

ISTITUTO PER LA DIFFUSIONE DELLE SCIENZE NATURALI

# ALKVÉ - ISM

Interdisciplinary Scientific Magazine



curatore: Claudio Rodolfo Salerno



# L'approvvigionamento dell'acqua e le disastrose alluvioni a Pompei prima dell'eruzione del 79 d.C.

## Nuovi dati

di

Maria Rosaria Senatore e Agostino Meo

### Abstract

Pompei, prima della distruttiva eruzione vesuviana nel 79 d.C., fu investita da due alluvioni che danneggiarono la città. I depositi alluvionali vulcanoclastici precedenti al 79 d.C. erano stati generati da frane e colate detritiche (lahar secondari) durante fasi di quiescenza del Somma-Vesuvio. I depositi franati sono stati canalizzati e trasportati mediante il Canale Conte Sarno (nome moderno), già esistente in epoca Sannitica e che si svolgeva dalle montagne calcaree situate nell'entroterra fino alla grande ansa a nord-est del sito archeologico. Da tale ansa partiva un canale artificiale scavato per portare l'acqua alla città. Il percorso del canale, che scorre in prossimità di Porta Capua, ricostruito mediante profili tomografici elettrici (TM), prosegue verso Porta Vesuvio, lambendo una struttura interpretata dagli archeologi come una fonderia, e poi, verso Villa dei Misteri. Da questa si incurvava ritornando verso la città, dove raccolte le acque reflue piegava verso est raggiungendo la costa dopo circa 700 m. I depositi alluvionali sono stati rilasciati da frane iperconcentrate e colate detritiche. Un primo evento di piena, non trasportato attraverso il canale artificiale, si è verificato prima della fondazione della città (764 a.C.) ed ha interessato una vasta area della Piana del Sarno. La seconda, avvenuta durante il IV secolo a.C., fu causata dal canale artificiale che, avendo una larghezza minore rispetto al Canale Conte Sarno, esondando, produsse gravi danni nella città arcaica. Il terzo evento alluvionale avvenuto nel 170 a.C. causò gravi danni nella parte settentrionale della città.

*Pompeii, before the destructive Vesuvius eruption in 79 AD, was hit by two floods which damaged the city. The volcanoclastic alluvial deposits prior to 79 AD had been generated by landslides and debris flows (secondary lahars) during phases of quiescence of the Somma-Vesuvius. The collapsed deposits were channeled and transported through the Conte Sarno Canal (modern name), already existing in the Samnite era and which ran from the limestone mountains located inland to the large north-east bend of the archaeological site. An artificial canal, dug out to bring water to the city, started from this bend. The course of the canal, which flows near Porta Capua, reconstructed using electrical tomographic profiles (TM), continues towards Porta Vesuvio, skirting a structure interpreted by archaeologists as a laundry, and then, towards Villa dei Misteri, from which it curved returning towards the city, where it collected the waste water, it turned eastwards reaching the coast after about 700 m. Alluvial deposits were released by hyper-concentrated landslides and debris flows. A first flood event, not transported through the artificial canal, occurred before the foundation of the city (764 BC) and involved a vast area of the Sarno plain. The second, which took place during the 4th century BC, was caused by the artificial canal which, having a smaller width than the Conte Sarno Canal and, by overflowing, caused serious damage to the archaic city. The third flood event, occurred on 170 BC, caused great damage in the northern part of the city.*

## Introduzione

Pompei, prima della sua grande distruzione da parte del ben documentato terremoto del 62 d.C. (Jacobelli, 1995; De Simone, 1995), e della sua fine definitiva a causa dell'eruzione pliniana nel 79 d.C. (eruzione di Pompei; Lirer et al., 1973; Sigurdsson et al., 1985; Cioni et al., 1992, Cioni et al., 1995; Rolandi et al., 1998; Luongo et al., 2003a; Luongo et al., 2003b; Di Vito et al., 2013), è stata danneggiata da due flussi alluvionali individuati da Senatore et al., (2014) e da Ciarallo et al., (2015). I depositi vulcanoclastici di tali alluvioni avvenute durante le fasi di quiescenza vulcanica del Somma-Vesuvio (Andronico & Cioni, 2002), erano stati messi in posto da frane e da flussi detritici iperconcentrati (lahar secondari; Scott et al., 2001; Scott et al., 2005) e successivamente trasportati mediante un torrente, il Canale Conte Sarno (nome moderno), fino a Pompei antica, percorrendo un tragitto di circa 15 km. Il Canale Conte Sarno parte dalla base del monte Pizzo D'Alvano (1133 m di altitudine; Fig. 1) e raggiunge il sito archeologico di Pompei dove è ben visibile ancora oggi un'ampia ansa (meandro) dovuta all'improvviso cambiamento del rilievo topografico legato alla presenza della colata lavica su cui la città antica è stata costruita. Il Canale Conte Sarno doveva essere presente già in epoca Sannitica dato che lungo il suo corso sono state individuate e datate da Murano (1894), opere di sistemazione fluviale (Ciarallo et al., 2003).

È stato a lungo suggerito che l'approvvigionamento dell'acqua alla città derivava dal fiume Sarno (fiume Sarno moderno; Fig. 1), il più grande sistema fluviale nella zona (Maiuri, 1958; Cinque & Russo, 1986; Guzzo & d'Ambrosio, 1998; Senatore, 2017). Il Fiume Sarno moderno, posizionato a sud-est e sud di Pompei, e il corso tortuoso del fiume Sarno antico e il suo delta, individuato dall'analisi dei sedimenti raccolti da sondaggi, sono situati ad almeno 1 km a sud e sud-ovest delle antiche mura della città (Pescatore et al., 1999; Pescatore et al., 2001; Ciarallo et al., 2003; Vogel & Marker, 2010; Ciarallo et al., 2012; Senatore et al., 2014; Senatore et al., 2016; Senatore, 2017). Pertanto rappresentava una difficoltà portare l'acqua in città sia per la distanza ma anche per il dislivello di circa 40 m.

Dati stratigrafici e analisi sedimentologiche di campioni raccolti in sondaggi ubicati a nord-ovest della città antica indicano che un canale artificiale raggiungeva Pompei al di fuori di Porta Capua (Fig. 2A e 2B). Secondo Senatore et al. (2014), tale canale era un ramo artificiale del Canale Conte Sarno derivato a partire dall'ampia ansa, probabilmente scavato per rifornire di acqua la città.

Inoltre, il modello di elevazione all'interno della città mostra che le porte Capua e Vesuvio sono entrambe posizionate alle quote più elevate (Fig. 2A), pertanto, occupavano punti strategici per la distribuzione dell'acqua. Da Porta Capua probabilmente l'acqua del canale artificiale entrava in città, e per gravità, attraversava gran parte di essa. Inoltre, probabilmente, poteva azionare tre ruote idrauliche (Fig. 2A) poste ai margini della città arcaica (Maiuri, 1931; Oleson, 1994; Senatore et al., 2014).

Questo canale artificiale, importante risorsa idrica, si rivelò molto pericoloso perché fu causa di tre alluvioni delle quali due provocarono ingenti danni alla città.

## Materiale e Metodi

L'obiettivo delle ricerche, svolte nel territorio di Pompei dal 1995, è stato la ricostruzione del paleo-paesaggio Vesuviano antecedente l'eruzione del 79 d.C. mediante la stratigrafia geologica e l'analisi sedimentaria delle facies. Poiché l'area studiata è fortemente urbanizzata, sono stati eseguiti circa 100 sondaggi a carotaggio continuo. La stratigrafia dettagliata dei sedimenti raccolti dai sondaggi è stata il riferimento di base per reinterpretare circa 400 log di sondaggi eseguiti dalla metà 1800 e fino ai giorni nostri nell'area di studio per la costruzione di edifici pubblici e privati.

Di seguito vengono riportati i risultati delle analisi dei sedimenti prelevati da alcuni sondaggi eseguiti a nord-ovest (C in Fig. 2B), a sud e all'interno della città antica (F in Fig. B).

Inoltre è stata eseguita una stratigrafia di dettaglio in diversi scavi archeologici nella città (Fig. 2A, S in Fig.2B).

