

Paper n° 16

TRENCHLESS TECHNOLOGY NEI CAMPI FLEGREI: INFRASTRUTTURE SOSTENIBILI TRA SFIDE ARCHEOLOGICHE, AMBIENTALI E BRADISISMICHE

Stefano Terrazzano¹
Elia Puglia¹
Davide Giri¹
Livia Russo¹

¹Comune di Pozzuoli

1. Pozzuoli: una complessa storia di stratificazioni e riconfigurazioni, nell'incessante ricerca di un nuovo equilibrio

Qualsiasi sia il motore di ricerca, la risposta alla *query* "archeologia, ambiente, bradisismo" è sempre e solo: "Campi Flegrei". L'area, situata ad ovest di Napoli, rappresenta quell'unicum territoriale nel quale l'equilibrio tra fattori antropici e naturali sembra messo ciclicamente in crisi, ma altrettanto ciclicamente recuperato attraverso la ricerca di nuove configurazioni di equilibrio. Questo rapporto dicotomico si manifesta chiaramente nei Campi Flegrei, dove la stessa forza geologica che ha permesso la preservazione delle vestigia storiche, dunque, nasconde una fragilità intrinseca, un potenziale di distruzione che coesiste con la capacità di rigenerazione e la rafforza. Qui la terra è, al contempo, custode e minaccia, un continuo gioco di tensioni tra stabilità e instabilità. I movimenti tellurici sono stati indagati proprio grazie alla rinvenienze archeologiche, che assumono in tal senso il ruolo di "marcatore temporale" degli ultimi due millenni della cosiddetta "caldera flegrea", che si estende da Monte di Procida a Posillipo con al centro la città di Pozzuoli.

Fondata nel 529-28 a.C. da esuli di Samo col nome di Dicearchia, Pozzuoli –in latino *Puteoli*– dal 338 a.C. fu sotto il controllo di Roma e dal 194 a.C. fu trasformata in *colonia civium Romanorum*. Assunse da subito la funzione di porto di Roma divenendo uno dei capolinea delle principali rotte marittime che servivano il Mediterraneo, un terminale di interscambio commerciale del traffico di merci da marittimo a terrestre, un antesignano di ciò che oggi sarebbe stato definito uno straordinario *hub* redistributivo internazionale dell'antichità, al punto da essere definita dal poeta Lucilio intorno al 120 a.C. "Delus Minor", la "seconda Delo", città del grande porto franco egeo dell'epoca.

La posizione strategica di *Puteoli* fu sfruttata anche nel programma militare di protezione delle coste attuato dai Romani, che trovarono nella "pozzolana flegrea" l'ingrediente miracoloso che ha conferito al cosiddetto *Opus Caementicium* la capacità di resistere ai secoli, perfetto per l'impiego subacqueo nella costruzione delle strutture portuali.

Le proprietà delle pozzolane flegree –impasto di lapilli di dimensioni variabili di colorazione prevalentemente grigio chiara– conferiscono alle malte cementizie la capacità di resistere meglio alle aggressioni delle acque marine. Ciò avviene sia per la bassa quantità di calce presente, sia per la natura dei prodotti che si formano durante la reazione, come i silicati di calcio idrati, che risultano più stabili e meno vulnerabili agli attacchi chimici rispetto ai composti formati in una malta comune. Vitruvio, nella sua celebre opera "De Architectura", dedica l'intero Capitolo VI del Libro II alle proprietà di questo straordinario materiale, intitolando il capitolo "De Pulvere Puteolano".

