

## Evoluzione del paesaggio costiero della Penisola di Miseno (Campi Flegrei, Campania).

*Evolution of the coastal landscape of the Miseno Peninsula  
(Campi Flegrei, Campania).*

---

SOMMA R. (\*) (\*\*) (\*\*\*), MUSTO P. (\*\*\*\*), BENINI A. (\*\*\*\*\*),  
FEDELE A. (\*), TROCCIOLA A. (\*\*\*\*\*)

**RIASSUNTO** - In epoca storica la baia della Penisola di Miseno costituiva il margine morfologico di un cratere vulcanico di Tufo Giallo (Campi Flegrei), dove i Romani scelsero di realizzare la più poderosa infrastruttura portuale militare in età augustea. La rada di Miseno, formata da una serie di insenature bordate da piccoli promontori, era idonea ad accogliere l'imponente flotta navale romana (*Classis Misenensis*) di stanza nel Tirreno centrale in quanto costituita da un profondo bacino naturale che offriva un perfetto riparo. Il porto militare di *Misenum* fu attivo per quasi cinque secoli, sorgeva nell'attuale comune di Bacoli tra Capo Miseno e Punta Pennata: era delimitato a nord da Punta Pennata e a sud da Punta Terone, con un ingresso chiuso da due moli formati da arcate su *pilae*. Tuttavia iniziò una lenta fase di declino di *Misenum* a seguito dei fenomeni bradisismici, che comportarono modificazione della linea di riva ed il trasferimento della flotta a Ravenna agli inizi del VI sec. d.C. L'evoluzione morfologica della rada di Miseno si mostra ai giorni odierni con una parte di punta Pennata non più unita alla terraferma (diventata isola) a seguito di un lento processo erosivo di origine meteo-marino culminato con l'evento piovoso eccezionale del novembre 1966.

**PAROLE CHIAVE:** Campi Flegrei, Tufo Giallo, Bradisismo, *Misenum*, *Pilae*.

**ABSTRACT** - In historical times the bay of the Miseno Peninsula formed the morphological edge of a volcanic crater of Yellow Tuff (Phlegraean Fields), where the Romans chose to build the most powerful military port infrastructure in the Augustan age. The Misenum roadstead, formed by a series of inlets bordered by small promontories, was suitable for accommodating the massive Roman naval fleet (*Classis Misenensis*) stationed in the central Tyrrhenian Sea because it consisted of a deep natural basin that offered perfect shelter. The military port of Misenum was active for almost five centuries, standing in the present town of Bacoli between Cape Miseno and Punta Pennata: it was bounded on the north by Punta Pennata and on the south by Punta Terone, with an entrance closed between by two piers formed by arches on *pilae*. However, a slow phase of decline of Misenum began as a result of bradyseismic phenomena, which involved modification of the shoreline and the transfer of the fleet to Ravenna in the early 6th century AD. The morphological evolution of the Miseno roadstead is shown in the present day with a part of Punta Pennata no longer joined to the mainland (becoming an island) as a result of a slow erosive process of meteo-marine origin culminating in the exceptional rainfall event of November 1966.

**KEY WORDS** :Phlegraean Fields, Yellow Tuff, Bradyseism, *Misenum*, *Pilae*.

---

(\*) INGV via Diocleziano INGV Osservatorio Vesuviano Sez Napoli; (\*\*) CNR ISMAR Istituto di Scienze Marine Napoli; (\*\*\*) CNR IRIS Istituto di Ricerca su Innovazione e Servizi per lo Sviluppo Napoli; (\*\*\*\*) MIUR Ministero dell'Istruzione e del Merito; (\*\*\*\*\*) M.EDU.S.A s.r.l.u. Magistero di Educazione Storica Ambientale; (\*\*\*\*\* ENEA, 1 Portici (Na)

## 1. - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E STORICO DEI CAMPI FLEGREI

I Campi Flegrei (dal greco *fleguros* = ardente per l'intensa attività vulcanica), costituiscono l'estremità settentrionale del Golfo di Napoli e la loro costa rappresenta un esempio unico per la trasformazione del territorio e lo sprofondamento dell'antica fascia costiera (BENINI, 2008) a seguito degli sconvolgimenti geologici. Il territorio dei Campi Flegrei forma un comprensorio geomorfologico unitario posto a chiusura del golfo di Napoli che va da SE dall'antico Capo Ateneo (Punta Campanella) fino a NW di Capo Miseno (Bacoli), l'antico *promontorium Miseni* (fig. 1), che prende il nome, secondo la leggenda, dal compagno di Enea.

Gli eventi vulcanici che hanno interessato l'area flegrea hanno lasciato dei segni indelebili nel territorio (markers paesaggistici) con numerose caldere e relitti di antichi crateri vulcanici (ILLIANO, 2019), alcuni ancora attivi come la Solfatarina di Pozzuoli e l'area di degassamento di Pisciarelli (FEDELE *et alii*, 2021), che costituiscono il substrato morfologico sul quale si è impiantato l'abitato moderno. Sui crinali dei crateri di Monte Nuovo, dei Fondi di Baia, di Capo Miseno si sviluppa an-

cora una fitta vegetazione mediterranea di arbusti e piante ad alto fusto alla quale si alternano campi agricoli coltivati disposti su terrazzamenti, che sfruttano le naturali pendenze dei rilievi collinari. Per le gradevoli condizioni climatiche e paesaggistiche, la prima fascia costiera tra Pozzuoli e Bacoli presenta oggi un elevato grado di urbanizzazione e proprio lungo questa litoranea, in epoca imperiale, si affollavano le lussuose *villae maritimae*, delle quali si conservano poche tracce disseminate tra le abitazioni moderne o al di sotto del livello del mare, essendo state sommerse in seguito ai fenomeni bradisismici (ILLIANO, 2019). Tali fenomeni hanno determinato che ampi tratti costieri, sono stati ciclicamente sommersi originando un paesaggio archeologico di singolare valore.

In particolare, nel territorio dei Campi Flegrei si fondono la geologia e la storia, in quanto sono custodite le testimonianze archeologiche dell'antico splendore delle epoche greca e romana. Prima con la fondazione sulla terraferma di Cuma (*Kyme*) a opera degli Eubei e Calcidesi, i quali avevano scelto inizialmente come scalo marittimo nel Tirreno l'isola di *Pithecusa* (Ischia), considerata la prima colonia greca in Occidente. Successivamente, a partire dalla fine del II sec. a.C., la costa



Fig.1 - Foto satellitare del Golfo di Napoli con ubicazione del sito di Miseno (Google Earth).  
- Satellite photo of the Gulf of Naples with location of the Miseno site (Google Earth).

flegrea diventerà la meta preferita dell'aristocrazia romana che edifica lussuose ville sul mare dotate finanche di allevamenti ittici. La densità delle costruzioni si susseguono pressoché ininterrotte da Punta Campanella al promontorio di *Misenum* grazie al clima mite perdurante l'intero anno e, soprattutto, alla presenza di impianti termali. L'antica *Baiae*, posizionata sulle colline digradanti verso il mare e sulle sponde del *Baianus lacus*, diviene la località termale più famosa e rinomata in epoca romana.

Ulteriore fama a questo litorale gli derivò dalla scelta di Ottaviano e del suo generale Agrippa di trasformare in porto, il *Portus Iulius*, i laghi Lucrino e Averno in previsione della guerra con Sesto Pompeo nel 37 a.C. A distanza di pochi anni il *Portus Iulius* perse la sua connotazione militare con il trasferimento della flotta a Miseno, ma conservando un ruolo di primo piano come principale porto commerciale di Roma.

## 2. - IL CONTRIBUTO DELL'ARCHEOLOGIA ALLO STUDIO DEI PAESAGGI FLEGREI

L'archeologia terrestre e subacquea negli ultimi decenni stanno contribuendo in modo determinante allo studio delle trasformazioni dei paesaggi e tra questi il territorio dei Campi Flegrei ne costituisce esempio macroscopico, grazie al ben noto fenomeno del bradisismo, che ha modificato più volte la linea di costa coinvolgendo e sconvolgendo l'antica topografia litoranea che si estendeva lungo i margini della caldera Flegrea. Nella ricostruzione delle antiche linee di costa la lettura delle fonti letterarie non apporta, a prima vista, un contributo significativo, salvo un palese accenno presente in un vangelo apocrifo dove viene ricordata la sommersione della costa flegrea come punizione divina per la tentata uccisione di San Paolo dopo il suo sbarco a Pozzuoli (FREDERIKSEN, 1977). Questa assenza può essere giustificata dalla lenta gradualità del fenomeno bradisismico, che ne attutì la percezione dei contemporanei a differenza di grandi eventi repentini e catastrofici come la distruzione di Pompei (GIANFROTTA, 2020). Ma con una attenta rilettura di alcune fonti letterarie si possono cogliere accenni indiretti a eventi inspiegabili o a situazioni ambientali radicalmente mutate. Tra queste, la formazione della duna che diede vita al lago Lucrino venne attribuita a Eracle che realizzò il terrapieno per passarvi con i Buoi di Gerione (fase di bradisismo ascendente) o al contrario Simmaco (*Ep.*1,8,1) nel IV secolo d.C. in due epistole scritte a distanza di dieci anni descrive Baia dap-

prima godibile poi insalubre e silenziosa (fase di bradisismo discendente).

Ben diverso è invece il contributo che negli ultimi decenni hanno fornito le ricerche archeologiche e geoarcheologiche, sia a terra che in mare, nello studio dei paesaggi, individuando a terra successioni stratigrafiche ben databili con fasi di abbandono seguite poi da nuove frequentazioni o, in mare, inequivocabili contesti residenziali o semplici *markers* che documentano consistenti variazioni del livello del mare.

In sintesi, sulla base dei dati archeologici, si ipotizza una fase di bradisismo ascendente per il periodo pre-romano conclusosi con un periodo di stasi corrispondente all'età repubblicana e alto imperiale; ormai assodata è invece una fase di bradisismo discendente con inizio nel IV secolo d.C. documentata nel ninfeo di Punta Epitaffio di Baia, nelle terme pubbliche e nel Sacello degli Augustali di Miseno; a questo stesso periodo si riferisce un brano del *Liber Pontificalis* dove si riporta la notizia della donazione da parte di Costantino a Papa Silvestro (314-335) dell'*insula Meseno* e dei possedimenti pertinenti all'isola (GIANFROTTA, 2020). Ricordiamo che in questo periodo, come già detto, anche dalle lettere di Simmaco traspare a distanza di dieci anni tra il 385 e il 395 che Baia da godibile era divenuta silente e opprimente; inoltre tre epigrafi, databili tra il 394 e il 395, ricordano il rifacimento di gettate a protezione della ripa puteolana perché le ondate del mare entravano nel *Macellum* di *Puteoli* (CAMODECA, 1981) e al V secolo sono stati datati i litodomi insediatisi nel fusto delle colonne. Segue un periodo di stasi nell'ingressione marina riscontrata nelle terme di Miseno con la ripresa della loro frequentazione con l'istallazione di una fornace attiva dal VI d.C. Sempre dalle terme pubbliche si evincono tracce di una ulteriore ripresa dell'ingressione marina tra VII e VIII secolo sovrastata infine dall'impianto di una nuova fornace nel IX secolo (PAPPALARDO & RUSSO, 2001; DE ROSSI *et alii*, 2010). A partire da questo periodo inizia un lento innalzamento del suolo flegreo che culmina con la nascita di Monte Nuovo nel 1538 e un diverso ma altrettanto forte sconvolgimento della costa flegrea.