La tomografia elettrica (TM1 in Tabella 1 e Fig. 2B; Senatore et al., 2014) è stata registrata sul fronte di uno scavo effettuato all'esterno di Porta Capua (Fig. 2A) realizzato dall'Istituto di Studi Paleologici di Kyoto in Giappone (Sakai 2000-2001). Tale scavo ha portato alla luce un canale artificiale e il profilo TM1 è stato realizzato per ottenere ulteriori informazioni sull'architettura stratigrafica del sottosuolo.

Nel 2013 sono stati eseguiti altri quattro profili TM (Tabella 1 e Fig. 2B; Senatore et al., 2016) per ricostruire il percorso del canale artificiale messo in luce dallo scavo archeologico. L'attrezzatura comprendeva un georesistimetro MAE A3000E. Le misure di resistività elettrica registrate sono state elaborate tramite il software di inversione RES2DINV della GEOTOMO INTERNAZIONALE. Il metodo Wenner-Schlumberger e quello dipolo-dipolo sono stati impiegati come misura della distribuzione della resistenza; il software Res3DInv è stato utilizzato per l'interpretazione dei dati. Ulteriori informazioni sull'attrezzatura geoelettrica e sulle impostazioni utilizzate sono disponibili in due rapporti interni (GT Geotesting, 2013, 2014; Senatore et al., 2016).

La perforazione dei sondaggi è stata eseguita senza l'uso di fluido di circolazione per una migliore conservazione delle strutture sedimentarie, le tessiture e l'organizzazione interna dei clasti (fabric). Per ogni sondaggio sono stati disegnati i log grafici. I caratteri macroscopici del sedimento sono stati definiti mediante un calibro per la granulometria dei ciottoli e ciottoletti, mentre la granulometria della sabbia è stata determinata visivamente utilizzando grafici di confronto. Questi ultimi hanno anche permesso di valutare sia l'arrotondamento e la sfericità dei clasti che la selezione del sedimento. Il colore è stato determinato mediante la Munsell Soil Color Charts (Munsell, 1975) e lo spessore delle unità è stato definito secondo Campbell (1967). Mediante l'analisi dei log grafici sono stati analizzati particolari campioni dei quali sono stati calcolati i parametri statistici utilizzando le metodologie standard (Folk, 1968; Folk & Ward, 1957).

I sondaggi e i log stratigrafici che costituiscono l'archivio geostratigrafico dell'area ampia di Pompei sono conservati presso il parco Archeologico di Pompei e il Dipartimento di Scienze e Tecnologie dell'Università del Sannio.

L'analisi al radiocarbonio AMS, che consente di determinare l'età in anni, riportata da Senatore et al. (2014), è stata utilizzata per inserire le unità individuate in un quadro cronostratigrafico.

La mappa di base delle figure 2B e 6 è una carta topografica ufficiale, georeferenziata e riprodotta in scala 1:5000.

Le interpretazioni geologiche sono state integrate con le informazioni archeologiche disponibili.

## **Il canale artificiale: unità stratigrafiche e ricostruzione del percorso**

### *Unità stratigrafiche a nord-ovest di Pompei*

Le unità stratigrafiche, individuate nei sondaggi effettuati a nord-ovest (Fig. 3A, A-B, e 3B, C-D) e a nord e sud (Fig.3, E-F) di Pompei, sono composti prevalentemente da depositi vulcanoclastici sia in deposizione primaria (prodotti eruttivi) che come deposito rimaneggiato. Il loro spessore va da centimetri a diversi metri, con distribuzione laterale molto variabile.

Sono state individuate 7 unità stratigrafiche in sezione ad andamento nord-est-sud-ovest.

Partendo dalla superficie topografica risultano le seguenti unità (Fig. 3A):

- Uc1 rappresenta la deposizione successiva all'eruzione del 79 d.C. ed è costituita da sabbia vulcanoclastica con matrice argillosa bruna. E' presente sia materiale vegetale, in particolare sono state rinvenute radici e apparati radicali e materiale legato all'attività umana, principalmente frammenti di laterizi e ceramica. Lo spessore varia da pochi centimetri a 3 m. Il contatto basale è sempre netto.

- Uc2 rappresenta parte dei depositi eruttivi del 79 d.C. ed è costituita da due strati di pomice. Il primo è composto da pomice grigie, con diametro centimetrico, immerse in una matrice di sabbia fina vulcanoclastica. La seconda è composta da pomice bianca, di pochi centimetri di diametro. In alcuni casi, pomice grigie e pomice bianche sono mescolate e formano un unico strato. Lo spessore dell'unità è da circa 2 m a circa 5 m.

- Uc3 rappresenta i depositi romani e preromani ed è costituito da sabbia vulcanoclastica bene arrotondata, marrone, da grossolana a fine, da pomice arrotondate di pochi centimetri di diametro, e clasti di lapilli. In questa unità sono stati rinvenuti frammenti angolari e subangolari di manufatti e di ossa di animali.

Il carattere dei depositi di Uc3 permette di definire un canale fluviale e i depositi di Uc2 come il riempimento del canale mentre i depositi di Uc1 coprono le unità precedenti nascondendo la morfologia preesistente.

- Uc4 è costituita da depositi vulcanoclastici di colore grigio scuro, da grossolani a molto fini con pomice centimetriche e clasti di lapilli. Questi depositi si trovano nel sondaggio C5, con uno

spessore di circa 5 m, e nel sondaggio C4 con uno spessore di 12 m. Sono tipici di ambiente di transizione e sono stati correlati ai depositi del cordone costiero del Bottaro (Senatore et al., 2014), che affiorano a sud-ovest del sito archeologico. Essi rappresentano un'antica linea di costa con età al radiocarbonio di circa 3600 anni/ BP (Barra, 1991).

- Uc5 è composta da depositi argillosi limosi di colore giallo scuro, pomice grigie, con diametro centimetrico, e arrotondate, e da clasti lavici. Si trovano nel sondaggio C4 con uno spessore di circa 10 m. Il carattere del sedimento, rinvenuto anche in altri sondaggi analizzati in passato, consente l'interpretazione di un ambiente di transizione legato ai depositi del cordone costiero di Messigno (Senatore et al., 2014; Cinque & Russo, 1986), affiorante a sud-est rispetto al sito archeologico e nell'entroterra del cordone di Bottaro. Anche il cordone di Messigno rappresenta un'antica linea di costa con età al radiocarbonio di circa 5600 anni/BP (Barra, 1991).

I depositi del cordone di Messigno e quello di Bottaro si trovano a quote più elevate rispetto a quelli con la stessa età studiata in altre aree tettonicamente stabili. Movimenti significativi di sollevamento del suolo durante l'Olocene nell'area del Somma-Vesuvio sono infatti segnalate da Marturano, 2008; Marturano et al., 2009; Keenan-Jones, 2015.

- Uc6 è costituita da depositi argillosi limosi di colore marrone scuro con clasti pomice alterati, di colore bianco, di qualche millimetro di diametro e alcuni resti di radici. Questo strato rappresenta un paleosuolo ed è presente alla base del sondaggio C4, al di sotto dei depositi del cordone di Messigno con uno spessore di diversi centimetri, nel sondaggio

C1 alla base dell'unità Uc3, e nella parte superiore dell'unità Uc7 con uno spessore di 2 m. Manca nei sondaggi C2 e C3, probabilmente a causa della presenza di uno scavo artificiale durante il quale tali depositi sono stati asportati.

- Uc7 è rappresentata dalla sommità scoriacea dello strato di lava che costituisce l'alto morfologico su cui è stata edificata l'antica città di Pompei. Questa unità si trova nel sondaggio C1 dove, sotto lo strato scoriaceo, è presente la lava compatta; mentre nel sondaggio C2, lo strato scoriaceo è stato appena raggiunto. L'unità Uc7 è considerata la base della successione presente nel settore nord-occidentale di Pompei.

