

NUOVE EVIDENZE DALL'AREA DEL PORTO DI PUTEOLI (POZZUOLI) CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AL MACELLUM (C.D. SERAPEO) IN RELAZIONE ALLE DIVERSE FASI DEL BRADISISMO FLEGREO

L. Amato¹, C. Gialanella²

¹ Tecno In Geosolutions S.p.A., Milano, Napoli

² Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Napoli

Inquadramento dei luoghi. *Inquadramento geologico geografico.* L'area in esame si colloca, dal punto di vista territoriale, nel settore occidentale del Distretto Vulcanico dei Campi Flegrei, area ancor oggi vulcanicamente attiva. Nello specifico, il settore di studio ricade nel territorio del Comune di Pozzuoli (Na), lungo la fascia costiera compresa tra lo stabilimento industriale Sofer e la darsena sottostante il promontorio di Rione Terra (Fig. 1). La zona risulta delimitata a NO e a NE dal terrazzo marino de La Starza, a SE dal promontorio di Rione Terra ed a Sud dal Mar Tirreno. Caratteristica saliente dell'area flegrea e del suo centro principale, Pozzuoli, è il fenomeno vulcanico del bradisismo.

Il bradisismo (movimento lento del suolo) nell'area puteolana ha determinato un sollevamento del suolo di circa 90 m negli ultimi 10.000 anni. Questo fenomeno, all'interno della caldera del Tufo Giallo Napoletano, è cominciato tra 10.500 e 8.000 anni fa, l'acme della risorgenza è stato raggiunto circa 5.000 anni fa. La parte maggiormente sollevata del fondo calderico è proprio il blocco de La Starza, costituito dall'omonimo terrazzo marino, posto alle spalle del centro

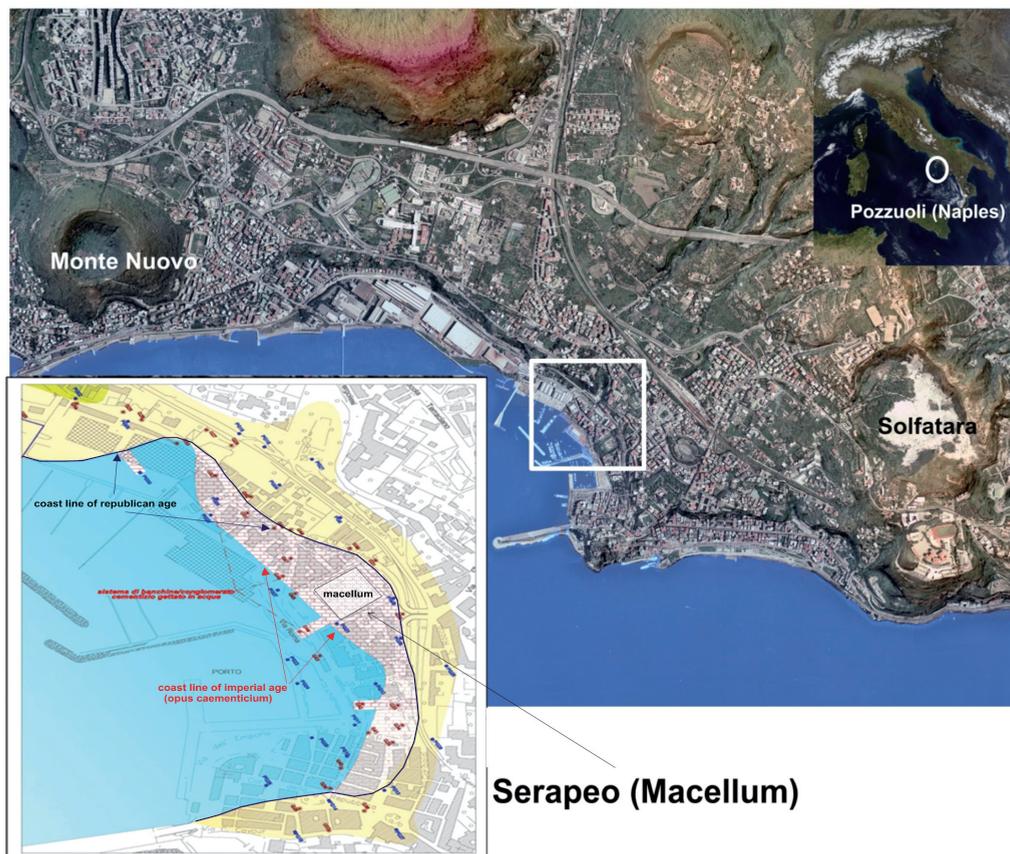


Fig. 1 – Inquadramento generale dei luoghi, ricostruzione della linea di costa in età repubblicana e sviluppo dell'ampliamento a mare delle banchine portuali in epoca imperiale.