Quest'ultimo forte arretramento della linea di costa è citato in un documento dei primi anni del 1500 in cui Ferdinando di Aragona concede alla città di Pozzuoli il terreno che si andava aggiungendo alla costa perché il mare "*si seccava*" (ANNECCHINO, 1960); inoltre nel frontespizio dell'opuscolo di DELLI FALCONI (1538) ai piedi del Monte Nuovo viene riportata la dicitura "*termine del mare de prima*" con raffigurazione di una imbarcazione ben lontana dal mare (fig. 2).

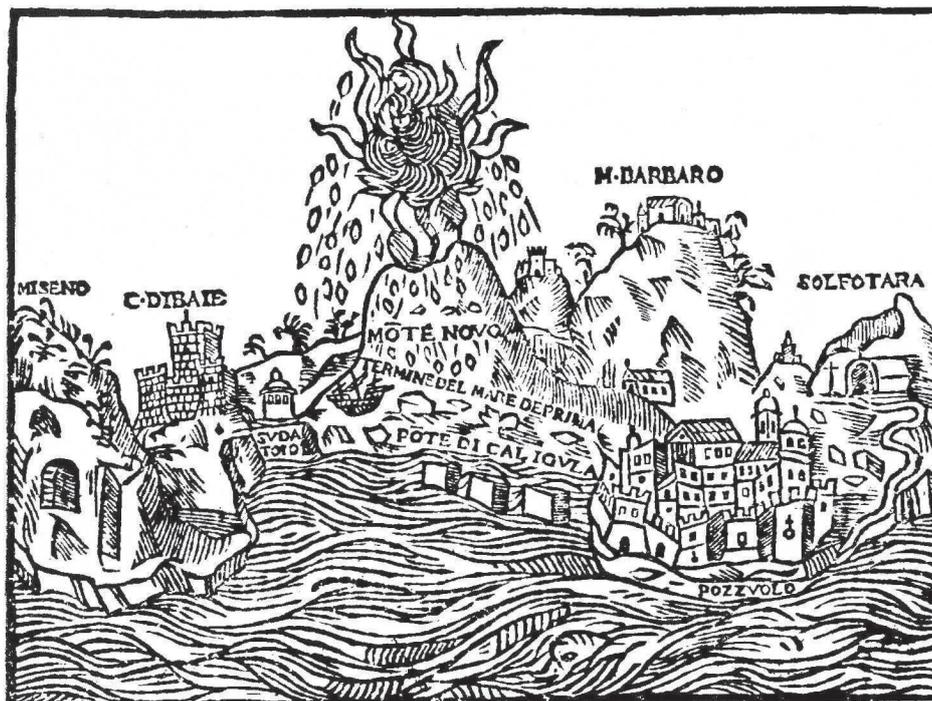


Fig. 2 - Incisione di Delli Falconi della nascita di Monte Nuovo del 1538 A.D.  
- Delli Falconi's engraving of the birth of Monte Nuovo del 1538 A.D.

Infine nelle incisioni del XVI secolo compaiono le prime rappresentazioni delle strutture romane che probabilmente tornavano a essere visibili, affiorando sul livello del mare, e tra questi i resti del porto di Miseno. Celebre, tra le tante incisioni dell'epoca, quella dell'*Ager Puteolanus* di MARIO CARTARO del 1584 (fig. 3). Queste profonde variazioni geomorfologiche e topografiche hanno naturalmente coinvolto anche Miseno e non solo per gli eventi legati al fenomeno del bradisismo ma anche per la diversa destinazione d'uso del territorio circostante la profonda insenatura (ILLIANO, 2019; LANTERI, 2014).

### 3. - INQUADRAMENTO STORICO DEL TERRITORIO MISENATE

Fin dalle epoche più antiche la stessa geomorfologia della costa lo rese idoneo a punto di ridosso e di sbarco, stando a quanto ci racconta Dionigi di Alicarnasso (VII 3, 2) su Cuma che utilizzò i porti intorno a Miseno soprattutto in occasione delle battaglie navali contro gli Etruschi del 524 e del 474 a.C. Ci riferisce inoltre che nel 440 a.C. Spurio Melio, con l'intento chiaramente demagogico di essere eletto console, procura rifornimenti alimentari alla popolazione di Roma durante una grave carestia, partendo dal porto di Miseno.

Nonostante la sua naturale predisposizione ad area portuale o di semplice ridosso, il promontorio e il territorio misenate, come tutta la costa flegrea, sono stati interessati, a partire dalla metà del II secolo a.C. dall'edificazione di lussuose ville *d'otium*, costruite sul mare e dentro il mare come testimoniano non solo le tante sopravvivenze archeologiche ma anche gli affreschi conservatisi nelle ville dell'area vesuviana (MINIERO FORTE, 1989) e le fonti letterarie che ricordano una antesignana cementificazione delle coste.

Le ricerche archeologiche hanno individuato almeno quattro complessi residenziali: a Punta Terone, a Punta Sarparella, a Punta Pennata e alla Dragonara (BORRIELLO & D'AMBROSIO, 1979). Fedro (II,5,7) in una favola ci tramanda che Tiberio prima di raggiungere Napoli soggiornò nella villa che fu di Lucullo costruita in cima a un monte che guardava da un lato il mare siculo e dall'altra il mare etrusco. Posizione che ben si addice al promontorio di Miseno.

Il grande cambiamento topografico per questo tratto di costa si ebbe in età augustea con la realizzazione di un porto strutturato destinato alla flotta militare a controllo del mar Tirreno, opera attribuita ad Agrippa tra il 31 a.C. e il 12 a.C. anno della sua morte, più probabilmente intorno agli anni 20. Quindi il territorio misenate, alla fine del I secolo a.C., si trasforma da luogo prettamente



Fig. 3 - Incisione dell'Ager Puteolanus di MARIO CARTARO (1584).  
- Engraving of the Ager Puteolanus by MARIO CARTARO (1584).

di villeggiatura ad area portuale.

La tradizione letteraria (Strabone V.4,5) riporta che la flotta *misenensis* venne trasferita da Porto Giulio per l'insabbiamento del porto, ma l'ipotesi risulta poco verosimile perché avrebbero avuto maggiori difficoltà le navi annonarie dato il maggiore pescaggio, rispetto alle leggere navi da guerra a remi. La prima scelta di stabilire la flotta militare nel Lucrino fu dettata forse da motivazioni tecniche militari, in realtà la baia di Miseno era poco difendibile dal lato di terra, nonché dal lato di Miliscola.

Sesto Pompeo aveva infatti radunato nella Silva Gallinaria, quindi non lontana da Cuma e Miseno, partigiani e pirati e da qui partivano incursioni verso varie località della Campania; inoltre controllando anche Ischia e Procida, avrebbe potuto facilmente pianificare incursioni contro la flotta di Ottaviano. L'insenatura di Miseno era quindi vulnerabile da terra e da mare, mentre da

un porto situato nel lago Lucrino erano più facilmente difendibili anche gli approvvigionamenti annonari che arrivavano a *Puteoli* e ripartivano per Roma. La situazione politica cambia radicalmente dopo la battaglia di Azio (31 a.C.), che segna la fine della Repubblica e la pacificazione dell'impero sotto la guida di Ottaviano Augusto.

Lo spostamento del porto militare a Miseno sembra essere avvenuto intorno al 20 a.C., si viene così a comporre un'occupazione del territorio condiviso tra ville residenziali, strutture militari e un centro abitativo il cui *status* giuridico di municipio o colonia è ancora dibattuto. Ampia ed eterogenea è la documentazione epigrafica e archeologica per il periodo imperiale fino al IV secolo d.C. quando era ancora presente a Miseno un *praefectus classis* e tra questi il *Flavins Marianus*, noto da un'epigrafe, che riparò il ponte ligneo che si pensa dividesse il bacino portuale dal Mare Morto. Sempre nel IV secolo abbiamo notizie di

riparazioni all'acquedotto del Serino che alimentava la cisterna nota come *Piscina Mirabilis* destinata al rifornimento della flotta (324 d.C.). Con la riforma di Costantino la flotta militare di Miseno e il porto persero gran parte del loro ruolo strategico e l'economia di questo territorio si tramutò a carattere commerciale, documentata dal ritrovamento di fornaci attive a partire dal IV secolo in poi. La flotta venne poi definitivamente trasferita a Ravenna da Teodorico e a difesa del territorio e delle attività portuali venne installato, sul finire del VI secolo, un *castrum*, la cui esistenza è nota esclusivamente grazie alle fonti letterarie. Distrutto il *castrum* nel 865 dagli Arabi Aghlebiti, divenne una base di partenza per le incursioni dei saraceni (DE ROSSI, 2002). La rada di Miseno fu infine utilizzata come porto militare anche nell'ultimo conflitto mondiale (GIANFROTTA & SCARDOZZI, 2003).

#### 4. - IL PORTO DI MISENO

I fondali della rada di Miseno conservano ampie testimonianze del porto militare realizzato da Agrippa. Come si evince dalla cartografia più antica fino alla più recente carta topografica del Beloch della fine del 1800 era ben nota la presenza di *pilae* a protezione dell'imboccatura del porto, disposte con andamento pressoché rettilineo in direzione NE-SW (fig. 4).

Con la nascita dell'archeologia subacquea sono state avviate a più riprese campagne di documentazione e scavo nell'area portuale che hanno permesso di delineare l'esatta consistenza delle sopravvivenze murarie (fig. 5) e meglio definire non solo il perimetro del bacino ma anche la variazione del livello del mare rispetto alla prima età imperiale (BENINI & LANTERI, 2010).

Per quest'ultimo aspetto è stato fondamentale individuare la presenza di una peschiera in grotta ricavata alla base di Punta Terone immediatamente all'esterno del porto. Sicuramente di pertinenza di una villa romana che si estendeva sulle pendici del promontorio e già presente all'epoca del trasferimento della flotta. Le peschiere costituiscono per la loro stessa natura il miglior *marker* per lo studio delle variazioni del mare, essendo dotate di canali per il ricambio di acqua nelle vasche e ognuno di essi di grate forate che impedivano la fuga dei pesci (LAMBECK *et alii*, 2004). Le grate erano posizionate a una quota compresa tra alta e bassa marea con un franco di emergenza in modo da non essere mai né completamente sommerse né completamente emerse. Nella peschiera di Punta Terone le tracce delle grate e una crepidine calpestabile interna alla vasca consentono di stabilire in 4 metri circa la variazione del livello per l'area di Miseno dall'età romana a oggi (figg. 6-7).