#### *I profili TM*

Sono stati acquisiti quattro profili TM per ottenere ulteriori informazioni sulla architettura stratigrafica del sottosuolo (Senatore et al., 2016). In particolare tali profili mettono in evidenza il contenuto di acqua nel sedimento riferendosi ai valori di resistività elettrica, che sono da circa 10 ohm/m, indicando alta umidità fino alla presenza di acqua nel sedimento, a 2900 ohm/m, indicando la completa assenza di acqua. L'ubicazione dei profili è in figura 2B. In tabella 1 sono indicati, oltre al numero di riferimento del profilo:

- lo spazio fra gli elettrodi posizionati nel terreno;
- il numero complessivo di elettrodi utilizzati;
- la lunghezza dei profili;
- l'orientamento dei profili;
- la profondità massima al di sotto dell'attuale superficie topografica raggiunta da ogni profilo TM.

Il profilo TM1 mostra due anomalie di resistività (AN1 e AN2), con valori di resistività compreso tra 222 ohm/m e 129 ohm/m (Fig. 4). Queste anomalie sono interpretate, rispettivamente, come argine e asse di un canale artificiale poiché questo profilo è stato eseguito sul fronte dello scavo archeologico al di fuori di Porta Capua (Fig. 2A, Senatore et al., 2014). Lo scavo archeologico ha rivelato la presenza di un canale artificiale, che si trova in coincidenza dell'anomalia AN2 su TM1 di figura 4, poiché vi è una stretta corrispondenza per quanto riguarda sia la sua posizione rispetto agli elettrodi che la sua profondità al di sotto della superficie topografica attuale. L'AN1 su TM1 rappresenta l'argine del canale (vedi figura 6 in Senatore et al., 2014). Valori di resistività compresi tra 382 ohm/m e 659 ohm/m, registrati alla base del profilo, sono interpretati come la parte superiore del livello lavico su cui è stata edificata Pompei e su cui è stato intagliato il canale al di fuori di Porta Capua. Altre due anomalie sono identificate su TM1 (AN3 e AN4 in Fig. 4), con forme quasi circolari, una delle quali (AN4) si trova nell'area archeologica non ancora scavata. L'anomalia AN3, posizionata in prossimità delle mura della città, presenta una serie di resistività concentriche, i cui valori vanno da 129 ohm/m alla periferia a 14,6 ohm/m al centro. Questi valori suggeriscono la presenza di sedimenti caratterizzati da elevata umidità o, forse, addirittura presenza di acqua. Tali caratteristiche dell'anomalia AN3, la cui base è alla stessa profondità di quella della base del canale artificiale, hanno suggerito un'origine antropica della struttura, probabilmente una cisterna di accumulo delle

acque per l'approvvigionamento idrico a Pompei (Senatore et al., 2014). L'anomalia AN4, con profilo circolare e dimensioni inferiori a AN3, e con valori di resistività comparabili a quelle del canale (222 ohm/m e 129 ohm/m), è stata interpretata come un condotto che collegava la cisterna al sistema di distribuzione dell'acqua in città (Senatore et al., 2014).

Gli altri quattro profili TM sono stati eseguiti per tracciare il percorso del canale artificiale (Senatore et al., 2016), partendo dall'ampio meandro del Canale Conte Sarno, che, ancora oggi, scorre dai rilievi calcarei fino al sito archeologico. Nel profilo TM2 (Fig. 4), il canale è identificato tra gli elettrodi 50 e 76 e tra circa 7 m e 14 m di profondità mentre la resistività varia da 10 ohm/m a 114 ohm/m. Nel profilo TM3 (Fig. 5), il canale è identificato tra gli elettrodi 70 e 85, e a profondità da 5 m a circa 20 m. La resistività varia da circa 50 ohm/m a 114 ohm/m. Nei profili TM2 e TM3, la forma del canale è innaturale, chiaramente artificiale, per consentire il flusso dell'acqua. I profili TM4 e TM5 mostrano il canale tra gli elettrodi 35–55 e 25–32, rispettivamente, dove la profondità va da circa 2 m a 10 m (Fig. 5). I valori di resistività sono compresi tra 10 ohm/m e 114 ohm/m.

La figura 6 mostra il percorso del canale, che si sviluppa da Porta Capua, dove, l'acqua, entrando in città, era quindi distribuita utilizzando la gravità. Infatti, come già segnalato in precedenza, in questa zona l'elevazione è maggiore, e decresce gradualmente verso Porta Stabia e verso la parte arcaica della città ai margini di cui, l'acqua azionava tre Norie (Fig. 2A).

Il percorso del canale continua verso Porta Vesuvio, toccando un rudere (Villa Rustica Suburbana) interpretato come una fonderia (Stefani, 1994; Moorman, 2017) e poi corre verso Villa dei Misteri (Senatore et al., 2016) da dove piega verso la città e poi verso ovest dove raggiunge la costa di quel tempo.

I valori di bassa resistività registrati sui profili TM, in connessione con il canale, suggeriscono che il canale artificiale, colmato da sedimenti depositi da dopo l'eruzione del 79 d.C. fino ad oggi, rappresenta un percorso preferenziale per il deflusso dell'acqua al di sotto della superficie topografica.

### Unità di depositi da flussi iperconcentrati di massa

Nei sondaggi eseguiti intorno alla città antica sono state individuate tre unità di flussi iperconcentrati di massa i cui depositi si sono mossi per gravità. Le unità sono state denominate Uf1, Uf2 e Uf3 (Fig. 3B, 7A, 7B), separate da radici e apparati radicali, che indicano che è trascorso del tempo tra la deposizione di ognuna di esse (Senatore et al., 2014).

- Uf1 è composta da depositi vulcanoclastici massicci in cui sono presenti clasti vulcanici e calcarei arrotondati, frammenti di ossi animali e materiale vegetale. L'unità ha uno spessore da 1 a 5 m e poggia sulla lava su cui è stata costruita Pompei (F1 e F2 in Fig.3B). Frammenti di ossi animali datati mediante il radiocarbonio hanno fornito un'età calibrata di 764 anni aC. (Senatore et al. 2014).

- Uf2 è stata individuata all'interno e all'esterno delle mura cittadine (Fig. 3B), ed è costituita da depositi vulcanoclastici massicci, prevalentemente privi di strutture, o con qualche laminazione incrociata o planare alla base dell'unità. La matrice è prevalente, con clasti orientati casualmente, o, imbricati. I clasti sono vulcanici e calcarei arrotondati, vasellame in terracotta in frammenti angolari o arrotondati, ossi di animali e parti di piante. Questa unità ha uno spessore medio di circa 2 m. Nella città arcaica, l'Uf2, tra due livelli abitativi, incide Uf1 e copre il livello abitativo più vecchio (Fig. 7B-S2). Successivamente alla deposizione di Uf2 e su di essa, viene costruita una nuova struttura abitativa che viene utilizzata fino alla sua distruzione a causa dell'eruzione del 79 d.C.

- Uf3 è composta da depositi vulcanoclastici a matrice prevalente con clasti distribuiti casualmente nel sedimento di natura vulcanica. Si rinvenivano frammenti arrotondati ad angolosi di vasellame in terracotta, ossi di animali e materia vegetale. Questo deposito, che ha uno spessore medio di circa 1 m, si trova lungo le mura settentrionali della città (F1 e F2 in Fig. 3B). In F3, che parte dalla superficie topografica del 79 d.C., l'unità Uf3 ricopre una strada antica che dalla città andava verso Villa dei Misteri (Fig. 3B). La porta alla base della Torre X, oggi si trova al di sotto della superficie topografica del 79 d.C. (Fig. 7A e 7B-S1). Lateralmente alla porta sono presenti i sedimenti dell'unità Uf3. Essi sono stati rimossi solo in parte per consentire l'accesso alla torre. Un osso animale datato al radiocarbonio ha fornito un'età calibrata di 170 anni aC. (Senatore et al., 2014).