antico di Pozzuoli e quindi dell'area d'interesse. Deformazioni sono state di recente evidenziate e studiate nei Campi Flegrei (1969-1982). La presenza della linea di costa di età romana a una profondità media di ca. 3-5 m sotto il livello del mare, e di numerose rovine di età romana e medievale a profondità variabili al di sotto del livello del mare è un'evidenza della generale subsidenza subita dall'area dei Campi Flegrei negli ultimi 2.000 anni. Una inversione di questo andamento si verificò prima dell'eruzione del Monte Nuovo del 1538 (Fig. 1) quando, sin dall'inizio del XIV secolo, a seguito di un lento sollevamento del suolo, la linea di riva avanzò nel tratto compreso tra Baia e Pozzuoli. L'eruzione fu seguita da una lenta subsidenza che presumibilmente si arrestò solo nel 1969, quando ebbe inizio una nuova fase di sollevamento. Tra il 1969 e la metà del 1972, i Campi Flegrei furono interessati dalla prima delle due crisi bradisismiche, con un sollevamento nell'area di Pozzuoli di 1.7 m. All'inizio del 1982 cominciò una nuova fase di intenso sollevamento che, alla fine del 1984, raggiunse il suo valore di 1.8 m. Dalla fine del 1984 è ripresa una generale lenta subsidenza interrotta solo da sporadici episodi di sollevamento di scarsa entità. Il fenomeno di bradisismo ascendente è sempre accompagnato dal manifestarsi di sismi, di magnitudo variabile, in relazione all'entità dell'evento.

Inquadramento storico. Pozzuoli è posizionata al centro dei Campi Flegrei; la sua eccezionale posizione geografica ed il suo *status* di colonia romana consentirono l'incremento del commercio nel Mediterraneo occidentale così da far diventare la città, in breve tempo, il principale porto di Roma; l'intenso traffico marittimo che andava a rifornire l'Urbe, infatti, proveniente dalla Sicilia, dall'Africa e dall'Oriente faceva capo a *Puteoli*. Per tutto il II secolo e fino ad Età Severiana, la città mantenne un ruolo di grande prestigio, tanto che ancora nel 394 d. C. (CIL X, 1692) è attestato un restauro degli impianti portuali posti in prossimità del *Macellum* a dimostrazione di come, alla fine del IV sec., il porto fosse ancora in attività; non molti anni dopo, tuttavia, il declino delle attività commerciali di *Puteoli* e l'aggravarsi dei movimenti bradisismici determinarono il progressivo degrado della *ripa* ed il suo inabissamento.

Lungo il tratto di costa a Nord del molo e a Nord-Ovest dell'acropoli si sviluppava l'*Emporium*, il grande quartiere portuale di *Puteoli*, dove era concentrato il traffico commerciale e alle sue spalle dovevano sorgere, già a partire forse dal II sec. a.C., grandi magazzini di stoccaggio (*horrea* e *granaria*). Esso aveva nel *Macellum* il suo edificio principale. Tutta l'area dell'*Emporium* era delimitata verso mare da banchine con portici.

Poco rimane visibile degli edifici e delle strutture dell'*Emporium* e della *ripa*, in parte sommerse dalle acque, in parte da consistenti opere di bonifica effettuate nei secoli per rialzare i piani di calpestio a seguito di fenomeni di subsidenza. Ancora visibile è il *Macellum*, riportato alla luce tra la metà del '700 e gli inizi dell'800. L'edificio, uno dei più grandi conosciuti nel mondo romano, è databile tra la fine del I e il II sec. d. C. Una consistente opera di risistemazione si ebbe in Età Severiana, epoca a cui risale la *tholos* centrale, che ha in parte obliterato la veduta delle grandi colonne, che, da sempre, sono considerate la misura ed il simbolo del bradisismo.