Fig. 4 - Carta archeologica di Misenum (BELOCH, 1890).  
- Archaeological map of Misenum (BELOCH, 1890).



Fig. 5 - Rilievo topografico delle strutture sommerse del porto romano di Miseno in rosso (2010).  
 - Topographic survey of the submerged structures of the Roman port of Misenum in red.

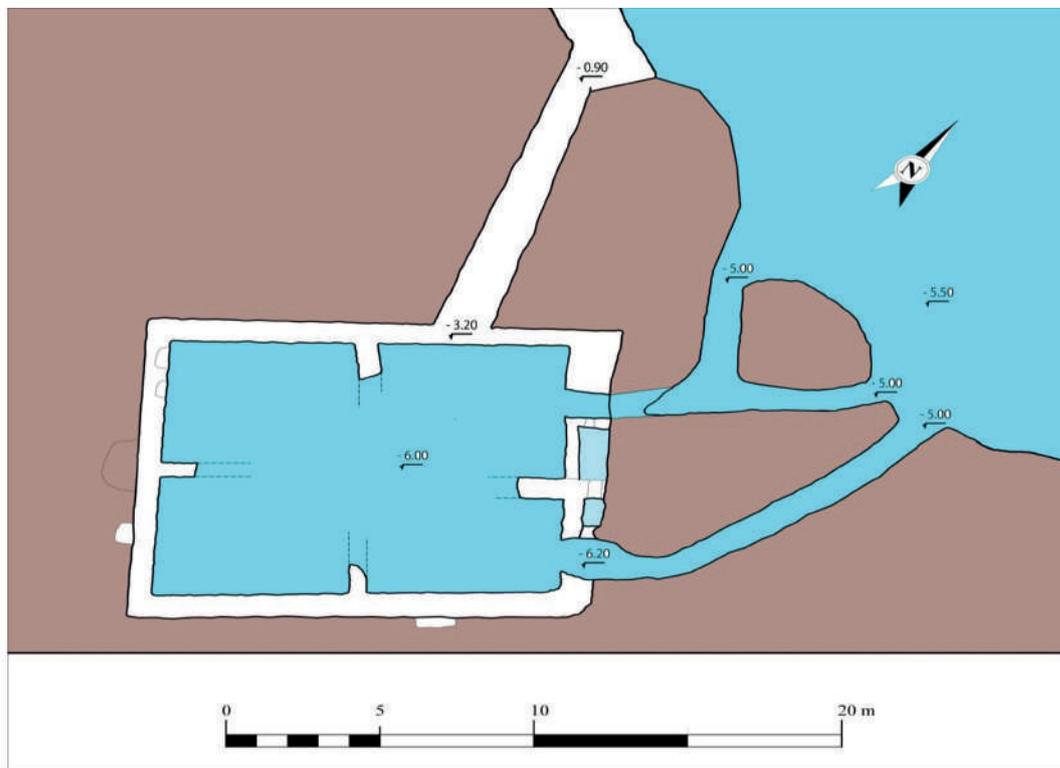


Fig. 6 - La peschiera di Punta Terone.  
 - The fishpond at Punta Terone.

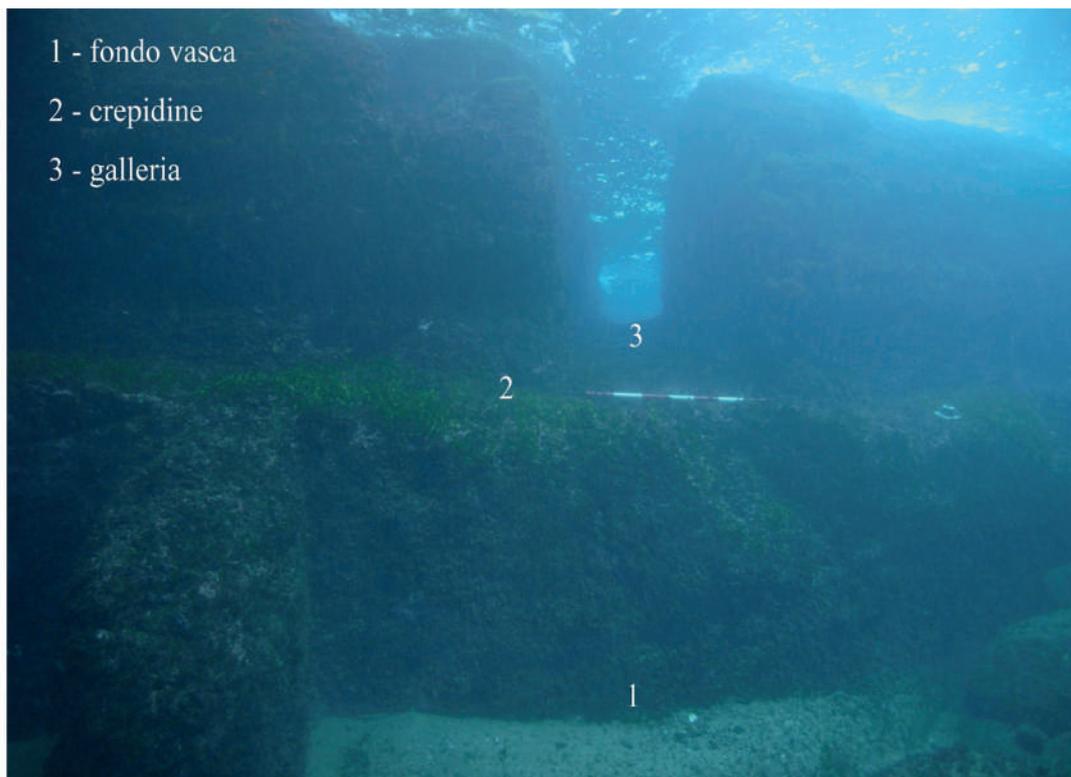


Fig. 7 - Veduta della crepidine e della galleria della peschiera di Punta Terone.  
- View of the crepidine and fishpond gallery at Punta Terone.

I rilievi archeologici, condotti a partire dagli anni '90 del secolo scorso, hanno permesso di delineare l'assetto del porto e del retrostante bacino (GIANFROTTA, 1998; BENINI & LANTERI, 2010).

L'imboccatura della rada è protetta da due serie di *pilae*, che si distaccano da Punta Terone e da Punta Pennata verso il centro. Se ne conservano sette ancora *in situ* più due crollate sul versante di Punta Terone realizzate su un unico allineamento orientato NE/SW (per una lunghezza totale di circa 190 metri) mentre sul versante di Punta Pennata sono ancora visibili altre sei *pilae*, disposte ad angolo retto e in posizione leggermente più arretrata verso l'interno del porto. Ne risulta un'imboccatura del porto ampia circa 370 metri.

A ponente delle *pilae* di Punta Terone una scogliera moderna copre completamente un molo a fondazione continua, lasciando in vista solo le due estremità: la radice a terra e la testata semicircolare. Quest'ultima ha avuto un cedimento strutturale forse dovuto oltre che alla scogliera moderna anche alla presenza di emissioni idrotermali indice di una, sia pur blanda, attività vulcanica. Il molo presenta, lungo il lato interno, una scala di raccordo tra la sommità e l'antico livello del mare ed è caratterizzato da una serie di anelli di ormeggio tutti metodicamente spezzati con le

parti asportate ancora in posizione di caduta sul fondale. La possibilità di ormeggio era garantita oltre che dagli anelli appena citati anche da bitte a sezione circolare di cui due ancora presenti sulla sommità del molo e in una delle *pilae* esterne. Queste sono le uniche bitte ancora *in situ* mentre numerose altre, ancora con le tracce d'usura lasciate dalle cime delle navi, si conservano nel sagrato della chiesa di S. Sosso nella piazzetta di Miseno.

Un'altra serie di cinque *pilae* orientata NS si distacca dall'estremità occidentale di Punta Pennata, mentre sul versante opposto dell'insenatura, presso Punta Sarparella, è presente invece un secondo molo a fondazione continua (SCOGNAMIGLIO, 2004, 2006). Queste ultime due strutture sembrano suddividere l'insenatura in due bacini distinti. Alcuni autori antichi parlando del porto di Miseno utilizzano il plurale (Licofrone *Alex.*, 735-737; Properzio *Eleg.*, XI,1; Dionigi di Alicarnasso VII, 3) e questo ha indotto a riconoscere nel lago di Miseno il secondo bacino, ma recenti carotaggi, eseguiti dalla Soprintendenza Archeologica e tuttora inediti, non hanno finora fornito alcun dato a sostegno di tale ricostruzione; anzi la presenza di consistenti strati di torba anche a notevoli profondità sembrerebbe avallare l'ipote-



Fig. 8 - Affresco con scena portuale forse identificabile con il porto di Miseno proveniente dal sito archeologico di Stabia.  
 - *Fresco with port scene from the presumably port of Miseno from the archaeological site of Stabia.*

si che l'area fosse prevalentemente paludosa.

Il secondo bacino va quindi identificato con l'area più interna dell'insenatura e un suggestivo riscontro è stato ipotizzato nell'identificare il Porto di Miseno in un affresco proveniente da Stabia (GIANFROTTA, 1998) (fig. 8).

Sul versante settentrionale del bacino lungo tutta Punta Pennata si conserva una banchina in opera cementizia per una lunghezza di circa 550 metri a una distanza di circa 50 metri dalla falesia di Punta Pennata. Sulla banchina si conservano scarsi resti di strutture murarie e numerosi materiali edilizi di crollo provenienti dalla villa presente sulla sommità dell'isolotto. La banchina era sicuramente transitabile (attualmente a -2,00 m

s.l.m.) e in collegamento con l'altro versante di Punta Pennata tramite due tunnel pedonali con quota pavimentale a - 2,20 s.l.m. Il terzo tunnel che attraversa Punta Pennata in prossimità della punta orientale ha invece una profondità di -6,10 m (pur essendo parzialmente insabbiato) pertanto in epoca romana doveva essere navigabile; il canale conserva comunque una crepidine a una quota di -2,50 m che ne garantiva quindi anche l'attraversamento a piedi. La navigabilità della galleria è confermata anche dall'interruzione della banchina per lasciare spazio a un ampio canale. Data la sua posizione all'esterno delle *pilae* di chiusura del porto è da escludere che sia stato creato per aumentare la circolazione di acqua all'interno

del bacino e prevenirne l'insabbiamento; sembra più logico che la funzione principale fosse quella di evitare alle piccole imbarcazioni di dover doppiare la Punta per uscire dall'area portuale.