## Conclusione

Il canale artificiale individuato era stato costruito, in epoca Sannitica, per rifornire di acqua Pompei. Infatti partiva dalla grande ansa del Canale Conte Sarno (nome moderno) a nord della città, e raggiungeva con un percorso quasi est-ovest Villa dei Misteri. All'altezza di Porta Capua, una serie di strutture costruite, probabilmente una cisterna ed un condotto, permettevano l'entrata dell'acqua in città. Come è ben visibile sulle tomografie elettriche, il canale risulta intagliato sulla parte superiore della colata lavica nei profili TM1, TM2 e TM3, in quanto, le quote topografiche si innalzavano, mentre nei profili TM4 e TM5 il percorso del canale è naturale, in quanto le quote risultavano in diminuzione costante (Senatore et al., 2016).

Da Villa dei Misteri, poi, il canale scorreva quasi in direzione sud, fino a raggiungere il traverso di Porta Marina. Qui, dopo aver raccolto le acque reflue provenienti dalla città, piegava verso ovest, per raggiungere la costa, dove era presente una piccola foce e un piccolo delta (Senatore et al., 2014).

Le caratteristiche dei sedimenti delle tre unità Uf indicano che i meccanismi gravitativi di massa, soprattutto le colate detritiche, erano i processi dominanti. Il sedimento vulcanoclastico, con clasti immersi nella matrice, si era originato probabilmente per il collasso dai pendii delle montagne calcaree a NE (Pizzo D'Alvano; Fig. 1). Durante gli smottamenti, le masse franate di materiale non consolidato possono essere trasformate in colate detritiche ad alta concentrazione, come è stato registrato in aree vulcaniche in altri luoghi (Scott et al., 2001; Scott et al., 2005). All'interno di depressioni, come i canali, i flussi possono percorrere distanze considerevoli verso le pianure, espandendosi in volume durante il trasporto attraverso un meccanismo di massa che comporta l'ulteriore assorbimento di sedimenti e acqua (Scott et al., 2005). Nell'area studiata, questi depositi sono stati rilasciati da flussi iperconcentrati e da colate detritiche che, trasportati mediante il canale fluviale Conte Sarno, avevano inglobato sedimenti e acqua. L'unità Uf1 è connessa ad un'alluvione avvenuta prima della fondazione di Pompei che aveva invaso un'ampia parte del territorio vesuviano.

I dati disponibili hanno consentito di ricostruire gli ipotetici fenomeni che possono essersi verificati in una sequenza temporale durante la messa in posto della seconda e della terza alluvione, legate entrambe al canale artificiale costruito dalla popolazione sannitica per l'approvvigionamento idrico a Pompei (Senatore et al., 2018). Pertanto, il flusso, nel canale fluviale, raggiungeva la grande ansa a nord di Pompei. Quindi, immesso nel canale artificiale continuava il percorso al suo interno. In prossimità di Porta Capua, essendo il canale artificiale di larghezza inferiore a quella del canale fluviale, il flusso tracimava dagli argini inondando la città. L'evento dell'unità Uf2 causò gravi danni alla città arcaica (Fig. 7B-S2). Secondo Senatore et al. (2014), questa inondazione potrebbe essersi verificata durante il IV secolo a.C. Il terzo evento alluvionale, unità Uf3 avvenuta nel 170 a.C. (Senatore et al., 2014) i cui sedimenti sono stati trovati solo nei sondaggi F1, F2 e F3 (Fig. 2B e 3B, C-D) e nella sezione lateralmente alla porta della Torre X (Fig. 7A e 7B, S2) sembra aver causato gravi danni solo nella parte settentrionale della città.

Presso Porta Capua all'interno della cinta muraria è stato scoperto un condotto sotto il primo piano di un edificio (Sakai, 2000-2001). Questo condotto, che è stato riempito di sedimento dell'unità Uf3, può rappresentare il prolungamento del condotto evidenziato dall'anomalia AN4 nel profilo TM1 (Senatore et al., 2014). Il sedimento dell'unità Uf3 è stato rinvenuto anche appoggiato contro la porta d'ingresso dell'edificio scoperto a Porta Capua. Secondo Senatore et al., 2014, al momento dell'eruzione del 79 d.C., l'edificio e il condotto sotto il pavimento non erano più utilizzati. Sembra che dopo l'alluvione Uf3, il sistema di distribuzione dell'acqua da Porta Capua fosse stato abbandonato a causa del rischio di alluvioni, rovinose per la città. Quindi, dopo quest'ultima alluvione, doveva essere organizzato un nuovo sistema di approvvigionamento idrico. Infatti, nell'80 a.C., vicino a Porta del Vesuvio fu costruito un bacino idrico circolare che fu collegato ad un acquedotto proveniente dai monti a nord-est del paese di Avella (Acquedotto Avella; Ohlig, 2001). La vasca circolare fu poi coperta (Castellum aquae, Fig. 2A) e fu collegato al nuovo Acquedotto del Serino, nel 20 a.C. (Nappo, 1994; Potenza 2001; Matsui et al., 2009). Quest'ultimo sistema idrico rimase in uso fino alla definitiva scomparsa della città a causa dell'eruzione del Vesuvio.

*Lavoro eseguito con i fondi del Ministero dell'Università e della Ricerca (Fondi di Ricerca dell'Ateneo del Sannio: FRA M. R. S.).*

## Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Presidente dell'Istituto per la Diffusione delle Scienze Naturali, Claudio Rodolfo Salerno, per le raffinate discussioni scientifiche e i preziosi suggerimenti. Sono grati anche a tutti i collaboratori dell'Istituto per il loro fondamentale supporto.

## BIBLIOGRAFIA

- Andronico D., Cioni R.**, *Contrasting styles of Mount Vesuvius activity in the period between the Avellino and Pompeii Plinian eruptions, and some implications for assessment of future hazards*, *Bulletin of Volcanology*, 64, 372–391, 2002.
- Barra D.**, *La piana del fiume Sarno (PhD thesis). Studio del Pleistocene Superiore-Olocene delle aree vulcaniche campane*, 34–59, Napoli 1991.
- Campbell C. V.**, *Lamina, laminaset, bed and bedset*, *Sedimentology*, 8, 7–26, 1967,
- Ciarallo A., De Carolis E., Senatore M. R.**, *Water supply and water circulation in ancient Pompeii: resource management and catastrophic events in the past as in the present*, *Rendiconti Online, Società Geologica Italiana*, 21, 738–740, 2012.
- Ciarallo A., Pescatore T., Senatore M.R.**, *Su di un antico corso d'acqua a nord di Pompei. Dati preliminari*, *Rivista di Studi Pompeiani*, 14, 274–283, 2003.
- Ciarallo A., Senatore M. R., Stanley D. J.**, *Il territorio vesuviano nel 79 d.C.*, in: Castiglione Morelli V., De Carolis E., Salerno C. R. (a cura di), *Caio Giulio Polibio. Storie di un cittadino pompeiano*, 391–405, Napoli, 2015.
- Cinque A., Russo F.**, *La linea di costa del 79 d.C. fra Oplonti e Stabiae nel quadro dell'evoluzione olocenica della Piana del Sarno (Campania)*, *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 105, 111–121, 1986.
- Cioni R., Civetta L., Marianelli P., Métrich N., Santacroce R., Sbrana A.**, *Compositional layering and syneruptive mixing of a periodically refilled shallow magma chamber: the AD 79 Plinian eruption of Vesuvius*, *Journal of Petrology*, 36 (3), 739–776, 1995.
- Cioni R., Marianelli P., Sbrana A.**, *Dynamics of the A.D. 79 eruption: stratigraphic sedimentological and geochemical data on the successions from the Somma–Vesuvius southern and eastern sectors*, *Acta Vulcanologica*, 2, 109–124, 1992.
- De Simone A.**, *Terremoti precedenti l'eruzione. Nuove attestazioni da recenti scavi*, in: “Archäologie und Seismologie, La regione vesuviana dal 62 al 79 d.C. Problemi archeologici e sismologici”, *Colloquium, Boscoreale*, 26–27 November 1993, 37–43, Monaco, 1995.
- Di Vito M. A., de Vita S., Piochi M.**, *Il Somma Vesuvio: storia eruttiva e impatto delle sue eruzioni sul territorio*, *Miscellanea INGV*, 18, 14–21, 2013.
- Folk R. L.**, *Petrology of Sedimentary Rocks*, University of Texas Publication, 1–170, 1968.
- Folk R. L., Ward W. C.**, *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*, *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3–26, 1957.
- GT Geotesting s.r.l.**, *Esecuzione di profili di tomografia geoelettrica presso il sito archeologico di Pompei (NA)*, *Relazione di sintesi delle indagini eseguite*, 1–30, 2013.
- GT Geotesting s.r.l.**, *Esecuzione di profili di tomografia geoelettrica e sondaggi geognostici presso il sito archeologico di Pompei (NA)*, *Relazione di sintesi delle indagini eseguite*, 1–16, 2014.
- Guzzo P.G., d'Ambrosio A.**, *Pompei*, Napoli, 1–160, 1998.
- Jacobelli L.**, *I terremoti fra il 62 e il 79 d.C. nell'area Vesuviana: le ragioni di un convegno*, in: “Archäologie und Seismologie, La regione vesuviana dal 62 al 79 d.C. Problemi archeologici e sismologici”, *Colloquium, Boscoreale* 26–27 November 1993, 17–21, Monaco, 1995.
- Keenan-Jones D.**, *Somma-Vesuvian ground movement and the water supply of Pompeii and the Bay of Naples*, *American Journal of Archaeology*, 119, 191–215, 2015.
- Lirer L., Pescatore T., Booth B., Walker G. P. L.**, *Two plinian pumice-fall deposits from Somma-Vesuvius, Italy*, *Geological Society of America Bulletin*, 84, 759–772, 1973.
- Luongo G., Perrotta A., Scarpati C.**, *Impact of the AD 79 explosive eruption on Pompeii, I. Relations amongst the depositional mechanisms of the pyroclastic products, the framework of the buildings and the associated destructive events*, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 126, 2003.
- Luongo G., Perrotta A., Scarpati C., De Carolis E., Patricelli G., Ciarallo A.**, *Impact of the AD 79 explosive eruption on Pompeii, II. Causes of death of the inhabitants inferred by stratigraphic analysis and areal distribution of the human casualties*, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 126, 2003.
- Maiuri A.**, *Pozzi e condutture d'acqua nell'antica città. Scoperta di un antico pozzo presso “Porta Vesuvio”*, *Notizie degli Scavi di Antichità, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma*, 546–576, 1931.
- Maiuri A.**, *Pompeii*, *Scientific American*, 198, 68–78, 1958.
- Marturano A.**, *Sources of ground movement at Vesuvius before the AD 79 eruption: evidence from contemporary accounts and archaeological studies*, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 177, 959–970, 2008.