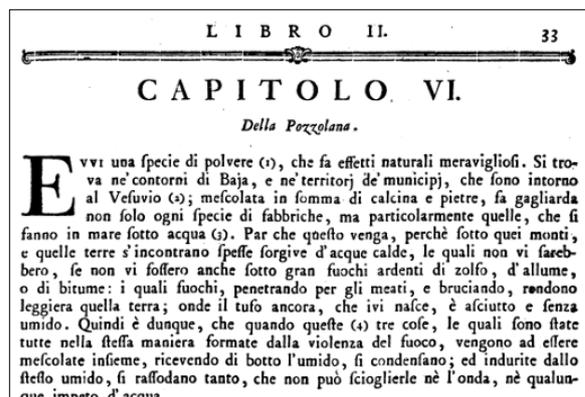
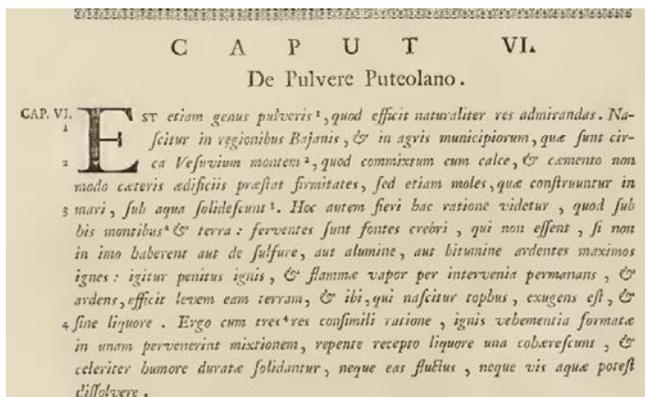


Figura 1 – Estratto dal Libro II, Capitolo IV del ‘De Architectura’ di Vitruvio (15 a.C.)

La malta cementizia che si produceva in quest’area in età romana, grazie all’uso della pozzolana, permise di costruire ambienti a volta (come la cupola del Tempio di Mercurio a Baia) che precedono e probabilmente sono state utilizzate come prototipo di volta per il successivo Pantheon di Roma (Adam, 1988).

Dalla natura, il rischio dei luoghi ma, al tempo stesso, la possibilità di mitigarlo. Oggi si direbbe *resilienza*.

Con lo sviluppo del porto, Pozzuoli assunse il carattere di città cosmopolita e animatissima, in cui confluivano da ogni dove genti, culti, idee, mercanzie. La fortuna della città declinò con l’affermarsi del porto di Ostia tra il I e il II sec. d.C. Dopo lo splendore dell’età romana, la colonia romana di *Puteoli* ed i Campi Flegrei attraversarono il periodo più scuro di tutta la loro storia, a causa di un susseguirsi continuo di instabilità amministrative e di calamità naturali. Nel tardo impero la colonia di *Puteoli* risentì certamente delle problematiche amministrative imperiali sempre più frequenti; ma dovette far fronte, dal IV sec d.C., anche ai gravi problemi dovuti al bradisismo flegreo, che porteranno la costa all’immersione fino ad un massimo di 4 metri sotto il livello del mare riscontrato nel X sec. d.C.

In seguito, le invasioni barbariche e nel 1198 un’eruzione della Solfatara, Pozzuoli si ridusse fino al 1296 al solo *castrum*, ossia centro abitato cinto da mura situato sul promontorio a picco sul mare denominato "Terra" –oggi comunemente noto come Rione Terra.

Con l’avvento del regno di Federico II di Svevia e soprattutto della monarchia angioina, finalmente i Campi Flegrei tornarono lentamente a risorgere e Pozzuoli viene dichiarata *universitas*, “comunità cittadina”, cioè libera di governarsi e di amministrare i propri beni fondiari.

Lo sviluppo della città, favorito dagli Aragonesi con sgravi tributari, si interseca sempre con l’attività sismica che provocò gravi danni con i terremoti del 1448, 1456, 1488. Successivamente, nella notte tra il 29 e 30 settembre 1538, forti scosse culminarono nella famosa eruzione del Monte Nuovo con la distruzione del villaggio di Tripergole, tra il lago d’Averno e il Monte Barbaro. Tuttavia, ancora una volta, Pozzuoli rinasce dalle sue ceneri. Nel 1539 il viceré Pedro Alvarez da Toledo edificò in città un palazzo con torre (torre "Toledo", visibile dalla banchina) circondato da un vasto giardino per trascorrervi il suo tempo libero e riposare; la città cominciò a ripopolarsi e negli anni a seguire fu restaurato il borgo marinaro danneggiato dal bradisismo e vennero costruite nuove scogliere frangiflutti lungo il litorale puteolano.

