche fistule plumbee, *Rivista di Studi Pompeiani*, fascicolo 2, 1934-1935, pp.102 - 115.
- Lipman P. W., Mullineaux D. R., The 1980 eruptions of Mt. St. Henens, *United States Geological Survey Professional paper*, 1250, 1981, pp. 844 et sequentes.
- Luongo G., Jacobelli L., Marturano A., Rinaldis V., Evidenze archeologiche ed ipotesi sulla sismicità a Pompei tra il 62 ed il 79, *L'evoluzione dell'ambiente fisico nel periodo storico nell'area circum-mediterranea*, a cura di C. Albore Livadie, F. Ortolani, Centro Universitario Beni Culturali, Ravello, Giugno 1993, (in press).
- Maiuri A., Pozzi e condutture nell'antica città. Scoperta di un antico pozzo presso Porta Vesuvio, *Notizie dagli Scavi*, tav. XVII, 1931, pp. 546 - 576.
- Maiuri A., *Notizie dagli Scavi*, 1939, pp. 200 et sequentes.
- Maiuri A., *L'ultima fase edilizia di Pompei*, Spoleto, 1942, pp. 90 et sequentes.
- Marturano A., Rinaldis V., Il terremoto del 62 AD: un evento carico di responsabilità, *Archäologie und Seismologie: La Regione Vesuviana dal 62 al 79 AD, problemi*

- archeologici e sismologici. Colloquium*, Boscoreale 26-27 Novembre 1993, München, 1995, pp. 131 - 135.
- Marturano A., Rinaldis V., Seismicity before the 79 AD. Vesuvius eruption, *Il sistema uomo ambiente tra passato e presente*, a cura di C. Albore Livadie, F. Ortolani, Bari, 1998.
- McKee C. O., Johnson R. W., Lowenstein P. L., Riley S. J., Blong R. J., De Saint Ours P., Talai B., Rabaul caldera, Papua New Guinea: Volcanic hazards, surveillance and eruption contingency planning, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 23, 1985, pp. 195 - 237.
- Mogi H., Relation between the eruption of various volcanoes and the deformations of the ground surfaces around them, *Bulletin of Earthquake Research Institute*, 36, 1958, pp. 99 - 134.
- Nappo S. C., Evidenze di danni strutturali, restauri e rifacimenti nelle "insulae" gravitanti su Via Nocera a Pompei, *Archaeologie und Sismologie*, München, 1995, pp. 45 - 54.
- Nappo S. C., L'impianto idrico di Pompei. Nuovi dati, *Cura Aquarum in Campania. Atti del convegno*, Katholike Univeriteit Nijmegen, 1996, pp. 37 - 45.
- Nappo S. C., L'impianto idrico a Pompei. Documentazione e nuovi dati, *In binos actus lumina: Metodologie per lo studio della scienza idraulica antica*, Ravenna, 2002.
- Ohlig C., *De aquis Pompeiorum. Das Castellum Aquae in Pompeji: Herkunft, Zuleitung, Verteilung des Wassers*, Nijmegen, 2002.
- Okada Y., Internal deformation due to shear and tensile fault in a half-space, *Bulletin of Seismological Society of America*, 82 - 2, 1992, pp. 1018 - 1040.
- Omori F., The Sakurajima eruption and earthquakes, *Bulletin of Imperial Earthquake Investigation Commission*, 8, 1914.
- Paribeni R., Relazione degli scavi eseguiti durante il mese di novembre, *Notizie dagli Scavi*, 1903, pp. 25 - 31.
- Pirazzoli P. A., *World atlas of Holocene sea-level changes*, Elsevier, New York, 1991
- Polara G., Il Vesuvio nella poesia latina, *Mons Vesuvius*, a cura di G. Luongo, Napoli, 1997.
- Rolandi G., Petrosino P., Mc Geehin H., The interplinian activity at Somma-Vesuvius in the last 3 500 years, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 82, 1998, pp. 19 - 52.

- Santacroce R., *Somma Vesuvius*, CNR, PFG, Quaderni *La Ricerca Scientifica* 114, 8, 1987.
- Sgobbo I., Serino, L'acquedotto romano della Campania Fontis Augustei Aquaeductus, *Notizie dagli Scavi*, 1938, pp. 75 et sequentes, 81, 96.
- Sigurdsson H., Carey S., Cornell W., Pescatore T., The eruption of Vesuvius in 79 AD, *National Geographic Research* 1, 1985, pp. 332 - 387.
- Riera I., *Utilitas Necessaria. Sistemi idraulici nell'Italia romana*, Milano, 1994.
- Nishida T., Measuring structures of Pompeii, *Opuscola Pompeiana* I, 1992, pp. 91 et sequentes.
- Varone A., Più terremoti a Pompei? I nuovi dati degli scavi di via dell'Abbondanza, *Archäologie und Sismologie*, 1995, pp. 29 - 35, München.
- Vogel J. S., Cornell W., Nelson D. E., Southon J. R., Vesuvius/Avellino, one possibile source of seventhcenth Century BC climate disturbance, *Nature*, 344, 1991, pp. 354 - 537.
- Walsh J. B., Decker R. W., Surface deformation associated with volcanism, *Journal of Geophysical Research*, 76, 1971, pp. 3291 et sequentes.
- Wilson R. M., Ground surface movements at Kilauea Volcano, Hawaii, *University Hawaii Research Publication*, 10, 1935, 1971.