- Marturano A., Aiello G., Barra D., Fedele L., Grifa C., Morra V., Berg R., Varone A.**, *Evidence for Holocene uplift at Somma-Vesuvius*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 184, 451–461, 2009.
- Matsui S., Sorrentino L., Sakai S., Shimizu Y., Iorio V.**, *La provenienza dell'acqua potabile nell'antica Pompei: un'ipotesi basata sull'analisi chimica dei residui calcarei degli impianti idrici*, FastOnline Documents & Research, 162, 1-10, 2009.
- Moormann E.M.**, *Villas surrounding Pompeii and Herculaneum*, The World of Pompeii, 435–454, 2007.
- Munsell A.**, *Soil Colour Charts*, Macbeth Division of Kallmorgen Corporation, Baltimore, Maryland, 1975.
- Murano D.**, *Pompei. Donde venivano le acque potabili ai castelli acquari*, Napoli, 1–147, 1894.
- Nappo S. C.**, *L'impianto idrico di Pompei. Nuovi dati*, in: de Haan N., Jansen G. C. M. (a cura di), “Cura Aquarum in Campania”, Proceedings of the Ninth International Congress on the History of Water Management and Hydraulic Engineering in the Mediterranean Region, Pompeii; 1–8 October 1994, Leuven, Belgium, Peeters, 37–45, 1994.
- Ohlig C. P. J.**, *De aquis Pompeiorum. Das Castellum Aquae in Pompeii. Herkunft, zuleitung, verteilung wassers*, 1–483, Norderstedt, 2001.
- Oleson J. P.**, *Water-lifting devices at Herculaneum and Pompeii in the context of Roman technology*, de Haan N., Jansen G. C. M. (a cura di), “Cura Aquarum in Campania”, Proceedings of the Ninth International Congress on the History of Water Management and Hydraulic Engineering in the Mediterranean Region, Pompeii; 1–8 October 1994, Leuven, Belgium, Peeters, 67–75, 1994.
- Pescatore T., Senatore M. R., Capretto G., Lerro G.**, *Holocene coastal environments near Pompeii before the A.D. 79 eruption of Mount Vesuvius, Italy*, Quaternary Research, 55, 77–85, 2001.
- Pescatore T., Senatore M. R., Capretto G., Lerro G., Patricelli G.**, *Ricostruzione paleogeografica delle aree circostanti l'antica città di Pompei (Campania, Italia) al tempo dell'eruzione del Vesuvio del 79 d.C.*, Bollettino della Società Geologica Italiana, 118, 243–254, 1999.
- Potenza U.**, *Gli acquedotti romani di Serino*, Azienda Municipalizzata Acquedotto di Napoli (AMAN), Napoli, 1–22, 2001.
- Rolandi G., Petrosino P., Mc Geehin J., *The interplinian activity at Somma-Vesuvius in the last 3500 years*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 82, 19–52, 1998.
- Sakai S.**, *La storia sotto il suolo del 79 d.C. Considerazioni sui dati provenienti dalle attività archeologiche svolte sulle fortificazioni di Pompei*, Opuscula Pompeiana, 10, 87–100, 2000–2001.
- Scott K. M., Macias J. L., Naranjo J. A., Rodrigues S., Mc Geehin J.**, *Catastrophic debris flow transformed from landslides in volcanic terrains: mobility, hazard assessment, and mitigation strategies*, U.S. Geological Survey Professional Paper, 1630, 1–59, 2001.
- Scott K. M., Vallance J. W., Kerle N., Macias J. L., Strauch J. L., Devoli G.**, *Catastrophic precipitation triggered lahars at Casita volcano, Nicaragua: occurrence, bulking and transformation*, Earth Surface Processes and Landforms, 30, 59–79, 2005.
- Senatore, M. R., *Pompeii on 79 AD: the natural landscape. A new approach for visiting an archaeological site*, in: “Arts & Humanities Open Access Journal”, vol. 2, 117-119, 2018.
- Senatore M. R.**, *Pompei, una storia di acqua e di fuoco*, in: Abate I., Grotta M. (a cura di), “Mediterraneità: Raccolta di Opinioni e Arte mediterranea”, Associazione Ambiente e Cultura Mediterranea, Benevento, 137-148, 2017.
- Senatore M. R., Ciarallo A., Stanley D. J.**, *Pompeii damaged by volcanoclastic debris flows triggered centuries prior to the 79 A.D. Vesuvius eruption*, Geoarcheology, 29, 1–15, 2014.
- Senatore M. R., Falco M., Meo A.**, *The water supply system of ancient Pompeii (Southern Italy): From resource to geohazard*, in: Farid A. (a cura di): “Geohazards Caused by Human Activity”, IntechOpen, 3-19, 2016.
- Sigurdsson H., Carey S., Cornell W., Pescatore T.**, *The eruption of Vesuvius in A.D. 79*, National Geographic Research and Exploration, 1, 332–387, 1985.
- Stefani G.**, *Pompei. Vecchi scavi sconosciuti: la villa rinvenuta dal marchese Giovanni Imperiali in località Civita (1907–1908)*, L'Erma di Bretschneider, Collana Monografie, 9. Ministero per i beni culturali ed ambientali, Soprintendenza Archeologica di Pompei. Segue Appendice Documentaria, 118, 1994
- Vogel S., Marker M.**, *Reconstructing the Roman topography and environmental features of the Sarno River Plain (Italy) before the AD 79 eruption of Somma-Vesuvius*, Geomorphology, 115, 65–77, 2010.