L'attuale morfologia costiera e quindi la stessa rada sono ben diverse da quella di epoca romana: Punta Pennata emergeva verso est per un ulteriore tratto di circa 70 metri dove si conservano numerosi resti di strutture murarie, di cui quelli posti sull'estremità, riconducibili forse ad un fanale di segnalazione (BENINI & LANTERI, 2010) (figg. 5,13).

La banchina portuale conserva, soprattutto nel tratto orientale, numerose bitte di grandi dimensioni (diametro 45 cm, altezza 100 cm), doveva quindi trattarsi di una ulteriore zona di attracco in aggiunta al molo semicircolare.

Il molo di Punta Sarparella differisce per orientamento sia dalla serie di *pilae* che dal molo a fondazione continua, non si può escludere che si tratti di un'opera precedente forse al servizio della villa marittima retrostante e utilizzato anche nell'ambito del porto militare.

## 5. - IL LIVELLO DEL MARE IN ETÀ ROMANA E I MARKERS ARCHEOLOGICI

Lo studio delle strutture sommerse del porto di Miseno ha permesso di evidenziare una serie di indicatori sul livello medio del mare all'epoca della sua costruzione. I dati di maggior rilievo provengono dalla peschiera di Punta Terone, dove le scanalature verticali nelle quali scorreva la grata di chiusura del canale si trovano a una profondità compresa tra -5 e -3,6 m che restituisce una quota del livello del mare più bassa di circa 4 m. Questi dati concordano con la presenza della crepidine interna a -3,2 m e di un tunnel, in leggera pendenza per il collegamento con l'esterno della peschiera (da -3,2 a -0,90 m): due aree pedonali che sicuramente dovevano emergere rispetto al livello del mare (fig. 6). In prossimità della radice del molo a fondazione continua di Punta Terone si conservano i resti di un anello di ormeggio, oggi sommerso a -1,30 m che risulterebbe quindi in epoca romana a circa + 2,70 m (fig. 9). Coerenti con questa ipotesi di variazione sono anche le due gallerie che attraversano Punta Pennata: pedonale quella occidentale con fondo attualmente a - 2,2 m e navigabile quella orientale con fondo a circa 6 metri. Un'ulteriore conferma viene anche da una delle *pilae* di Punta Terone dove si legge chiaramente un piano di gettata a 4 metri di profondità sovrastato da una seconda gettata che deve essere stata messa in opera in ambiente aereo. Infine i resti murari che si conservano nella porzione più

orientale di Punta Pennata giacciono attualmente a - 3 metri circa, risultando quindi anch'essi emersi durante l'epoca imperiale romana.

## 6. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEI CAMPI FLEGREI

La Caldera Flegrea si sarebbe formata attraverso due differenti fasi di subsidenza (SCARPATI *et alii*, 2012, 2013, 2015; TROISE *et alii*, 2019): la prima con l'eruzione dell'Ignimbrite Campana avvenuta circa 39.000 anni fa (Caldera Ignimbritica); la seconda a seguito dell'eruzione del Tufo Giallo Napoletano e risalente a circa 15000 anni (fig. 10). La prima caldera includerebbe l'intero abitato partenopeo ed anche quello a nord del comune di Quarto. Con l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano avrebbe avuto origine la seconda caldera inclusa nella prima, con bordo alla collina di Posillipo.

Ulteriori studi vulcanologici indicano che almeno cinque ignimbriti si sono formate nella CVZ (*Campanian Volcanic Zone*) negli ultimi 300 ka (ROLANDI *et alii*, 2003), e non è stata riconosciuta alcuna struttura calderica associata a questo vulcanismo ignimbritico.

Le ignimbriti trachitiche sono datate a 290 ka e 240 ka (Ignimbriti di Seiano), 157 ka e 240 ka (Ignimbriti di Seiano), 157 ka (Ignimbrite di Taurano), 116 ka (Ignimbrite di Durazzano) e 39 ka (Ignimbrite di Durazzano) e 39 ka (unità CI). L'ultima ignimbrite, più delle precedenti, ha ricoperto la CVZ con l'unità CI-1 nella sua estensione da nord a sud (ROLANDI *et alii*, 2020), essendo presente anche sulla piattaforma continentale del Golfo di Napoli (FUSI *et alii*, 1991; MILIA *et alii*, 1998; Milia & Torrente, 2007). In base a queste particolari caratteristiche vulcaniche e tettoniche, la Piana Campana è stata definita come CVZ (ROLANDI *et alii*, 2003).

Nei Campi Flegrei vediamo i crateri vulcanici della Penisola di Miseno ubicati nel territorio comunale di Bacoli (fig.11). Si tratta di materiali attribuiti a diversi crateri monogenici e autoctoni per gran parte rimaneggiati, dall'azione erosiva dei venti prevalenti e delle correnti marine. Ognuno è eruttato dopo la messa in posto del Tufo Giallo Napoletano (15.000 anni) con una attività vulcanica di tipo esplosiva in accordo con le caratteristiche di un magma poco profondo e viscoso.

Riferimento per tutta l'area flegrea è il promontorio di Capo Miseno (Monte Miseno), che rappresenta i resti di un cratere alto 163 metri e con età attribuita a 5000 anni circa datazione

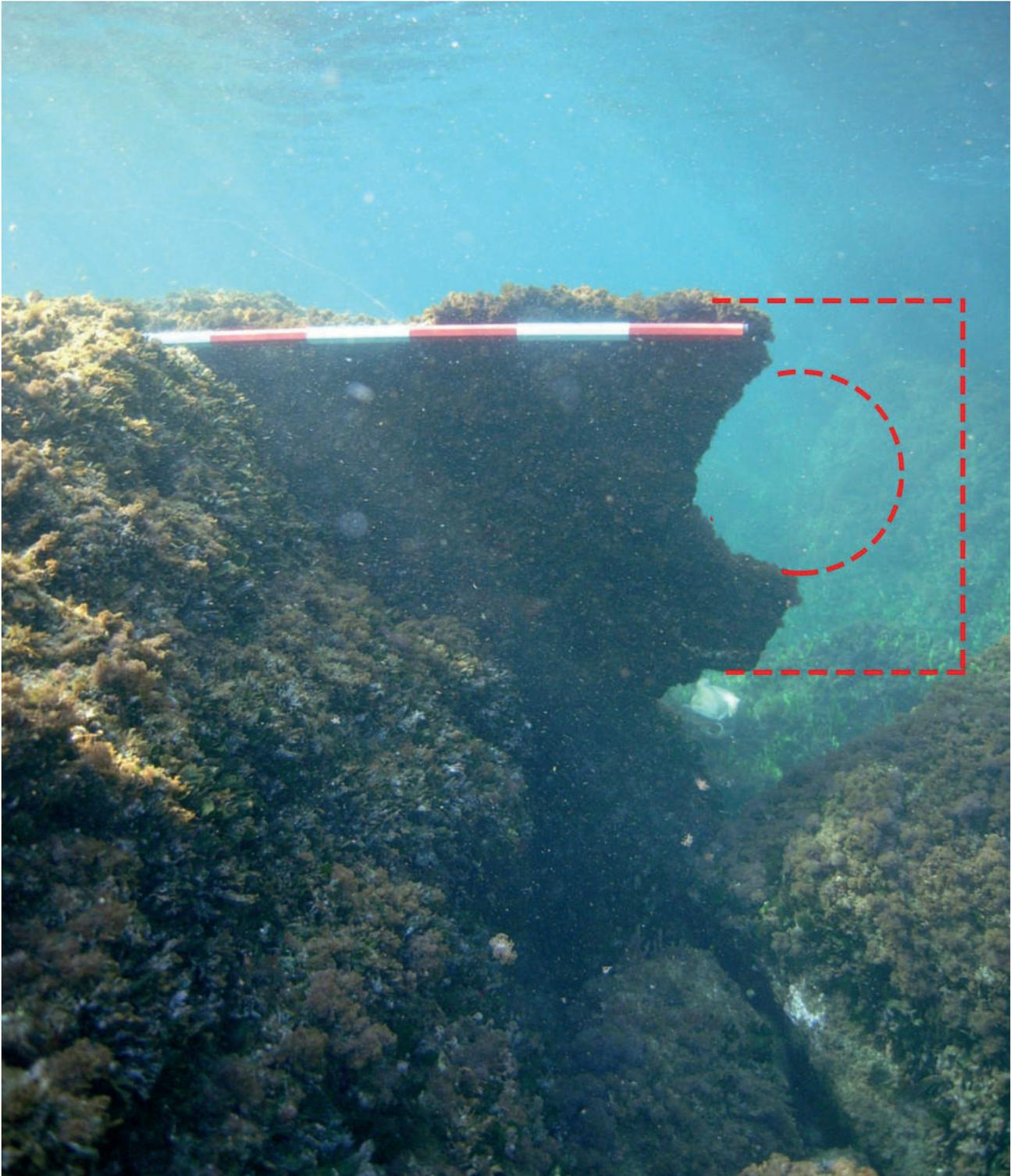


Fig. 9 - L'unico anello di ormeggio ancora *in situ* presente in prossimità della radice del molo di Punta Terone.  
 - The only mooring ring still *in situ* near the root of the Punta Terone pier.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  (FEDELE *et alii*, 2011) e di cui è possibile individuare il cono di risalita del magma (fig. 12). I depositi appartengono alla Formazione dei Tufi Gialli di Capo Miseno-Porto Miseno: depositi a variabile grado di litificazione di colore dal bian-

co-giallastro al grigiastro costituiti da scorie nere immerse in una matrice sabbioso-cinERICA a luoghi prevalente (LIRER *et alii*, 2011).