Risultati delle indagini. *La ricostruzione della linea di costa.* La ricostruzione della linea di costa individua, in età romana repubblicana, una fascia emersa molto ridotta rispetto alle ricostruzioni effettuate in passato (Fig. 1); L'analisi dei sedimenti di ambiente sommerso permette di ipotizzare un sollevamento bradisismico tra l'età repubblicana e l'età augusteo-giulioclaudia, testimoniato da un ambiente sedimentario di transizione. Tale fenomeno provoca un avanzamento della linea di costa.

Il sollevamento bradisismico, unitamente allo sviluppo del porto di *Puteoli*, in relazione all'approvvigionamento granario di Roma, potrebbe essere uno dei fattori che hanno contribuito al forte impulso urbanistico che trasforma radicalmente la parte bassa della città. La rilevante presenza di strutture rinvenute nei sondaggi, in particolare in zone all'epoca sommerse, conferma gli interventi volti alla risistemazione della *ripa*, con la realizzazione di un imponente sistema di banchine che consente di guadagnare terra e, quindi, far avanzare la linea di costa.

Le indagini, infatti, intercettano un primo livello di strutture in conglomerato cementizio (*opus caementicium*) di notevole spessore. Le caratteristiche materiche delle stesse, nonché il

È su tale imponente opera di colmata che si costruisce il *Macellum* (mercato), in posizione prominente sul mare.

Di seguito, al fine di chiarire lo sviluppo nei secoli del fenomeno bradisismico e, quindi, delle varie fasi del monumento, si fa riferimento alla sequenza ricostruita nella sezione allegata (Fig. 2), posizionata in corrispondenza del *Macellum*, da sempre utilizzato quale “marker” per lo studio dei fenomeni di deformazione dell’area.

Recenti indagini hanno consentito di chiarire lo sviluppo nel tempo della zona e di aggiungere nuove informazioni a quelle derivanti dagli scavi settecenteschi e ottocenteschi che segnalavano un ulteriore pavimento sottoposto di 2 metri a quello attualmente visibile di Età Tardo flavia-traiana.

In particolare, è stato rinvenuto un piano pavimentale in cocciopesto a circa -3.5 m s.l.m. (I pavimento - cfr. S21 S23 e S24), posto in opera immediatamente al disopra della banchina di Età Augustea, realizzata mediante una gettata a mare in *opus caementicium*.

Il rinvenimento dello stesso pavimento in ulteriori carotaggi, ubicati più a nord, fa ritenere che questa pavimentazione fosse estesa a tutta la superficie della banchina. In tale ipotesi, laddove non intercettata, la pavimentazione sarebbe stata distrutta o erosa dal mare durante la successiva fase di subsidenza.

Ritornando all’area del *Macellum*, il suddetto pavimento rappresentava il primo piano di frequentazione, databile verosimilmente all’Età Augustea. Le quote di rinvenimento del tetto delle banchine (circa -3.5 m s.l.m.), unitamente alle quote dei piani pavimentali, permettono di ipotizzare un livello marino medio dell’epoca a una quota di -5.00/-5.50 m rispetto a quello attuale.

Successivamente, si colgono i segni di una risistemazione edilizia, probabilmente operata in Età Flavia, indiziata in S21 (Fig. 2A) dalla realizzazione di una struttura poggiante sul piano in cocciopesto sopra descritto. Tale struttura doveva essere parte di un intervento più ampio, comprendente anche i muri intercettati in PG23 e in S22 (in crollo); non ci sono elementi per definire se anche la struttura intercettata in S24 rientrasse nella stessa fase edilizia o, essendo più arretrata, potesse essere già preesistente.