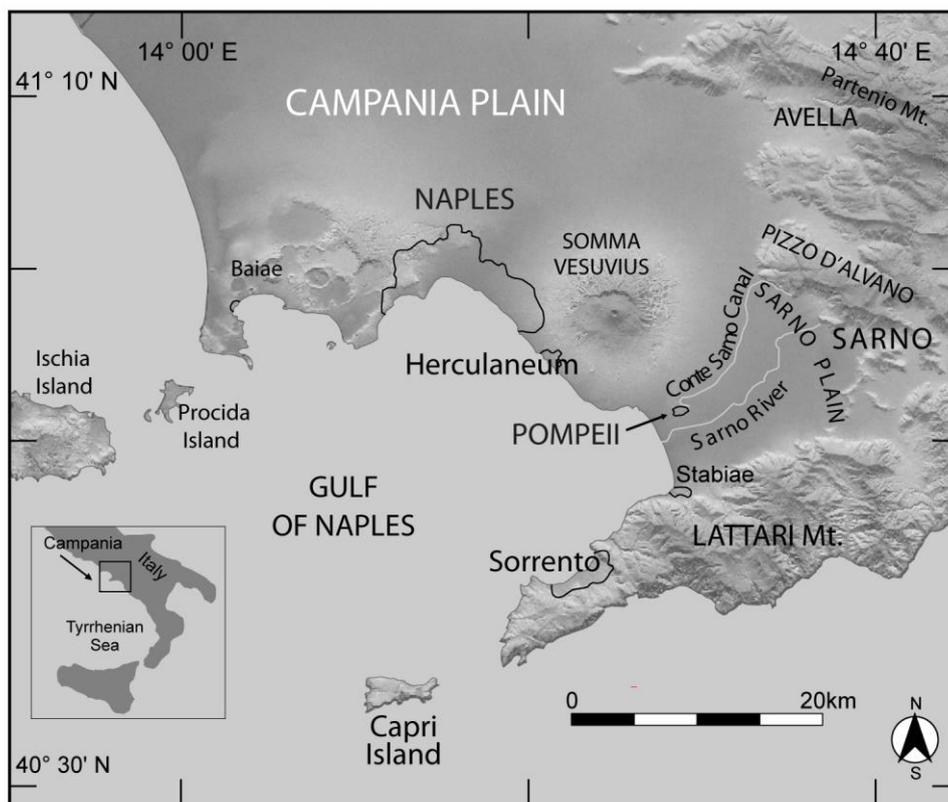
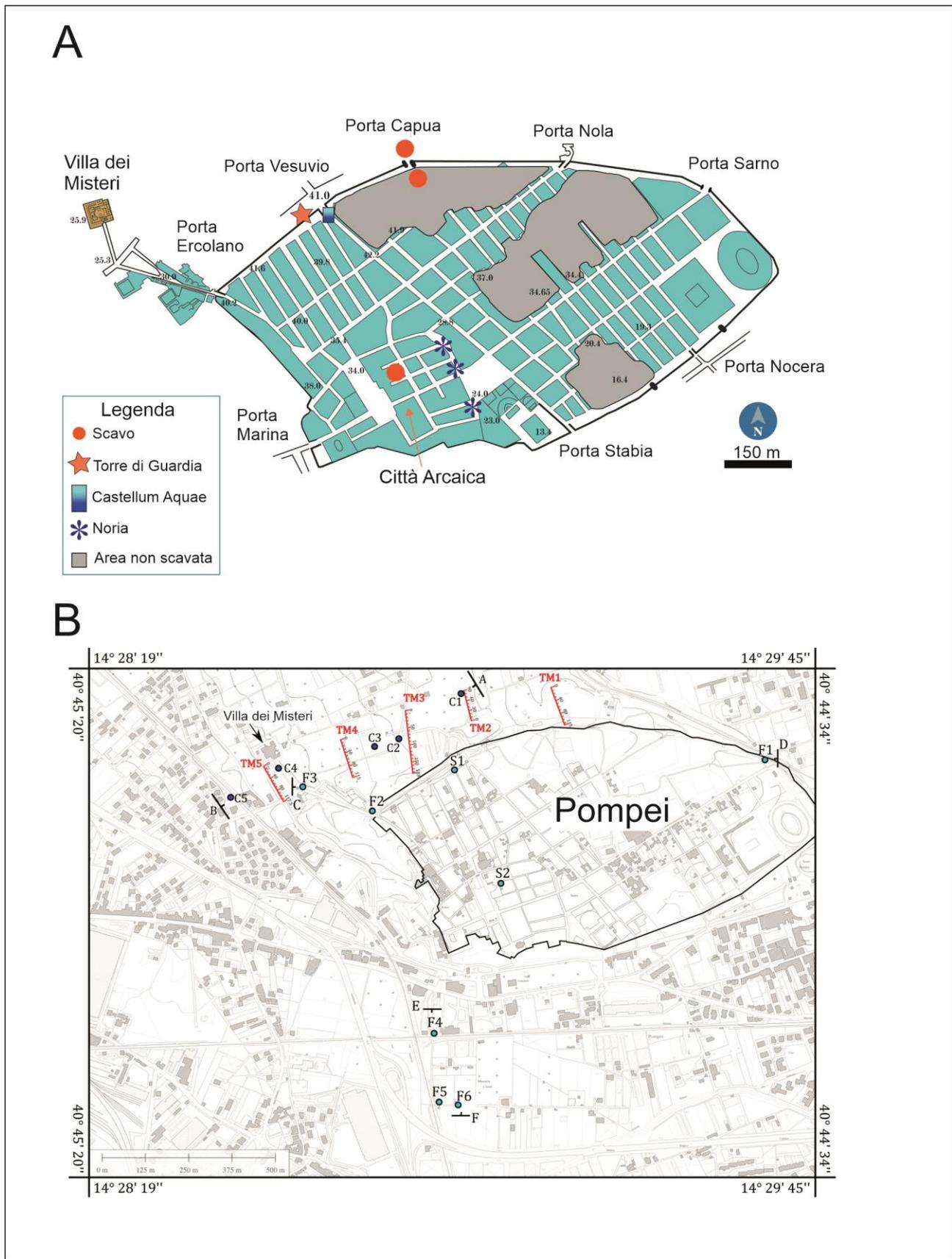


Fig. 1: L'area di studio in Campania a nord del sito archeologico di Pompei (modificata da Senatore et al., 2014)



Figg. 2A e 2B: Sito archeologico di Pompei (A) e ubicazione delle Tomografie Elettriche dei sondaggi e delle sezioni geologiche riportate in figura 3 (modificata da Senatore et al., 2916).