Il porto, dopo lo splendore dell’età romana, ritornerà ad avere importanti funzioni commerciali intorno al 1880, epoca in cui lo stabilimento inglese Armstrong avviò la produzione di artiglierie terrestri e navali, e, unitamente al porto di Napoli, divenne un’importante base della flotta alleata.

La storia si ripete e, dal dopoguerra in poi, la città segue per lo più le sorti del bradisismo e, benché abituata a convivere, ne subisce le conseguenze in termini di disgregamento del tessuto sociale per le molteplici migrazioni avvenute nel 1970, a seguito dello sgombero del Rione Terra, ed ancor più nel 1983, anno dell’ulteriore esodo, questa volta verso Monterusciello, all’epoca zona di campagna dell’entroterra puteolano e luogo designato per la realizzazione ex novo di un quartiere per 40.000 abitanti.

L’intreccio tra la configurazione della città, ivi incluso il limite città-mare, e il bradisismo ha lasciato significative tracce nel territorio. La ricostruzione dell’andamento del bradisismo dei Campi Flegrei, dal IV sec. d.C. fino ai tempi moderni è stata possibile, infatti, grazie ad osservazioni compiute sulle rovine di una costruzione di epoca romana, situata a poche decine di metri dal porto di Pozzuoli: il Serapeo (figura 2). Per lungo tempo, l’edificio è stato erroneamente chiamato “Tempio di Serapide”, ciò deriva dal ritrovamento, nel 1750, di una statua del dio egizio durante le prime campagne di

scavo. Tuttavia, ricerche più recenti hanno confermato che si tratta in realtà dell'antico *Macellum*, il mercato pubblico romano.

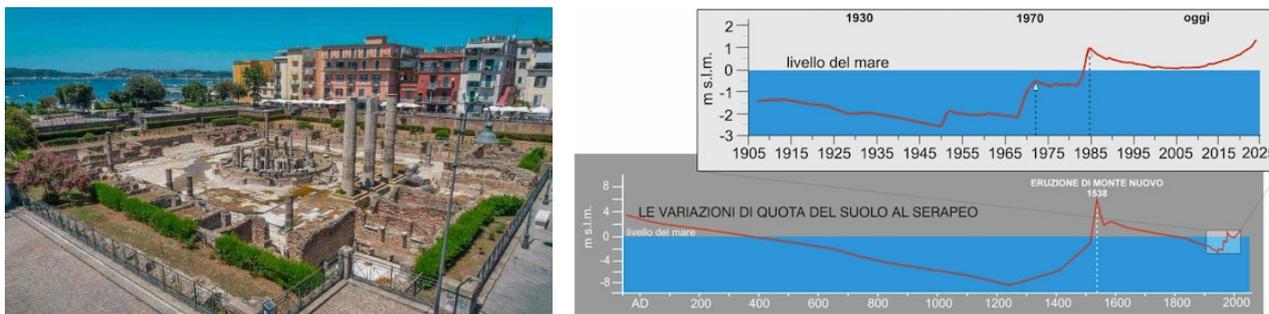


Figura 2, 3 – *Macellum*, impropriamente noto come Tempio di Serapide (sinistra); Grafico delle variazioni della quota del suolo del *Macellum* – Fonte: <https://www.ov.ingv.it/index.php/il-bradisismo> (destra).

La peculiarità di questa costruzione è la presenza, a varie altezze sulle tre colonne ancora erette, di fori prodotti da molluschi marini (litodomi) che vivono nella fascia intertidale (tra la bassa e l'alta marea) e che quindi sono indicativi del livello marino nel passato. Grazie alla datazione di tali fori è stato possibile ricostruire le oscillazioni del livello del mare nel tempo dovute al sollevamento o abbassamento del suolo a Pozzuoli per effetto del Bradisismo.

Dal 1985, e per vent'anni, il bradisismo è stato caratterizzato da un movimento discendente (senza scosse di terremoto), per poi riprendere a risalire (con scosse di terremoto), dal 2005, fino a raggiungere l'attuale picco di quasi 140 cm (figura 4).