Osservando che i sondaggi PG23, S21 e S22 sono ubicati nella porzione più avanzata verso mare, sebbene manchino indizi di un’ingressione marina e quindi di fenomeni di subsidenza dell’area, non si può escludere l’ipotesi che le strutture sopracitate rappresentino il rialzamento della banchina al fine di contrastare l’avanzata del mare e proteggere la retrostante area del *Macellum*. L’ipotesi trova conforto nell’evidenza del rifacimento dei piani di frequentazione del *Macellum* a quote più alte (S25: -2.99/-3.09 m s.l.m.) ovvero dapprima a circa -3 m s.l.m. attuale (II pavimento) e successivamente a -2.2 m s.l.m. attuale (III pavimento). Quest’ultimo livello ben si raccorda con le quote delle pavimentazioni presenti alla sommità delle strutture in elevato sulla banchina. Esse si attestano a circa -2.3 m s.l.m. attuale, ovvero circa 1m al disopra del precedente primo pavimento in cocciopesto (S23 :-2.07 / -2.27 s.l.m.; PG23:-2.39/-2.44 s.l.m.; PG21 -2.26/-2.36 s.l.m.), pressoché alle stesse quote di un basolo, che si può ipotizzare pertinente ad un piano stradale, rinvenuto in PG8 (-2.35 /-2.60 s.l.m.).

Purtroppo, l’assenza di materiale datante negli accumuli compresi tra i piani pavimentali del *Macellum* non consente una precisa scansione cronologica dei rifacimenti. Tuttavia, il rinvenimento di sabbie grossolane nell’accumulo su cui poggiava l’ultimo pavimento in S25, rafforza l’ipotesi dell’ingressione marina come causa determinante delle risistemazioni, che sarebbero quindi correlabili alla fase subsidente di Età Tardo flavia-traiana.

Il dato risulta peraltro coerente con la quota del piano pavimentale inferiore del *Macellum*, rinvenuto negli scavi realizzati nei secoli scorsi, databile ad epoca flavia, attestato a circa -2.00 m circa s.l.m.

Già in Età Tardo flavia, i dati indicano un’inversione dei processi bradisismici, con l’inizio di una fase di subsidenza che causa l’affioramento della falda acquifera. La deposizione di limi sulle banchine induce alla realizzazione di consistenti opere di rifacimento e rialzamento dei piani pavimentali. Le indagini hanno individuato, nelle zone costiere interessate dalla costruzione

delle banchine in età augustea, livelli di crollo e disfacimento associati a depositi limosi e limo-sabbiosi, con spessori variabili da pochi centimetri a circa 2.00 m. Le caratteristiche di tali depositi testimoniano la presenza di fenomeni ingressivi e di una falda acquifera sub-affiorante, che non provocano la sommersione e l'abbandono dell'area, ma rendono necessaria una serie di interventi di innalzamento e rifacimento delle strutture portuali e dei relativi piani pavimentali. A tale fase è attribuibile l'attuale pavimentazione (IV pavimento) del monumento, venuta alla luce a seguito degli scavi voluti nel 1750 da Carlo III di Borbone re di Napoli, e successivamente re di Spagna, nel luogo noto come la Vigna delle Tre Colonne. Nei settori più arretrati, invece, i movimenti bradisismici sono testimoniati dalla presenza di sottili livelli di abbandono a granulometria limosa, ma senza i potenti crolli che caratterizzano la zona costiera.

I dati oggi disponibili indicano un parziale riassetto di alcune aree circostanti il *Macellum*, che viene anch'esso risistemato, come testimonia una *fistula plumbea* con il nome di Settimio Severo e la costruzione della *tholos* al centro della corte marmorea.

In Età Postantica e Medievale i fenomeni di bradisismo negativo, ben attestati e noti dall'analisi delle fonti, nonché dallo studio delle tracce dei litodomi (*lithodomus lithophagus*) sulle colonne antistanti l'aula absidata del *Macellum*, causano l'innalzamento del livello marino fino a +7/+8 m e l'abbandono e la sommersione della città bassa. Di tale periodo non si ha testimonianza dalle indagini essendo tale fase ingressiva prevalentemente erosiva.

In Età Vicereale e Borbonica la sedimentazione è costituita da sabbie generalmente di spiaggia, che testimoniano l'emersione postmedievale della città, con un avanzamento della linea di costa. Sono queste, infatti, le fasi di completa emersione dell'area della città bassa in relazione all'eruzione di Monte Nuovo (1538). Ciò determina un nuovo piano urbanistico, di cui troviamo traccia nelle indagini con il rinvenimento di resti di strutture nell'area antistante il *Macellum*. Successivamente, tra XVIII e XX sec. ampi settori della zona costiera di Pozzuoli sono interessati da opere di bonifica e livellamento tendenti a rialzare i piani, in relazione a nuove fasi di subsidenza attive fin alla prima metà del XX sec., quando le ben note crisi di sollevamento tra il 1972 il 1984 hanno invertito il "trend" generale.