Il cratere denominato di Punta Pennata (o Porto Miseno) ha un'altezza di 33 metri ed è loca-

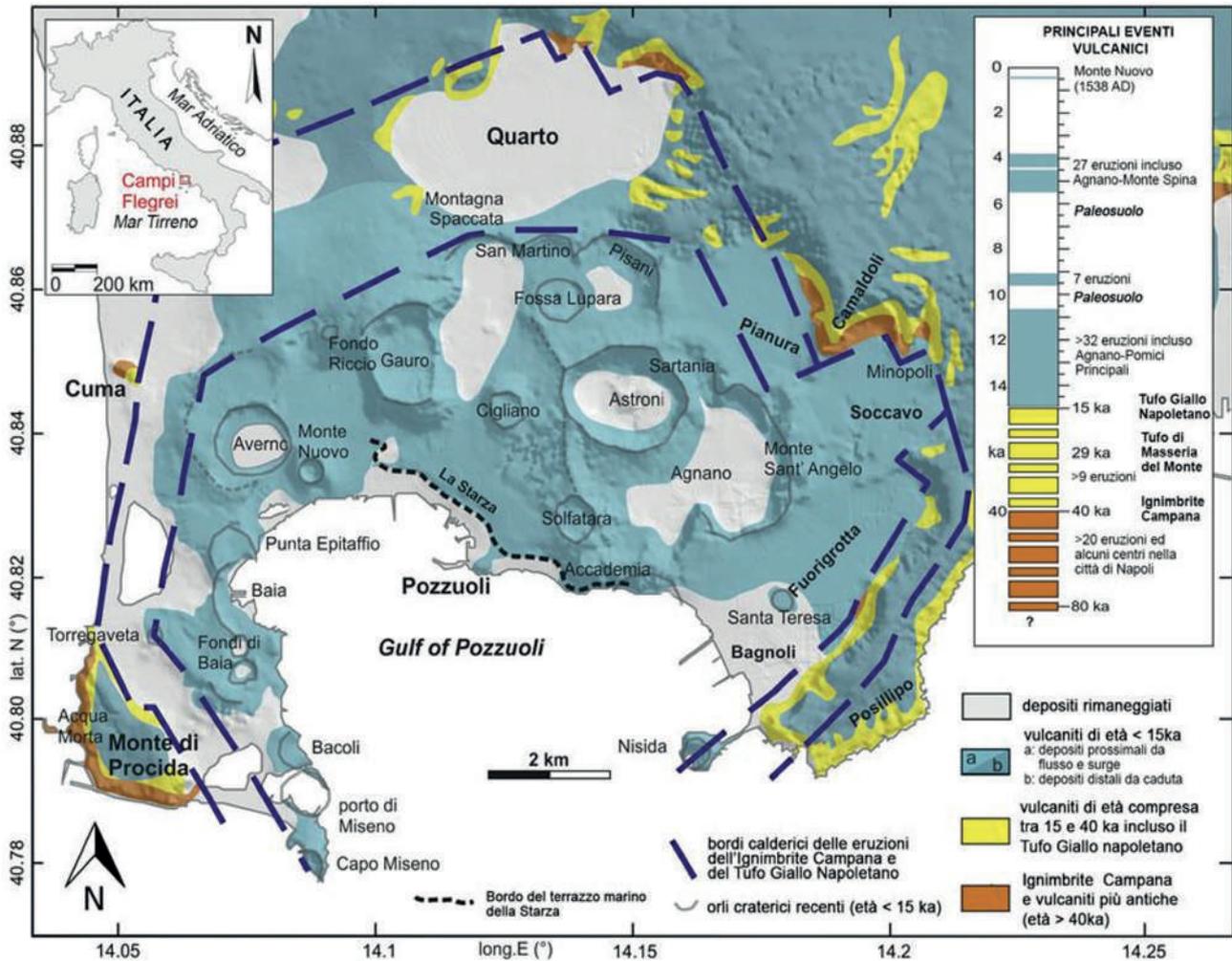


Fig. 10 - Carta geologica schematica dei Campi Flegrei (modificata da ISAIA *et alii*, 2019).  
- Schematic geological map of the Phlegraean Fields (modified from Isaia *et alii*, 2019).

lizzato nell'area ove affaccia la sede della Guardia di Finanza, il suo centro è nelle acque marine antistanti mentre la stessa Punta Pennata ne è parte del bordo (fig. 13). Tale cratere è attribuito a 6500 anni circa (FEDELE *et alii*, 2011).

L'abitato del centro storico di Bacoli insiste su materiali appartenenti ad un ulteriore cratere attribuito a circa 8600 anni (FEDELE *et alii*, 2011) e che può essere individuato attraverso l'affioramento ben evidente della parete visibile dalla spiaggia del Poggio (fig.14).

Si tratta della Formazione del Tufo Giallo di Bacoli: un deposito piroclastico da saldato a sciolto di colore variabile tra il giallo e il grigio costituito da frammenti pomice e ossidiani immersi in una matrice cineritica (LIRER *et alii*, 2011).

Inoltre, a Bacoli insiste la grotta dello Zolfo, a cui si accede esclusivamente da mare, e dove sarebbe stata rinvenuta la Misenite: un minerale autoctono identificato dal prof. Arcangelo Scac-

chi. Successivamente molti altri autori (FRANCO, 1962) hanno provato inutilmente a più riprese a ritrovarlo. La grotta rappresenta un laboratorio mineralogico per la presenza di numerosi minerali: quali piccole concrezioni di zolfo da cui la grotta prende il nome.

Lungo la strada che collega Lucrino a Bacoli, nei pressi del Castello di Baia, può essere individuato il cratere denominato "Fondi di Baia", che presenta una morfologia "ad otto": un doppio cratere formato da una duplice fase eruttiva con centri di emissione contigue. Le due eruzioni sono differenziate da un sottile paleosuolo. I crateri Fondi di Baia sono più antichi di quelli del cratere di Bacoli età 9,5 Ka (FEDELE *et alii*, 2011) ed appartengono alla Formazione di Baia-Fondi di Baia (LIRER *et alii*, 2011): un deposito piroclastico costituito da un orizzonte grossolano a tessitura breccioide ricco in pomice e frammenti di tufo giallo che passa verso l'alto ad un'alternanza

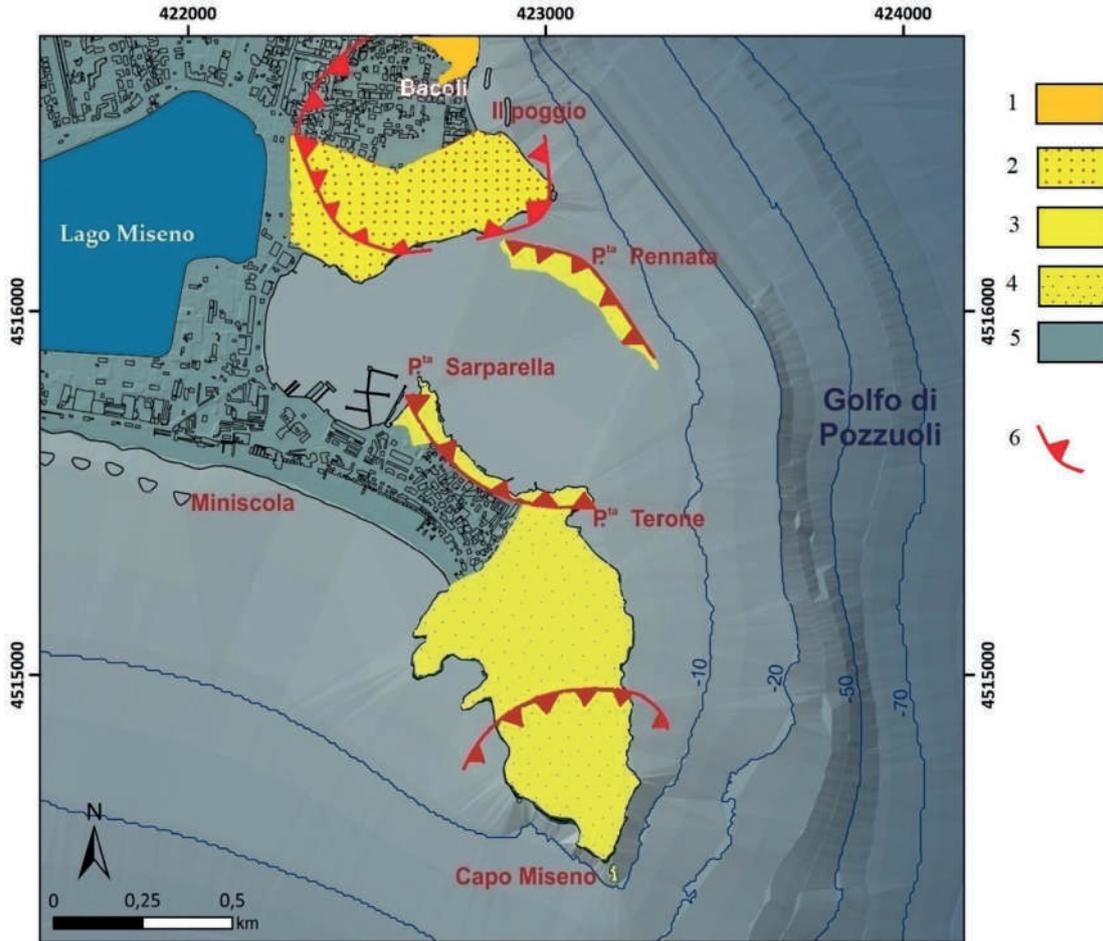


Fig. 11 - Carta vulcanologica nel settore occidentale della caldera dei Campi Flegrei tra Capo Miseno e Bacoli (Modificato da INSINGA *et alii*, 2006; SOMMA *et alii*, 2016; STANISLAO, 2017).

Legenda: 1) prodotti di Fondi di Baia (9,5 Ka); 2) tufo giallo di Bacoli (8,6 Ka); 3) tufo giallo di Porto Miseno (6,490 Ka); 4) tufo giallo di Capo Miseno (5.090 +/-140 Ka); 5) depositi di spiaggia e piroclastici rielaborati, con forte antropizzazione; 6) bordo craterico. Datazioni  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  (FEDELE *et alii*, 2011). - *Volcanological map in the western sector of the Campi Flegrei caldera between Capo Miseno and Bacoli* (Modified from INSINGA *et alii*, 2006; SOMMA *et alii*, 2016; STANISLAO, 2017).

Legend: (1) products of Fondi di Baia (9,5 Ka); (2) yellow tuff of Bacoli (8,6 Ka); (3) yellow tuff of Porto Miseno (6,490 Ka); (4) yellow tuff of Capo Miseno (5.090 +/-140 Ka); (5) reworked beach and pyroclastic deposits, with strong anthropization; (6) vent.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating (FEDELE *et alii*, 2011).

di livelli di pomici a spigoli vivi con orizzonti di ceneri biancastre e fini. Inoltre, i suoi prodotti distali sono stati individuati sull'isola di Procida dove ne rappresentano la "cerniera litologica".

Il cratere più antico dell'area in esame è quello di Miliscola (toponimo derivante da *Militum schola*), i cui prodotti costituiscono parte della litologia del Monte di Procida in territorio confinante con Bacoli. Si tratta dell'unico cratere di Bacoli con un'età più antica del Tufo Giallo Napoletano e dell'Ignimbrite Campana (39.000 anni).