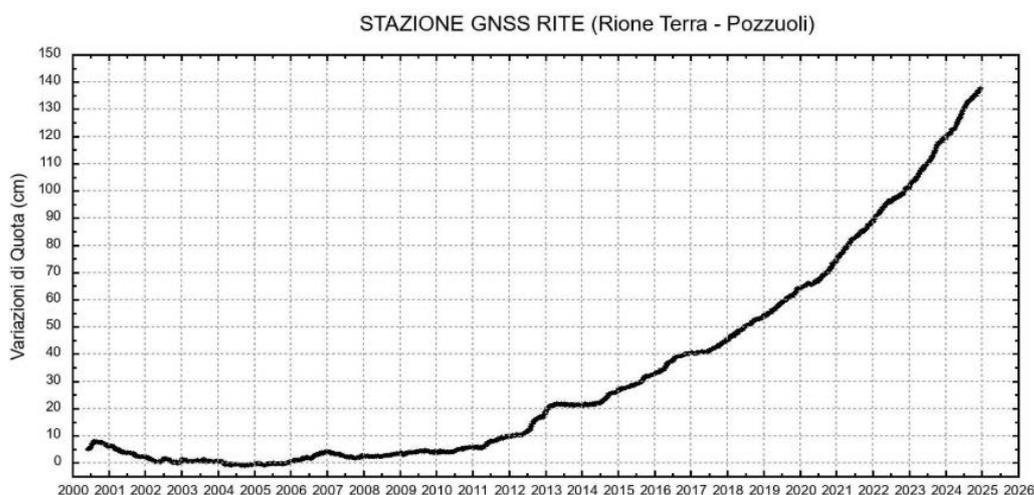


Figura 4 – Deformazioni del suolo rilevate dalla rete GNSS dell'Osservatorio Vesuviano presso la stazione di Rione Terra dal 2000 a gennaio 2025 - Fonte: INGV | Osservatorio Vesuviano, (2025)

Come risulta evidente da quanto sopra illustrato, il territorio puteolano presenta una significativa stratificazione, sia naturale che antropica, e queste due stratificazioni sono strettamente correlate tra loro. Come si è visto, all'attività della grande caldera, infatti, ha fatto seguito una costante attività di ri-configurazione dell'organizzazione spaziale e sociale della città: le migrazioni della popolazione –all'interno e verso l'esterno– a seguito di sgomberi e/o spostamenti volontari, la realizzazione di nuovi quartieri, la costruzione al di sopra dei livelli di epoca romana, l'adeguamento delle banchine portuali in funzione dell'innalzamento o abbassamento del livello del suolo e, dunque, del mare, solo per citarne alcuni. Il fenomeno bradisismico è identificabile come il fattore più incidente delle progressive configurazioni della città, ma, paradossalmente, ha reso Pozzuoli una città *elastica* ai cambiamenti strutturali, pur nella sua *fragilità*.

Una tale complessità si è tradotta, inevitabilmente, in una notevole complessità di programmazione, pianificazione, progettazione e, infine, di esecuzione. Ciò che altrove assume la dimensione extra-ordinaria, a Pozzuoli diventa di ordinaria amministrazione: la gestione di ciclici stati d'emergenza, la convivenza quotidiana con verifiche continue delle

misure operative adottate per la pianificazione di protezione civile; gli stati emotivi della popolazione in perenne stato di allerta a fronte di lavori che limitano la viabilità e producano vibrazioni, l'alta probabilità di rinvenimenti archeologici sull'intero territorio, la stratificazione caotica di natura antropica del soprassuolo stradale e dei sottoservizi nel sottosuolo; le azioni non visibili dei danneggiamenti del patrimonio infrastrutturale impiantistico.