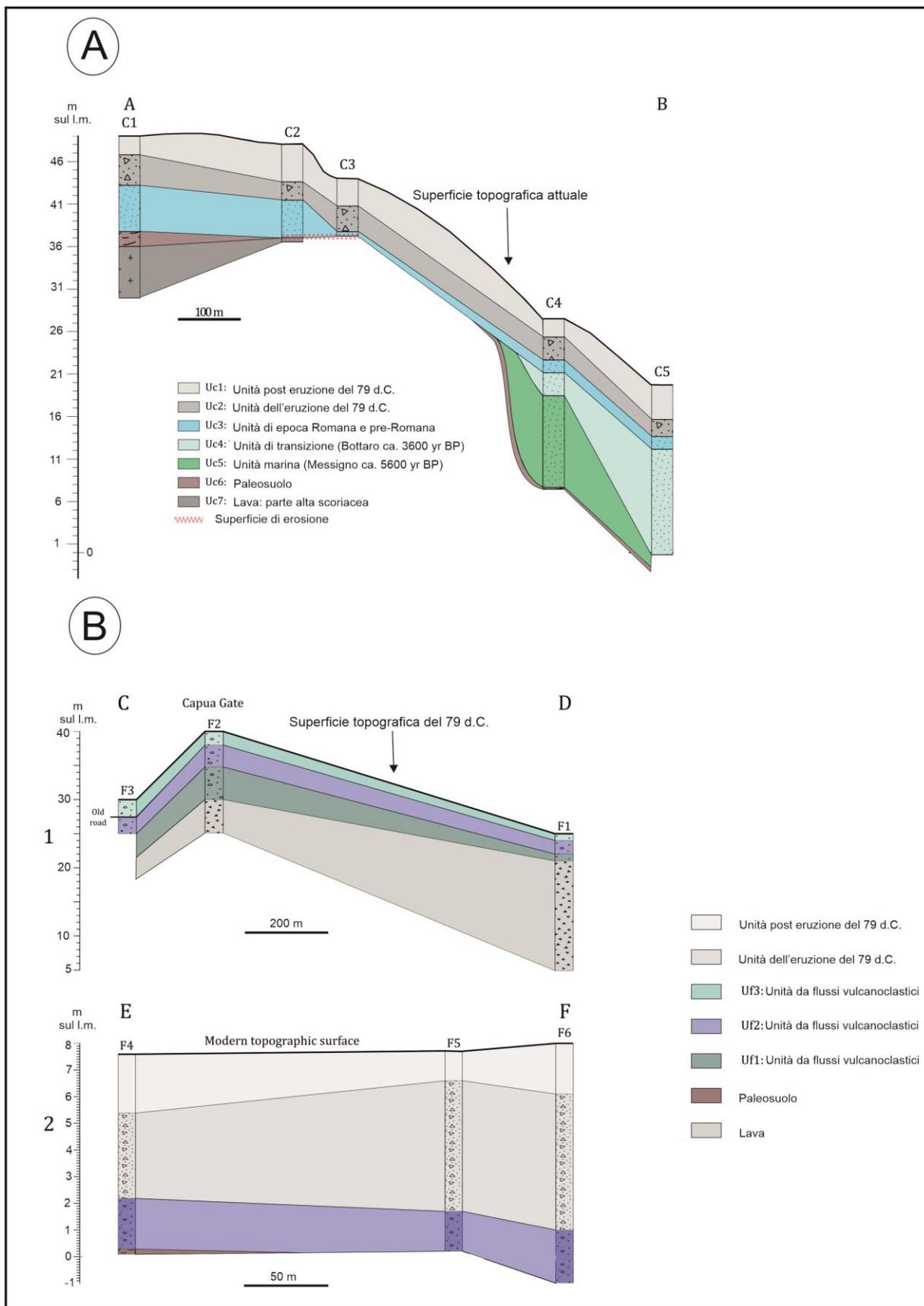


Fig. 3A e 3B: Sezioni geologiche che mostrano l'architettura stratigrafica delle unità che costituiscono le successioni affioranti nell'area in studio (ubicazione in Figura 2B; modificata da Senatore et al., 2916).

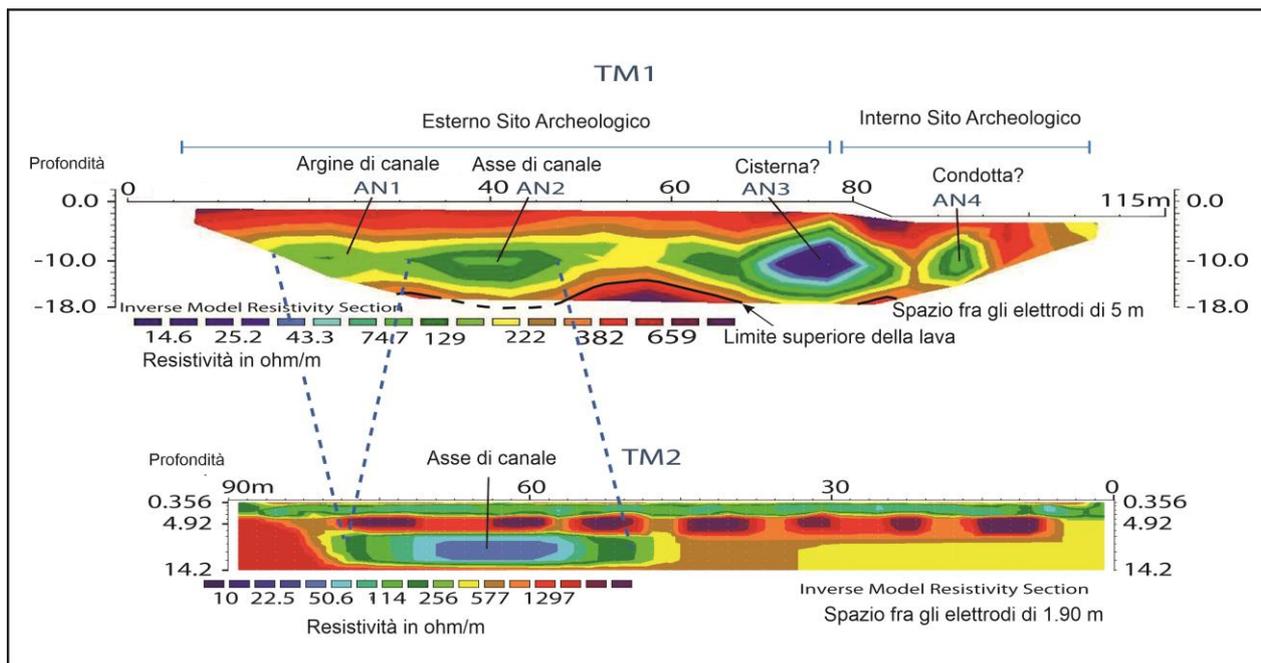


Fig. 4. Tomografie elettriche TM1 e TM2 (ubicazione in figura 2B) sono messe in evidenza le anomalie di resistività elettrica e la loro interpretazione (modificata da Senatore et al., 2916).

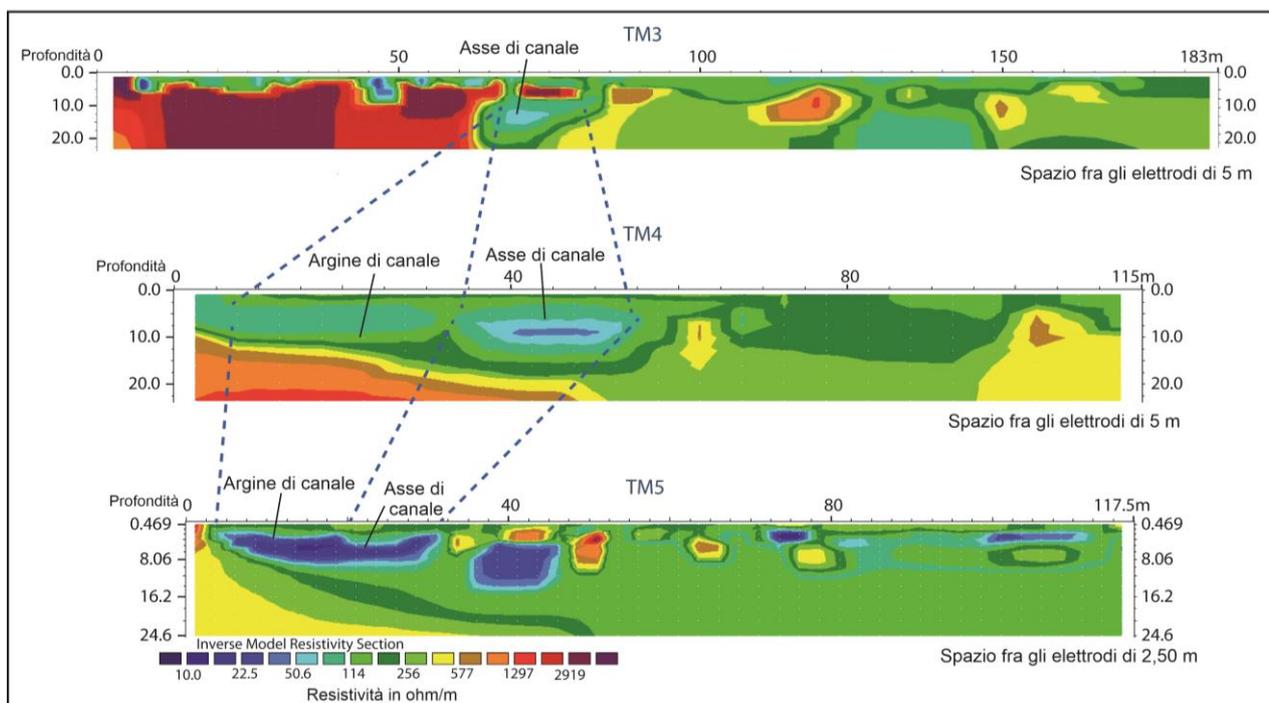


Fig. 5: Tomografie elettriche (ubicazione in figura 2B). Le anomalie di resistività e la morfologia mettono in evidenza il percorso del canale artificiale individuato a nord del sito archeologico ed attivo prima dell'eruzione del 79 d.C. (modificata da Senatore et al., 2916).