Il territorio più orientale del comune di Bacoli è debolmente influenzato dal bradisismo flegreo in quanto la stessa caldera ha una forma a campana centrata nel golfo di Pozzuoli (BEAUDUCCEL *et alii*, 2004). In particolare, in questa porzione dei Campi

Flegrei la deformazione del suolo è massima nella zona confinante con Lucrino e tende a diminuire nella zona di Capo Miseno mostrando 4 metri di variazione del livello del mare. Mentre spostandoci nelle acque antistanti la frazione di Baia, a pochi metri di profondità (-5 m s.l.m.), insistono i resti archeologici di epoca romana (Baia sommersa), che testimoniano come la costa 2000 anni fa era più avanzata rispetto a quella attuale. Altri resti archeologici di età romana, parzialmente sommersi, sono presenti nella zona di Miseno negli unici edifici pubblici ritrovati del centro politico del *municipium* misenate del Teatro romano e del Sacello degli Augustali (ILLIANO, 2019): indizi di una subsidenza meno intensa di quella di Baia. Alcuni studi indicano che con l'eruzione



Fig. 12 - Promontorio di Capo Miseno con il faro (Monte Miseno).  
- *Promontory of Cape Miseno with the lighthouse (Mount Miseno).*



Fig. 13 - Punta Pennata estremità orientale e presenza di tunnel di epoca romana.  
- *Punta Pennata eastern end and presence of tunnels from Roman times.*

del Monte Nuovo la massima deformazione del suolo possa essere avvenuta nella zona tra Lucrino e Baia (Di Vito *et alii*, 2016).

Ancora sul territorio di Bacoli insistono due laghi: il Miseno e il Fusaro. Il primo è storicamen-

te collegato all'antico porto di Miseno ed è ubicato nei pressi della spiaggia di Miliscola mentre il secondo nell'omonima area del Fusaro, sito nei pressi di Torregaveta, non distante dall'acropoli di Cuma.



Fig.14 - Affioramento della parete tufacea alla spiaggia del Poggio, Bacoli (Na).  
- Outcrop of the tuffaceous wall at Poggio beach, Bacoli (Na).

## 7. - STUDI VULCANOLOGICI NELL'AREA DI MISENO

Il settore occidentale dei Campi Flegrei è caratterizzato dalla presenza, lungo la linea di costa della baia di Pozzuoli, da diversi coni e anelli di tufo (DE LORENZO, 1905), che è stata ripetutamente riattivata nel tempo (DI VITO *et alii*, 1999). In particolare, il Porto Miseno e Capo Miseno, si sono originati da un'attività freatomagmatica e sottoposti ad un'intensa zeolitizzazione, come dimostrato dalla transizione dei prodotti giallo litificati a *facies* piroclastiche grigie non litificate lungo i fianchi vulcanici (ROSI & SBRANA, 1987; DE' GENNARO *et alii*, 1999). I prodotti eruttivi hanno una composizione trachitica e trachifonolitica (DI GIROLAMO *et alii*, 1984; D'ANTONIO *et alii*, 1999). I rari studi stratigrafici, geocronologici e petrochimici effettuati sulle bocche vulcaniche, che hanno modellato la morfologia nell'area misenate (DI GIROLAMO *et alii*, 1984; ROSI & SBRANA, 1987; DI VITO *et alii*, 1999), non hanno contribuito alla comprensione della storia eruttiva dei Campi Flegrei nell'evoluzione geologica del settore sud-occidentale della caldera.

Gli autori DI GIROLAMO *et alii* (1984) hanno proposto per Capo Miseno un'età ottenuta tramite il metodo del K/Ar di circa 4 ka che è stata generalmente adottata dagli archeologi (ALBORE LIVADIE, 1986). Tale datazione non è stata rite-

nuta attendibile da ROSI & SBRANA (1987), che sulla base della presunta incongruenza derivante dalla constatazione che una significativa erosione costiera aveva modificato la morfologia vulcanica originaria, hanno suggerito un'età più antica per questa bocca eruttiva. In linea con la suddetta interpretazione, l'attività delle bocche di Capo Miseno e Porto Miseno è stata considerata dagli stessi autori leggermente precedente all'eruzione del Neapolitan Yellow Tuff (NYT) ultime fasi della fase A. In base delle evidenze in affioramento, altri autori SCANDONE *et alii* (1991) e SCARPATI *et alii* (1993), hanno ipotizzato che i diversi centri eruttivi, tra cui Capo Miseno e Porto Miseno, siano posteriori alla NYT ed abbiano eruttato sul bordo della caldera della NYT. In seguito, DI VITO *et alii* (1999) sulla base di considerazioni stratigrafiche hanno proposto che Capo Miseno e Miseno sono tra gli edifici più antichi dell'Epoca I, rispettivamente a 10.500 e 10.550 anni BP.

La morfologia originaria dell'area di Miseno è stata drasticamente modificata dall'interazione tra l'attività vulcano-tettonica e le variazioni del livello del mare, che hanno interessato la linea di costa della baia di Pozzuoli nel corso di migliaia di anni. Tuttavia, la baia di Porto Miseno conserva le caratteristiche di una tipica bocca ad anello (tuff ring vent). Inoltre, la presenza di un porto romano sommerso (I-IV secolo d.C.) suggerisce una subsidenza di circa 9 m negli ultimi 2000

anni (CAPUTO, 1989; DVORAK & MASTROLORENZO, 1991), con una massima subsidenza di 11-12 m tra il VII e l'XI secolo d.C. a seguito di movimenti bradisismici storici (CINQUE *et alii*, 1991, CANNATELLI *et alii*, 2020).

#### 8. - FOTOGRAMMETRIA DA UAS (UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM) DELL'ISOLA DI PUNTA PENNATA

Nell'ambito del presente studio è stata effettuata anche una fotogrammetria UAS (Unmanned Aircraft System) combinata con la tecnica *Structure from Motion* (SfM) (SPETSAKIS & ALOIMONOS, 1991; LOWE, 1999) al fine di analizzare la morfologia di Punta Pennata (fig. 15). Queste

metodologie rappresentano un metodo consolidato per la mappatura e la creazione di modelli di elevazione digitale (DEM) e orto-immagini. Per eseguire tutte le acquisizioni di immagini aeree è stato utilizzato un aereo DJI Phantom 4 RTK con a bordo un RTK (Real Time Kinematic). Il DJI Phantom 4 RTK è dotato di una fotocamera con obiettivo FC6310R ( $f = 8,8$  mm) ed ha una risoluzione di  $5472 \times 3648$  pixel. Il drone è dotato di GNSS RTK ha semplificato la costruzione di modelli digitali altamente accurati attraverso la fotogrammetria SfM, evitando così la necessità di punti di controllo a terra (GCP) (RABAH, 2018) che possono essere difficili in ambiente costiero. In questo modo, il GNSS ad alta precisione, permette di rilevare la posizione 3D della telecamera al momento di ogni cattura, entro pochi centime-

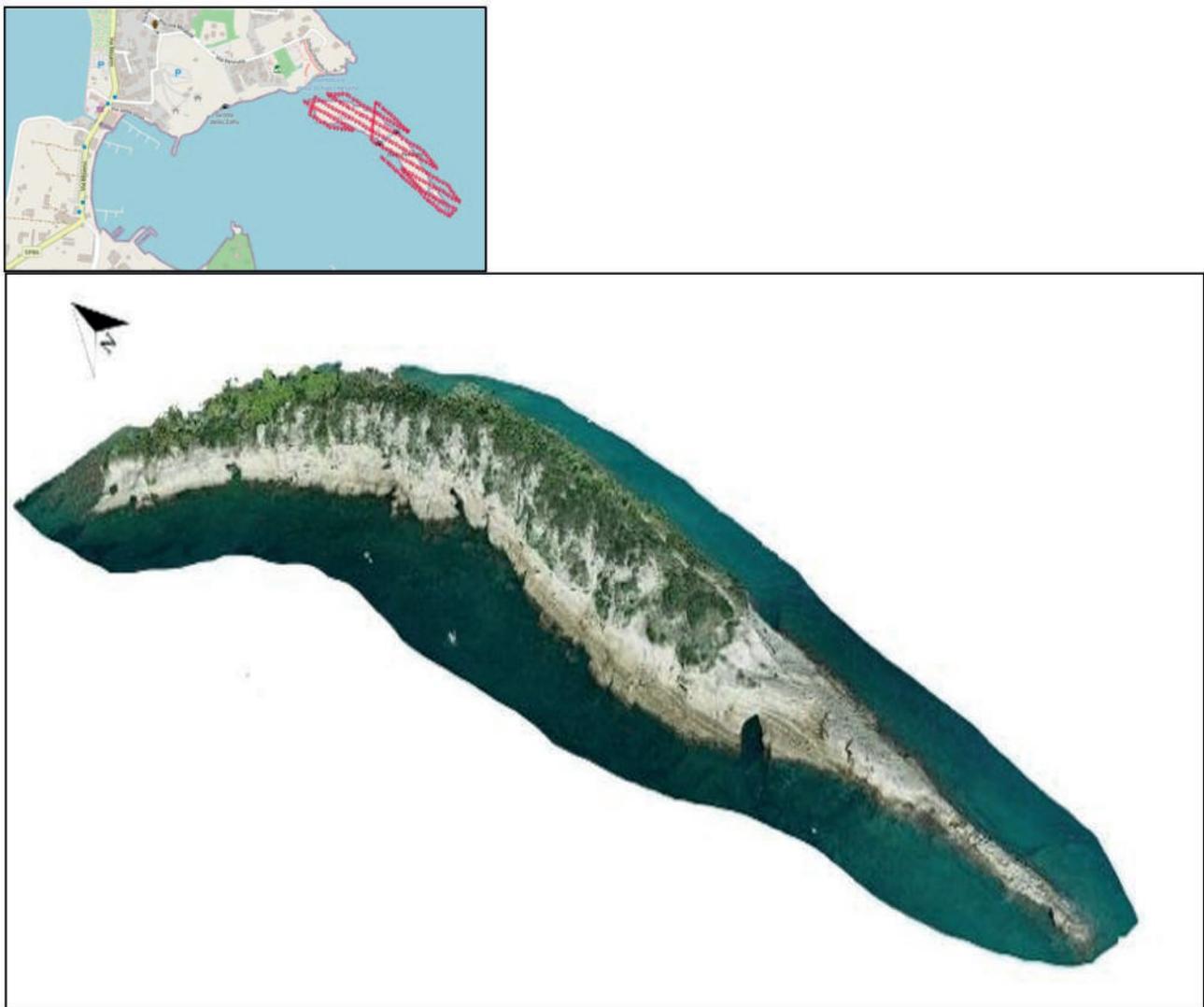


Fig. 15 - Piano di volo (a) e modello 3D dell'isolotto di Punta Pennata (b).  
- Flight plan (a) and 3D model of Punta Pennata islet (b).

tri. La posizione della telecamera può essere stimata automaticamente dal firmware e le coordinate sono memorizzate internamente. I metadati Exif sono stati referenziati alla fotocamera.

L'altitudine di volo è stata impostata a 70 m dal suolo e 239 immagini sono state acquisite seguendo un piano a griglia unica, raccogliendo così immagini solo lungo una determinata direzione (nord). In questo caso, il set di dati consisteva in immagini nadirali ed è stata mappata l'intera isola. L'elaborazione fotogrammetrica SfM è stata eseguita dal pacchetto software 3DF Zephir. L'elaborazione fotogrammetrica basata su SfM ha prodotto una nuvola di punti densa, un modello 3D, un ortofoto di precisione 2D e dati DEM dall'insieme di immagini sovrapposte per l'area di interesse. Il valore finale ottenuto dell'errore quadratico medio (RMSE), espresso in unità di pixel, risulta inferiore a 1 pixel RMSE per tutte le proiezioni eseguite. L'elevata risoluzione delle ortofoto e l'accuratezza dell'intera elaborazione post fotogrammetrica hanno consentito di ottenere misurazioni precise entro un *range* di precisione di 2 cm.