Obiettivo del documento è illustrare alcuni interventi realizzati nel territorio, parte di un programma più vasto e articolato che ha coinvolto più comuni: il Grande Progetto dei Campi Flegrei, che ha coinvolti i comuni di Pozzuoli (capofila), Bacoli, Monte di Procida e Quarto, nella zona occidentale della Città Metropolitana di Napoli. È importante sottolineare che, pur non trattandosi di un caso tecnicamente innovativo, capace, cioè, di segnare un avanzamento significativo nel campo delle soluzioni NO-DIG, ciò che viene presentato intende offrire una prospettiva differente. Si tratta, infatti, del punto di vista di un'amministrazione comunale, con il proprio specifico quadro esigenziale e la propria scala di priorità nell'affrontare l'infrastrutturazione del territorio e/o il suo miglioramento. Ne consegue che il caso riportato, piuttosto che su un'innovazione tecnologica in senso stretto, si concentra sull'efficacia di queste tecniche in casi complessi come quelli del territorio flegreo attraverso soluzioni sostenibili da un punto di vista tecnico e, al tempo stesso, mitigatrici dell'impatto sociale sulla cittadinanza, già martoriata dalla recrudescenza bradisismica.

2. Tecnologie NO-DIG a Pozzuoli nel Grande Progetto dei Campi Flegrei: i casi del Lago d'Averno e di via Napoli

L'appalto integrato

L'intervento, denominato "Risanamento idraulico dei bacini del lago d'Averno e del lago Lucrino. Intervento fognario di Via Napoli", riguardava sostanzialmente la realizzazione di reti fognarie. In particolare, erano previsti due interventi distinti: il primo consisteva nello sviluppo di una rete fognaria lungo le circumlacuali del lago d'Averno e del lago Lucrino, per un'estensione di circa 3,5 km con tubazioni a gravità e quattro impianti di sollevamento per il rilancio delle portate nere fino alla rete comunale esistente; il secondo intervento, nella zona di via Napoli, prevedeva l'implementazione della fognatura esistente, con tubazioni a gravità destinate a collegare la zona alta della città con quella bassa, con la realizzazione di un nuovo scarico a mare delle acque bianche.

La storia amministrativa è lunga ed intricata, fatta di battute d'arresto, risoluzioni contrattuali, contenziosi, modifiche progettuali, ripartenze, verifiche e riparazioni di quanto mal eseguito in prima battuta. Nella tabella che segue si riportano sinteticamente le date significative che precedono la consegna dei lavori.

Tabella 1 – Cronistoria amministrativa dell'intervento

28 marzo 2011	Approvazione elenco dei Grandi Progetti del POR Campania FESR 2007-2013
19 aprile 2013	Approvazione del progetto preliminare da porre a base di gara di un appalto integrato
4 giugno 2013	Indizione gara per l'appalto di progettazione ed esecuzione dell'intervento "Risanamento idraulico dei bacini del Lago D'Averno e del Lago Lucrino. Intervento fognario di via Napoli"
5 settembre 2013	Termine consegna offerte con progetto definitivo
8 luglio 2014	Aggiudicazione dell'appalto integrato
26 febbraio 2015	Sottoscrizione contratto di appalto per la progettazione ed esecuzione
9 ottobre 2015	Approvazione del progetto esecutivo
15 ottobre 2015	Consegna dei lavori circumlacuali lago d'Averno e lago Lucrino

Come è possibile evincere dalla Tabella 1, a distanza di due anni dall'approvazione dell'elenco indicativo dei Grandi Progetti, nell'ambito del programma del "Grande Progetto per il Risanamento e la valorizzazione dei laghi dei Campi Flegrei", finanziato con fondi del POR FESR Campania FESR 2007-2013 e che vide coinvolti i comuni di Pozzuoli, Bacoli, Monte di Procida e Quarto –Deliberazione di Giunta regionale n. 122/2011– si addiende all'approvazione del progetto preliminare redatto dall'amministrazione. In meno di due mesi, quest'ultimo fu posto a base di gara, ai fini dell'affidamento congiunto della progettazione esecutiva e dell'esecuzione lavori, con acquisizione del progetto definitivo in sede di offerta –modalità consentita ai sensi dell'art. 53, co. 2 lett. c) della D.Lgs. 163/06, poi vietata dal D.lgs. 50/16, tranne poche eccezioni, fino alla reintroduzione con il vigente codice dei Contratti Pubblici D. Lgs. 36/2023. Tre mesi per la consegna delle offerte e, dunque, delle progettazioni definitive proposte da ciascun concorrente; quasi un anno per l'aggiudicazione definitiva dell'appalto; ulteriori sei mesi per la sottoscrizione del contratto. Nell'ottobre 2015 viene approvato il progetto esecutivo, stralciando momentaneamente l'intervento di via Napoli, e in questo punto la strada dei due interventi si biforca. Nello stesso ottobre, infatti, interviene una consegna dei lavori relativa al solo intervento dei laghi.