La colmata delle banchine portuali. Particolarmente importante appare Pozzuoli nella storia dell'ingegneria portuale, per l'uso dell'opera cementizia in gettate di moli e dighe. Il fatto è già messo in risalto da Strabone (V,4,6) che, parlando del "grandissimo porto commerciale" di Pozzuoli, ricorda gli "ancoraggi artificiali (che si sono potuti fare) grazie alla natura favorevole della polvere", il *pulvis Puteolanus*, chiamata ancor oggi pozzolana.

Abbiamo già accennato alle caratteristiche materiche dell'*opus caementicium*, costituito da pezzame di tufo, in abbondante malta pozzolanica, estremamente ricca in nuclei di calce non sciolta e, in alcuni casi, non completamente rappresa, che risulta il nucleo portante della realizzazione dell'ampliamento a mare delle banchine realizzate in Età Augustea. La composizione materica ci conferma quanto riportato dalle fonti antiche, in particolare da Vitruvio, sulla realizzazione dei porti, che descrive (*De Architectura*, V, XII) le tecniche fondamentali di costruzione delle strutture in acqua, basate su tre metodi: i primi due illustrano le opere da fare direttamente sul punto di destinazione, mediante gettata in casseforme di legno; il terzo contempla la realizzazione a terra di blocchi prefabbricati da gettare poi in acqua. Solo per il primo modo, Vitruvio prescrive esplicitamente l'impiego dell'*opus caementicium* con pozzolana: "la struttura del molo destinata a rimanere sott'acqua deve essere fabbricata con polvere pozzolana importata da quella regione che si estende da Cuma fino al promontorio di Minerva (Punta della Campanella – Sorrento), mescolandola in modo che si trovi in proporzione di due parti per una (di calce)".

Lo stesso autore descrive anche le proprietà del *pulvis Puteolanus*, sottintendendo la qualità pozzolanica dell'aggregato, che permette alla malta di resistere all'acqua e di solidificare anche in ambienti molto umidi, grazie alla presenza nel *pulvis* di una cospicua quantità di silicato d'alluminio. In sintesi, aggiungendo la pozzolana alla calce aerea, questa viene trasformata in calce idraulica.

Nel nostro caso, i costruttori avevano aggiunto come *caementa* frammenti e blocchi di tufo, materiale ricco in zeoliti, che sono dei silico-alluminati idrati di metalli alcalini e/o alcalino-terrosi (cabasite e phillipsite). Ne consegue, inconsapevolmente, un miglioramento della reazione idraulica.

La pozzolana veniva anche esportata da Pozzuoli alle coste della Palestina, ad esempio per la costruzione del porto di Erode a *Caesarea Maritima*, giacché costituiva infatti un perfetto carico di ritorno per le navi che trasportavano grano da Alessandria a *Puteoli*.

Per quanto concerne la tecnica costruttiva delle banchine, vista l'opportunità del comodo approvvigionamento del *pulvis Puteolanus* e la gettata direttamente sulla sabbia, possiamo ritenere che la realizzazione sia stata eseguita secondo i dettami del primo metodo illustrato da Vitruvio, ovvero della "*cassaforma inondata*". Questo era, infatti, il metodo più semplice ed economico. La caratteristica saliente per la gettata in acqua consiste nell'assenza di stagnatura di questo tipo di cassa, che, secondo Vitruvio, non doveva nemmeno avere il fondo. Infatti, una volta assemblata la struttura, "(l') *inferior pars sub aqua* (era) *exaequanda et purganda*. Testualmente¹: "*quindi, in quel punto stabilito, si debbono affondare e bloccare con sicurezza delle casseforme tenute insieme da montanti di quercia e tiranti trasversali; poi, nel vano interno, (lavorando) dalle traversine si deve livellare e pulire il fondale [exaequanda et purganda] e gettare la malta, preparata come è spiegato sopra, mischiata al pezzame di pietra, fino a che lo spazio tra le paratie non sia riempito di calcestruzzo*".