## 9. - CONCLUSIONI

Nell'area geodinamica più attiva dell'antico continente (Campi Flegrei), la penisola di Miseno ha subito profonde trasformazioni del paesaggio costiero soprattutto a causa degli eventi bradisismici avvenuti in epoca storica ed attualmente subisce anche una rapida evoluzione morfologica a seguito dell'erosione costiera. Nel I secolo a.C. fu l'imperatore Ottaviano a decidere di realizzare l'imponente infrastruttura portuale militare romana nella rada di Miseno, tra i due promontori vulcanici di Tufo giallo di Punta Pennata e Capo Miseno. Tale soluzione era necessaria perché il vicino porto Giulio, dove stazionava la flotta navale a difesa del Mediterraneo (*Classis Misenensis*), aveva manifestato evidenti problemi di ingressione marina per il bradisismo. Dopo questo trasferimento il porto militare di *Misenum* fu attivo per quasi cinque secoli, anche se esso rimane nella memoria collettiva per una azione non belligerante svolta dal *Praefectus classis* Gaio Plinio Secondo (Plinio il Vecchio) durante l'eruzione del Vesuvio nel 79 d.C., che con una nave militare (quadriremi) accorse da Miseno sui luoghi del disastro nel tentativo di portare aiuto alla popolazione in fuga (Plinio il Giovane. *Ep.* VI, 20).

La penisola di Miseno è all'interno della caldera dei Campi Flegrei (Fig. 1), una vasta area vulcanica che contiene parte della città di Napoli, proba-

bilmente coinvolta nell'eruzione dell'Ignimbrite Campana (39.000 anni BP) e che ha dato origine alla grande caldera che ha formato il Tufo Giallo Napoletano (15.000 anni BP) (TROISE *et alii*, 2019 e bibliografia al suo interno). La complessa storia vulcanologica e tettonica dell'area flegrea ha prodotto un intricato gioco di sistemi di faglie che sezionano la caldera in superficie e segnano i confini tra i corpi ad alta densità e quelli a bassa densità, con questi ultimi che includono una zona intensamente fratturata a terra che circonda la città di Pozzuoli e si estende fino a circa 2000 m di profondità, soggetta a sismicità localizzata. L'ultima eruzione nell'area è avvenuta nel 1538 d.C., preceduta da un grande episodio di sollevamento, per un totale di >17 m, iniziato circa 100 anni prima dell'eruzione. L'area ha subito, negli ultimi 2000 anni, ampi movimenti ascendenti e discendenti, con una subsidenza dominante a scala secolare (con tasso medio di 1,7 cm/anno) e, in particolare, dopo l'eruzione del 1538 d.C. Tuttavia, a partire dagli anni '50 del secolo scorso, i movimenti del suolo nell'area si sono invertiti verso il sollevamento, che dal 1950 al 1984 ha totalizzato >4 m con tassi massimi, nel 1983-1984, di circa 1 m/anno. Dopo circa 20 anni di subsidenza relativamente rapida in seguito al picco di spostamento verticale del suolo del 1984, il sollevamento è ricominciato intorno al 2004, a tassi paragonabili a quelli della subsidenza (in media 4 cm/anno), ma molto più bassi dei precedenti sollevamenti. Sia la subsidenza post-1984 che la successiva fase di sollevamento, tuttora in corso, mostrano piccoli picchi di sollevamento seguiti da un rapido recupero dell'intero sollevamento.

L'evoluzione morfologica dell'area di Miseno si inquadra nel complesso meccanismo di sollevamento e abbassamento della terra emersa per azione del bradisismo: difatti la quota di sommersione è principalmente legata a questo fenomeno e, in misura minore, all'isostasia e all'eustatismo (LAMBECK *et alii*, 2004). Il lento innalzamento del livello del mare è rilevato dalle strutture archeologiche sommerse del porto di Miseno, sebbene dell'antico porto militare di *Misenum* si conservano poche vestigia: un molo ad arcate a Punta Terone e dal lato opposto, a Punta Pennata, un altro piccolo molo ad arcate con piloni, con alcune parti dell'antico perimetro emerso sotto il livello del mare. I resti dei manufatti dell'infrastruttura portuale di epoca romana hanno consentito di evidenziare una serie di indicatori sul livello medio del mare all'epoca della sua costruzione: una variazione complessiva di innalzamento del livello del mare, compresa tra circa 3 e 4 metri, grazie ai resti murari conservati nella porzione più orien-

tale di Punta Pennata e a quelli della peschiera di Punta Terone.

La costa del Golfo di Napoli è caratterizzata da una serie di infrastrutture di importanza strategica, tra cui i porti turistici e/o commerciali e da numerose testimonianze di epoca romana localizzati tra l'area dei Campi Flegrei e Sorrento che presentano un rischio associato di eventi marini estremi: come il dissesto idrogeologico molto significativo in quest'area marina e costiera (FORTELLI *et alii*, 2021; MATANO *et alii*, 2015).

Punta Pennata è una testimonianza di tale continua evoluzione morfologica della linea di costa: infatti, nel novembre 1966 si è assistito ad una sua definitiva separazione dalla terraferma, divenendo isola, con un forte evento meteo-marino, contemporaneo alla tragica alluvione di Firenze (ALEXANDER, 1980), e che danneggiò infrastrutture portuali circostanti, quali il ponte che collega il Castello Aragonese all'isola di Ischia (LUBRANO, 2021).

Ringraziamenti

*Gli autori sono grati all'ing. Raffaele Pica dell'ENEA per alcune immagini messe a disposizione per il lavoro.*

## BIBLIOGRAFIA

- ALBORE LIVADIE C. (1986) - *Tremblements de terre, éruptions volcaniques et vie des hommes dans la Campanie antique*. Institut Français de Naples, Naples.
- ALEXANDER D. (1980) - *The florence floods - What the papers said*. Environmental Management 4, 27-34 (1980). <https://doi.org/10.1007/BF01866218>
- ANNECCHINO R. (1960) - *Storia di Pozzuoli e della zona flegrea*, Napoli, 216.
- BEAUDUCÉL F., DE NATALE G., OBRIZZO F., PINGUE F. (2004) - *3D Modelling of Campi Flegrei Ground Deformations: Role of Caldera Boundary Discontinuities*, Pure appl. Geophys. 161 0033 - 4553/04/000000 - 00DOI 10.1007/s00024-004-2507-4
- BELOCH J. (1890) - *Campania. Storia e topografia della Napoli antica e dei suoi dintorni*, trad. di F. Ferone, Napoli 1989.
- BENINI A. (2001) - *Recenti indagini a Bacoli e Miseno*, P. A. Gianfrotta - F. Maniscalco (a cura di) *Forma Maris*, Atti della rassegna internazionale di archeologia subacquea, Pozzuoli 2001, 51-56.
- BENINI A. (2008) - *Il porto e la peschiera di Miseno (NA): nuovi dati archeologici per lo studio delle variazioni del livello del mare nell'area flegrea*, in R. Auriemma-S. Karinja (a cura di), *Terre di mare. L'archeologia dei paesaggi costieri e le variazioni climatiche*. Atti del convegno internazionale di studi, Trieste, 8-10 novembre 2007, Trieste, 269-274.
- BENINI A. & LANTERI L. (2010) - *Il porto romano di Misenum: nuove acquisizioni*, in D. J. Blackman - M. C. Lentini (a cura di), *Ricoveri per navi militari nei porti del Mediterraneo antico e medievale*, Atti del workshop (Ravello, 4-5 novembre 2005), Bari, 109-116.
- BORRIELLO M. & D'AMBROSIO A. (1979) - *Baiiae - Misenum. Forma Italiae*. Regio I, XIV, Firenze.
- CAMODECA G. (1981) - *Ricerche su Puteoli tardo romana (fine III - IV secolo)*, Puteoli IV-V, 59-128.
- CANNATELLI C., SPERA F.J., BODNAR R.J., LIMA A., DE VIVO B. (2020) - *Ground movement (bradyseism) in the Campi Flegrei volcanic area: a review*, Editor(s): Benedetto De Vivo, Harvey E. Belkin, Giuseppe Rolandi, Vesuvius, Campi Flegrei, and Campanian Volcanism, Elsevier, Pages 407-433, ISBN 9780128164549, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816454-9.00015-8>.
- CINQUE A. (1991) - *La trasgressione Versiliana nella Piana del Sarno (Campania)*. Geogr. Fisica e Dinamica Quaternaria, 14, (1), 63-71.
- CINQUE A., RUSSO F., PAGANO M. (2017) - *La successione dei terreni di età post-romana delle terme di Miseno (Napoli): nuovi dati per la storia e la stratigrafia del bradisismo puteolano*, in Boll. Soc. Geol. It., 110, 1991, 231-244.
- D'ANTONIO M., CIVETTA L., ORSI G., PAPPALARDO L., PIOCHI M., CARANDENTE A., DE VITA S., DI VITO M.A., ISAIA R. (1999) - *The present state of the magmatic system of the Campi Flegrei caldera based on a reconstruction of its behaviour in the past 12 ka*. Journal of Volcanology and Geothermal Research 91, 247-268.
- DE'GENNARO M., INCORONATO A., MASTROLORENZO G., ADABBO M., SPINA G. (1999) - *Depositional mechanisms and alteration processes in different types of pyroclastic deposits from Campi Flegrei volcanic field (Southern Italy)*. J. Volcanol. Geotherm. Res. 9 1. 303-320.
- DI GIROLAMO P., GHIARA M.R., LIRER L., MUNNO R., ROLANDI G., STANZIONE D. (1984) - *Vulcanologia e petrologia dei Campi Flegrei*. Boll. Soc. Geol. It. 103. 349-413.
- DI VITO M., ISAIA R., ORSI G., SOUTHON J., DE VITA S., D'ANTONIO M., PAPPALARDO L., PIOCHI M. (1999) - *Volcanism and deformation since 12.000 years at the Campi Flegrei caldera (Italy)*. J. Volcanol. Geotherm. Res. 91. 221-246.
- DE ROSSI G. (2002) - *Il porto di Miseno tra Costantino e Gregorio Magno: nuova luce dalle recenti acquisizioni*, in M. Khanoussi *et alii* (a cura di), *L'Africa Romana. Atti del XIV Congresso di studi*, Sassari 7-10 dicembre 2000, Roma, 835-846.
- DE ROSSI G., DI GIOVANNI V., MINIERO P., SALMIERI S., SORICELLI G. (2010) - *Il porto di Miseno (Campania - Italia) in età tardoantica: analisi dei contesti ceramici*, in S. Menchelli *et alii* (a cura di), *LRCW3 Late Roman Coarse Wares, Cooking Wares and Amphorae in the Mediterranean Archaeology and archaeometry. Comparison between western and eastern Mediterranean*, Oxford, 487-495.
- DELLI FALCONI M. A. (1538) - *Dell'incendio di Pozzuolo Marcantonio delli Falconi all'ill.ma signora marchesa della Padula nel MDXXXVIII*, Napoli.
- DI VITO M.A., ACOCCELLA V., AIELLO G., BARRA D., BATTAGLIA M., CARADANTE A., DEL GAUDIO C., DE VITA S., RICCIARDI G. P., RICCO C., SCANDONE R. & TERRASI F. (2016) - *Magma transfer at Campi Flegrei caldera (Italy) before the 1538 AD eruption*. Scientific reports.
- DVORAK J.J. & MASTROLORENZO G. (1991) - *The mechanism of recent vertical crustal movements in Campi Flegrei caldera, southern Italy*. Geol. Soc. Am. Bull. Special Paper. p. 47.
- FEDELE L., INSINGA D., CALVERT A.T., MORRA V., PERROTTA A. & SCARPATI C. (2011) - *40Ar/39Ar dating of tuff vents in the Campi Flegrei caldera (southern Italy): toward a new chronostratigraphic reconstruction of the Holocene volcanic activity*. Bulletin of Volcanology, 73, 1323-1336.
- FEDELE A., SOMMA R., TROISE C., HOLMBERG K., DE NATALE G., MATANO F. (2021) - *Time-Lapse Landform Monitoring in the Pisciarelli (Campi Flegrei-Italy) Fumarole Field Using UAV Photogrammetry*. Remote Sens. 2021, 13, 118. <https://doi.org/10.3390/rs1301011>