Per maggiore chiarezza espositiva, si procederà ad illustrare separatamente i due interventi, che, pur partendo dalla stessa origine ed essendo stati affidati ad un operatore unico, hanno seguito percorsi distinti che hanno portato, infine, alla risoluzione contrattuale.

L'intervento del Lago d'Averno

Come già sopra accennato, l'intervento in argomento prevedeva la dotazione di una rete fognaria lungo le sponde lacuali del lago d'Averno e del lago Lucrino. La progettazione prevedeva l'adozione di metodi tradizionali, che includevano lo scavo a cielo aperto, pur in presenza di falda spingente, installazione di tubazioni in PEAD con giunti a bicchiere maschio-femmina insieme a pozzetti di ispezione di tipo monoblocco. L'esecuzione dei lavori doveva, però, rispettare molteplici vincoli. Tra questi: vincoli di natura archeologica, data l'alta probabilità di rinvenire reperti storici; vincoli ambientali legati alle aree protette, ricadendo gli interventi nella rete Natura 2000; infine, vi erano vincoli logistici, come l'impossibilità di chiudere completamente al traffico veicolare le strade interessate, a causa della mancanza di percorsi alternativi, e la presenza di aree molto limitate per l'installazione dell'impianto di cantiere.



Figura 5 – Planimetria di inquadramento - intervento lago d'Averno

A distanza di nove mesi dall'inizio dei lavori, pari al tempo offerto in sede di gara per il completamento dell'intervento, si riscontra un avanzamento dei lavori complessivamente non superiore nemmeno al 50% del valore contrattuale. Inevitabile, dunque, la risoluzione contrattuale e il conseguente contenzioso, preceduto da vani tentativi di risoluzione tecnica della vicenda, che differiscono ulteriormente la lancetta temporale di tre anni. Nel settembre del 2019 si addiende alla risoluzione del contratto. Vengono sostituite tutte le figure tecniche di controllo, subentra il nuovo operatore, viene approvato dall'Amministrazione un progetto di completamento e di riparazione, redatto dal nuovo Direttore dei Lavori sulla scorta delle verifiche ricognitive *in situ*. Queste ultime, infatti, avevano restituito un quadro di un sistema fognario assolutamente non funzionale: le tubazioni presentavano giunti posti in opera senza guarnizioni di tenuta presenza di ovalizzazioni e rotture longitudinali e trasversali lungo i tratti (figura 6); i pozzetti in PEAD realizzati erano di tipo non monoblocco; dulcis in fundo, la presenza di chiodi, presumibilmente impiegati per facilitare l'infilaggio delle tubazioni soggette alla sottospinta della falda, probabilmente non adeguatamente contrastata. Il risultato dell'esecuzione aveva portato ad una situazione di totale inaccettabilità del lavoro in termini tecnici e amministrativi.

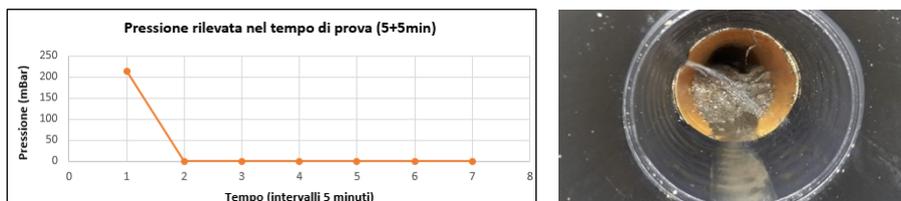


Figura 6 – Da sinistra: risultati prova di tenuta su tratto P18-P19 prima dell'intervento; giunti posti in opera senza guarnizioni.