Vitruvio dà, tuttavia, una spiegazione "parzialmente impropria" delle qualità chimiche della pozzolana: impropria, poiché egli non conosce la reazione che avviene nella trasformazione dalla calce aerea alla calce idraulica e il chimismo che la sottintende; parzialmente, poiché nella sua descrizione del *pulvis Puteolanus* (*De Architectura*, II, VI, 1) scrive: "*E ciò sembra possibile perché alle pendici del monte vi sono terre e sorgenti calde per la presenza sotterranea di giacimenti di zolfo, allume e bitume che alimentano enormi fuochi*".

Analisi dei dati. *La curva delle deformazioni del suolo nel tempo.* Come già scritto, il *Macellum* è identificato da sempre come "marker" per lo studio dei movimenti deformativi dell'area flegrea. L'importanza della fenomenologia del bradisismo è presentata nella magistrale opera di C. Lyell, «*Principles of geology*» del 1830-33, nella quale l'Autore, per sostenere il principio dell'attualismo quale chiave di lettura dei fenomeni del passato, porta come esempio il fenomeno bradisismico di Pozzuoli, dove le colonne del *Macellum* avevano registrato il lento e costante movimento del suolo nei secoli (Lirer *et al.*, 2010).

I dati emersi dallo studio permettono una rilettura della curva delle deformazioni del suolo nel tempo (Fig. 3).

La ricostruzione prende come riferimento il primo pavimento di Età Augustea, ipotizzando una quota di imposta dell'epoca pari a 1.5 m s.l.m.. Tale scelta si è resa necessaria al fine di poter ricostruire l'andamento delle variazioni del suolo in epoca antica, nonché avere un livello di riferimento certo. Sulla scorta di tali dati viene ricostruita anche la curva relativa al IV pavimento superiore (attualmente visibile) di Età Tardo flavia-traianea.

Vengono proposte le due curve nella considerazione che non si possano ricostruire correttamente le deformazioni del suolo senza considerare i reinterri realizzati in epoca antica.

Attualmente il I pavimento è ad una quota di circa -3.5 m s.l.m.

I valori riportati sulla curva sono relativi alla probabile posizione del I pavimento relativamente alle distanze che lo separano dai "markers" soprastanti. Ad esempio, nel caso del IV pavimento, intercorre uno spessore di 3.5 m. Nell'ipotesi, quindi, di una quota di imposta del IV pavimento di 1.5 m s.l.m., il I pavimento sarà ad una quota di -2.0 m s.l.m..

1 Deinde tunc in eo loco, qui definitus erit, arcae stipitibus robusteis et catenis inclusae in aquam demittendae destinandaeque firmiter; deinde inter ea extrastilis inferior pars sub aqua exaequanda et purganda, et caementis ex mortario materia mixta, quemadmodum supra scriptum est, ibi congerendum, denique compleatur structura spatium, quod fuerit inter arcas.