- FORTELLI A., FEDELE A., DE NATALE G., MATANO F., SACCHI M., TROISE C., SOMMA R. (2021) - *Analysis of Sea Storm Events in the Mediterranean Sea: The Case Study of 28 December 2020 Sea Storm in the Gulf of Naples, Italy*. Appl. Sci. 2021, 11, 11460. <https://doi.org/10.3390/app112311460>
- FREDERIKSEN M. (1977) - *Una fonte trascurata sul bradisismo puteolano*, I Campi flegrei nell'archeologia e nella storia (Roma 1976), Atti Lincei, 33, Roma, 117-130.
- FUSI N., MIRABILE L., CAMERLENGHI A., RANIERI G. (1991) - *Marine geophysical survey of the Gulf of Naples (Italy). Relationship between submarine volcanic activity and sedimentation*. Mem. Soc. Geol. Ital. 47, 95-114.
- GIANFROTTA P. A. (1998) - *I porti dell'area flegrea*, in G. Laudizi - C. Marangio (a cura di), Porti, approdi e linee di rotta nel Mediterraneo antico. Atti del seminario di studi. Lecce, 29-30 novembre 1996, Lecce, 153-176.
- GIANFROTTA P. A. (2020) - *Tracce e indizi del bradisismo flegreo: fonti e testimonianze archeologiche*, Atlante Tematico di Topografia Antica, 30, Roma, 193-261.
- GIANFROTTA P. A. & SCARDOZZI G. (2003) - *Strutture costiere e sommerse*, in (a cura di) M. Guaitoli, *Lo sguardo di Icaro*, Roma, 479-492.
- ILLIANO G. (2019) - *Città e territorio nella penisola di Misenum*, VRIJE UNIVERSITEIT Research Portal.
- INSINGA D., CALVERT A. T., LANPHERE M. A., MORRA V., PERROTTA A., SACCHI M., SCARPATI C., SABUOMARU J., FEDELE L. (2006) - *The Late-Holocene evolution of the Miseno area (south-western Campi Flegrei as inferred by stratigraphy, petrochemistry and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology*. Volcanism in the Campania Plain: Vesuvius, Campi Flegrei and Ignimbrites edited by B. De Vivo Elsevier B.V.
- ISAIA R., VITALE S., MARTURANO A., AIELLO G., BARRA D., CIARCIA S., IANNUZZI E., TRAMPARULO F. (2019) - *High-resolution geological investigations to reconstruct the long-term ground movements in the last 15 kyr at Campi Flegrei caldera (southern Italy)*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, Volume 385, 143-158. ISSN 0377-027.
- LAMBECK K., ANZIDEI M., ANTONIOLI F., BENINI A., ESPOSITO A. (2004) - *Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for recent change*, Earth and Planetary Science Letters Elsevier 224, 563-575.
- LANTERI L. (2014) - *Il Porto di Miseno*, Atlante Tematico di Topografia Antica, 24, Roma 2014, 179-196.
- LIRER L., PETROSINO P., ALBERICO I., ARMIERO V. (2011) - *Carta Geologica d'Italia dei Campi Flegrei alla scala 1:25.000*, Allegata a Lirer L. (ed.), I Campi Flegrei: storia di un campo vulcanico. Quaderni dell'Accademia Pontaniana, Napoli.
- LOWE D.G. (1999) - *Object recognition from local scale-invariant features*, In Proceedings of the Conference on Computer Vision, Kerkyra, Greece, 20-27 September 1999; Volume 2, 1150-1157.
- LUBRANO A. (2021) - <https://www.ilgolfo24.it/rievocato-con-ricordi-inesatti-quel-terribile-4-novembre-di-55-anni-fa> (consultato il 13 nov.2022).
- MARZANO A. (2015) - *Sergio Orata e il Lago Lucrino: alcune considerazioni sull'allevamento di ostriche nella Campania romana*, in Oealus. Studi sulla Campania nell'antichità, 10, 131-150.
- MATANO F., IULIANO S., SOMMA R., MARINO E., DEL VECCHIO U., ESPOSITO G., MOLISSO F., SCEPI G., GRIMALDI G.M., PIGNALOSA A., CAPUTO T., TROISE C., DE NATALE G. & SACCHI M. (2016) - *Geostructure of Coroglio tuff cliff, Naples (Italy) derived from terrestrial laser scanner data*, Journal of Maps, 12:3, 407-421, DOI: 10.1080/17445647.2015.1028237
- MILIA A., MIRABILE L., TORRENTE M.M., DVORAK J.J. (1998) - *Vulcanismo al largo del vulcano Vesuvio nel Golfo di Napoli*. Bull Volcanol. 59, 404-413.
- MILIA A. & TORRENTE M. M. (2007) - *The influence of paleogeographic setting and crustal subsidence on the architecture of ignimbrites in the Bay of Naples (Italy)*, Earth and planetary science Letters Elsevier, 263, 3-4, 30 November, 192-206.
- MINIERO FORTE P. (1989) - *Stabiae. Pitture e stucchi delle ville romane*, Napoli.
- PAPPALARDO U. & RUSSO F. (2001) - *Il bradisismo dei Campi Flegrei (Campania): dati geomorfologici ed evidenze archeologiche*, in Gianfrotta P.A. - Maniscalco F. (a cura di), Atti del Forum Internazionale di Archeologia Subacquea, Forma Maris, Pozzuoli 1998, Napoli, Massa Ed., 107-119.
- RABAH M., BASIOUNY M., GHANEM E., ELHADARY A. (2018) - *Using RTK and VRS in direct geo-referencing of the UAV imagery*, NRIAG J. Astron. Geophys., 7, 220-226.
- ROLANDI G., BELLUCCI F., HEIZLER M., BELKIN H.E., DE VIVO B. (2003) - *Tectonic controls on the genesis of Ignimbrites from the Campania volcanic zone, Southern Italy*, Mineral. Petrol. 79, 3-31.
- ROLANDI G., DE NATALE G., KILBURN C.R.J., TROISE C., SOMMA R., DI LASCIO M., FEDELE A., ROLANDI R. (2020) - *The 39 ka Campanian Ignimbrite eruption: new data on source area in the Campanian Plain*, Editor(s): Benedetto De Vivo, Harvey E. Belkin, Giuseppe Rolandi, Vesuvius, Campi Flegrei, and Campanian Volcanism, Elsevier, 175-205, ISBN9780128164549, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816454-9.00008-0>.
- ROSI M. & SBRANA A. (1987) - *Phelegrean Fields*. CNR. Quaderni de "La Ricerca Scientifica". Vol. 114, 9. 176 pp.
- SCANDONE R., BELLUCCI F., LIRER L., ROLANDI G. (1991) - *The structure of the Campanian Plain and the activity of the Neapolitan volcanoes (Italy)*. J. Volcanol. Geotherm. Res. 48 (1 /2). 1-31.
- SCARPATI C., COLE P., PERROTTA A. (1993) - *The Neapolitan Yellow Tuff - A large volume multiphase eruption from Campi Flegrei, Southern Italy*. Bull. Volcanol. 55. 343-356.
- SCARPATI C., PERROTTA A., SPARICE D. (2012) - *Eruptive history of Neapolitan volcanoes: constraints from <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating*, Geological Magazine/ FirstView Article /October, 1-14.
- SCARPATI C., PERROTTA A., LEPORE S., CALVERT A. (2013) - *Eruptive history of Neapolitan volcanoes: constraints from <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar dating*. Geol. Mag. 150 (3), 412-425.
- SCARPATI C., PERROTTA A., SPARICE D. (2015) - *Volcanism in the city of Naples*. Rend. Online Soc. Geol. It., Vol. 33, 88-91.
- SCOGNAMIGLIO E. (2004) - *Indagini archeologiche subacquee a Miseno*, in Bollettino Flegreo, S III, 17, 33-39.
- SCOGNAMIGLIO E. (2006) - *Archeologia subacquea a Miseno (Campi Flegrei)*, in Archeologia Marittima Mediterranea, 3, 2006, 65-77.
- SOMMA R., IULIANO S., MATANO F., MOLISSO F., PASSARO S., SACCHI M., TROISE C. & DE NATALE G. (2016) - *High-resolution morpho-bathymetry of Pozzuoli Bay, southern Italy*, Journal of Maps, 12:2, 222-230, DOI: 10.1080/17445647.2014.1001800
- SPETSAKIS M. & ALOIMONOS J.Y. (1991) - *A multi-frame approach to visual motion perception*, Int. J. Comput. Vis., 6, 245-255.
- STANISLAO C. (2017) - *Geomorphological and geoarchaeological indicators of vertical ground motions to reconstruct landscape morphoevolution of Campania*. Dipartimento della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse. PhD. thesis, xxx cycle, 275.

TROISE C., DE NATALE G., SCHIAVONE R., SOMMA R., MORETTI R. (2019) - *The Campi Flegrei caldera unrest: Discriminat-*

*ing magma intrusions from hydrothermal effects and implications for possible evolution*, Earth Sci Rev., 188, 108-122.