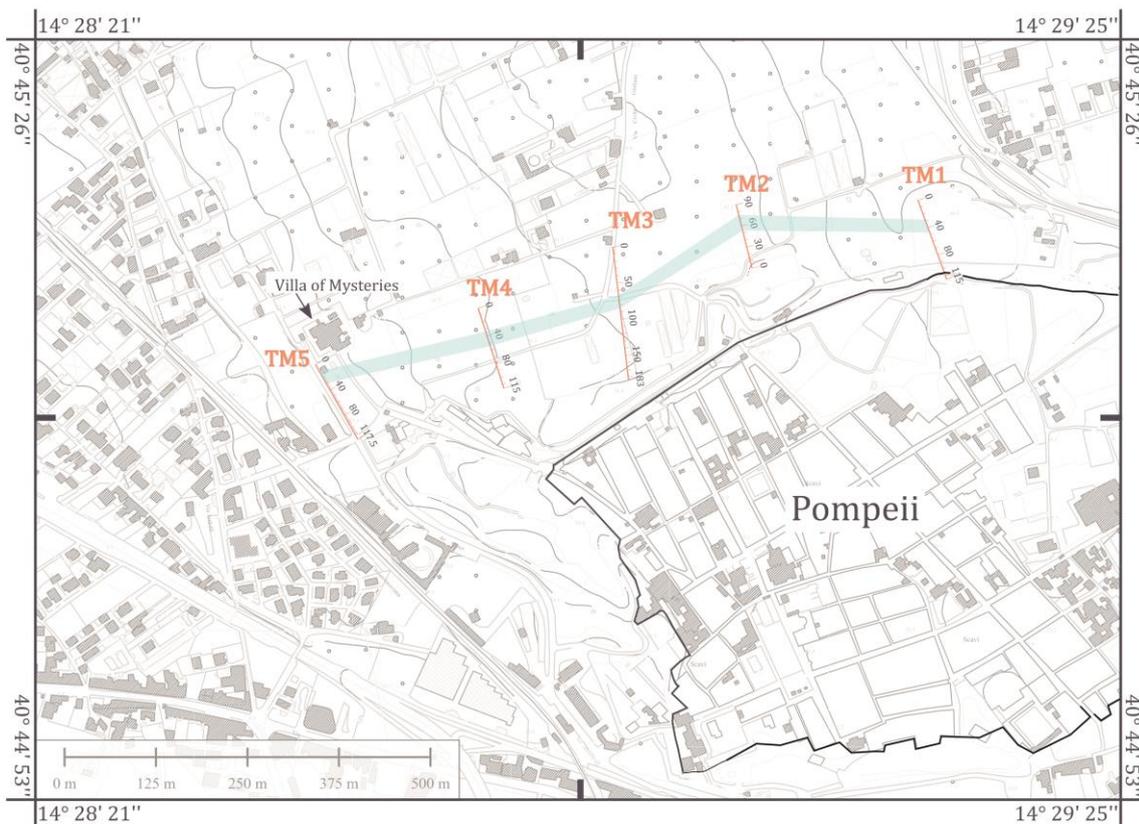
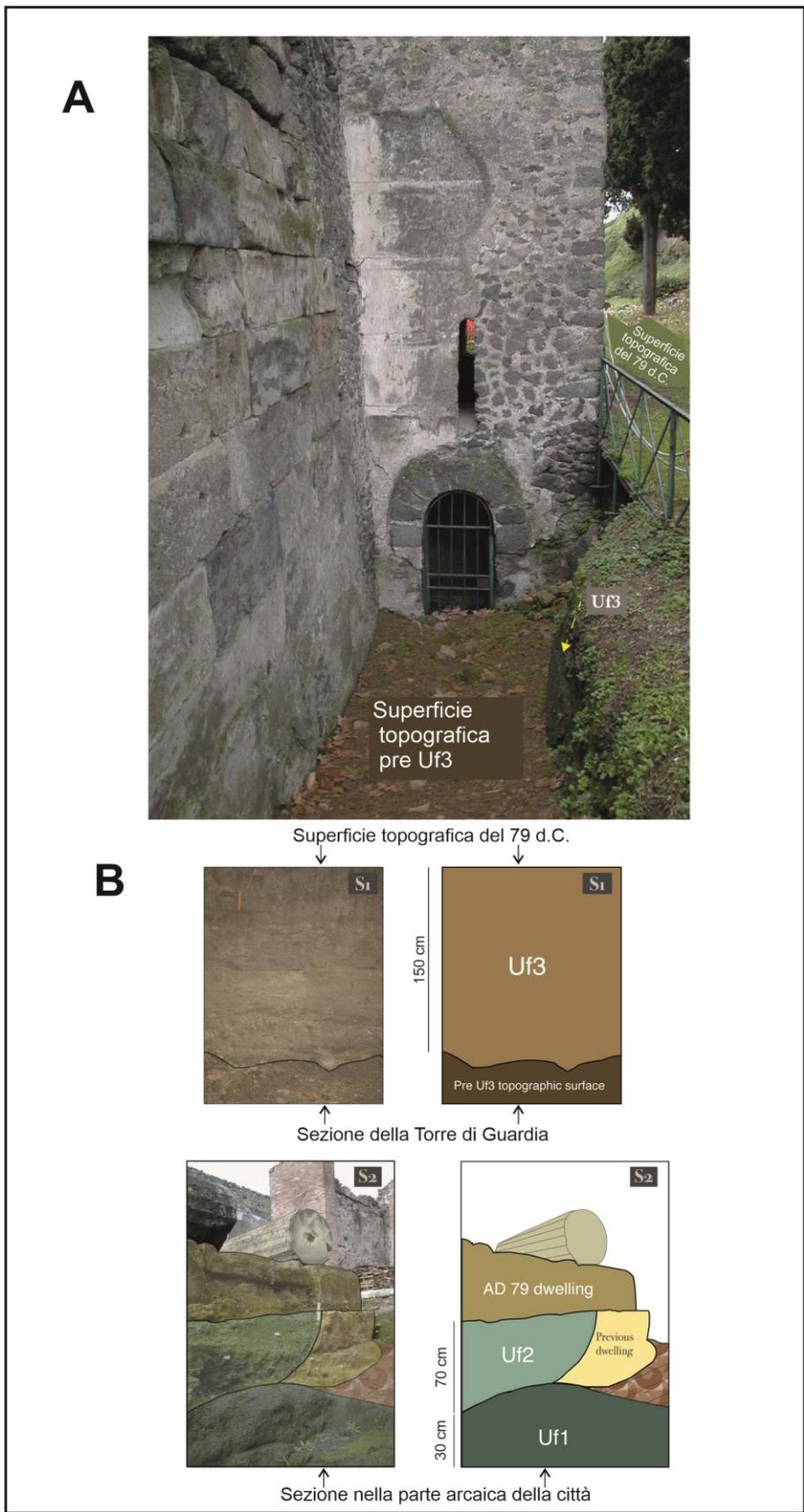


Fig. 6: Percorso canale del canale artificiale derivato dall'interpretazione delle tomografie elettriche e validato da carotaggi (da C1 a C4 in figura 2B); (modificata da Senatore et al., 2016).



Figg. 7A e 7B: La Torre di Guardia X e il fianco laterale alla porta di entrata che è costituita dai depositi dell'unità da flussi iperconcentrati di massa Uf3 (7A). In B: la sezione della Torre di Guardia (S1 sinistra) e la sua interpretazione (S1 destra); la sezione nella parte arcaica della città (S2 sinistra) e la sua interpretazione (S2 destra) (modificata da Senatore et al., 2916).