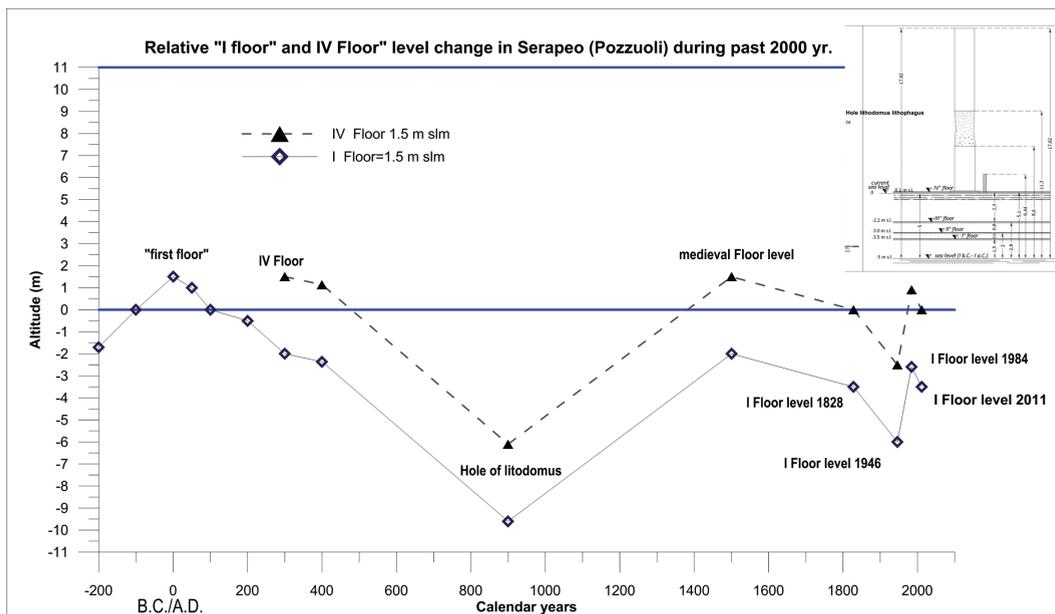


Fig. 3 – Ricostruzione della curva delle deformazioni del suolo nel tempo in relazione al primo e al quarto pavimento.

La profondità del massimo inabissamento è normalmente considerata di circa -6.3 m, in relazione ai fori dei litodomi presenti sulle colonne di marmo cipollino del *Macellum* a partire dal livello dell'attuale pavimentazione marmorea (nella presente nota IV pavimento), sulla quale poggiano le colonne che, come abbiamo visto, è posta su un reinterro artificiale di circa 3.5 m rispetto al I pavimento, realizzato per contrastare i fenomeni di abbassamento del suolo. Pertanto riteniamo che la misura corretta della massima profondità di abbassamento del suolo, con riferimento al I piano pavimentale, sia di -9.8 m, o di -11.3 m se riferita al probabile livello del mare.

Se prendiamo in considerazione la curva relativa al IV pavimento di età Tardo flavia-severiana, ponendolo ad una quota di 1.5 m s.l.m. all'epoca della sua realizzazione e mantenendo quindi inalterati i rapporti con i pavimenti sottostanti, si rileva come la quota dei fori dei litodomi si ponga sulla curva ad una profondità di -6.2 m, molto prossima a quella reale misurata come distanza dal IV pavimento e riportata anche dal Parascandola (1983). Analogo discorso si può fare per la quota del pavimento medievale, la cui quota risulta pari circa 1.3 m s.l.m.. Per quanto concerne le misure a partire dal 1828, di queste si conoscono le quote del IV pavimento e quindi risulta agevole ricostruire ambedue le curve.

Va sottolineato come dall'analisi della curva relativa al I pavimento emerge come i livelli di età repubblicana augustea non hanno mai recuperato i complessivi valori di abbassamento cumulati nei primi dieci secoli dello scorso millennio. Analogamente si ritiene fondamentale la datazione cronologica dei fattori antropici che sovente vengono utilizzati a supporto dello studio dei fenomeni di innalzamento o abbassamento del suolo nell'area flegreo napoletana.

Bibliografia

- Amato L. 2012. Nuove evidenze connesse ai fenomeni di deformazione del suolo nell'ambito del bradisismo Flegreo. *31° Congresso Gruppo di Geofisica della Terra Solida*.
- Amato L., Gialanella C., 2013 New evidences on the Phlegraean bradyseism in the area of *Puteolis* harbour. *Proceedings of Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites* (Napoli, Italy 30-31May 2013).
- Gianfrotta P. (1991) - Navi, flotte, porti e il viaggio per mare. In: Settis S., *Civiltà dei Romani. La città, il territorio, l'impero*, Electa Milano Ed..

- Lirer L., Petrosino P., Armiero V, 2010. *Ital. J. Geosci. (Boll.Soc.Geol.It.)*, Vol. 129, No. 2.
- Lyell C. (1830-33) - *Principles of Geology, Being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface, by Reference to Causes Now in Operation*. John Murray, London.
- Morhange C., Bourcier M., Laborel J., Gialanella C., Goiranj.P., Crimaco L. (1999) - New data on historical relative sea level movements in Pozzuoli, Phlaegrean Fields, Southern Italy. *Phys. Chem. Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 24.
- Parascandola A. 1983. *I fenomeni bradisismici del Serapeo di Pozzuoli*; *Acta Neapolitana* Guida editore.
- M. Vitruvio Pollione 1990. *De Architectura*. Edizione studio Tesi.