Nel 2021, dunque, a circa dieci anni dalla programmazione del finanziamento, dopo le inevitabili battute d'arresto, il processo era partito nuovamente: erano cambiati gli attori, ma non la tipologia di soluzione adottata. Il progetto di completamento prevede ancora modalità tradizionali: scavo a cielo aperto dei pozzetti, esecuzione di blindaggio per messa in asciutto degli scavi, demolizione dei pozzetti in PEAD e sostituzione con altri del tipo monoblocco, ricollegamento

mediante manicotti di congiunzione con le tubazioni esistenti; infine, scavo a cielo aperto delle tubazioni non funzionali idraulicamente ai fini della loro sostituzione. Probabilmente, anche l'incertezza sui costi dei sistemi NO-DIG, ancora non adottati dal tariffario regionale, è stata indirettamente complice di quest'orientamento che potremmo definire "tradizionalista".

Nell'ambito del contenzioso insorto con il primo appaltatore, intanto era stato programmato ed eseguito uno stato ricognitivo della funzionalità del sistema, mediante prove di tenuta idraulica eseguite in conformità alla norma UNI EN 1610:2015, con verifiche a campione in percentuale significativa del totale: con il metodo ad aria/ad acqua, per i tratti di fognatura (pozzetto-pozzetto) sulle tubazioni; con metodo ad acqua, per i pozzetti di ispezione. Di seguito i risultati ottenuti dalle prove.

Tabella 2 – Esito delle prove eseguite durante il contenzioso con l'appaltatore originario

Tubazioni DN	Lunghezza m	N.ro Tratti	N.ro giunti	Esito prove di conformità su tratti			
				N.ro prove	Conforme	Non Confor.	% N.C.
315	2.568,76	101	354	34	17	17	50,00%
400	164,82	8	20	3	1	2	66,67%
500	719,02	23	98	9	4	5	55,56%
TOTALE	3.452,60	132	472	46	22	24	

Come risulta evidente, dalle prove più del 50% degli elementi esaminati risulta "non conforme". Successivamente, in fase di esecuzione, sono state eseguite le prove di tenuta anche sui restanti tratti, fino alla concorrenza della totalità di quanti realizzati al momento della risoluzione contrattuale, riscontrandone 64 su 132 non conformi, in piena coerenza con i risultati a campione ottenuti dalle precedenti prove. Nei tratti per i quali l'esito della prova di tenuta è risultata negativa, la riparazione è stata eseguita comunque su tutti i giunti, in quanto la ricerca di quello/i non a tenuta non risultava compatibile in termini temporali. La significatività del numero di tratti di fognatura da risanare (alla fine si eseguiranno 365 riparazioni locali) avrebbe comportato: il dover riscavare circa 1.700 metri di strada reiterando tutti i disagi e le problematiche già affrontate riguardanti la presenza di una falda quasi affiorante (in adiacenza al lago); il dover disporre nuovamente le limitazioni alla viabilità, particolarmente intensa nei giorni festivi; il dover agire secondo le prescrizioni imposte dall'organo di tutela ambientale, derivanti dalla ZSC¹ (Zona Speciale di Conservazione – Rete ecologica Natura2000), rispetto alle attività arrecanti disturbo nelle fasi di riproduzione e di nidificazione delle specie protette in alcuni periodi dell'anno; infine il dover agire con tutte le accortezze del caso per la presenza di una pavimentazione in pietra con tutti i relativi costi di movimentazione e rimessa in loco.

Le difficoltà anzidette fecero propendere verso una soluzione NO-DIG, su proposta dell'operatore subentrato, in modifica rispetto al progetto di completamento approvato. L'intervento eseguito, dopo alcune riparazioni effettuate con il metodo tradizionale, è stato un risanamento localizzato (c.d. metodo "Packer") in corrispondenza dei giunti, mediante tronchetti in fibroresina (fibra di vetro, composta da tessuto non tessuto, impregnata di resina silicata con polimerizzazione a tempo senza ausilio di vapore/acqua calda/raggi UV), posto in opera mediante compressione pneumatica, per una lunghezza variabile non inferiore a 75-80 centimetri ed uno spessore minimo non inferiore a 6-8 millimetri (in base alle dimensioni della tubazione da risanare).

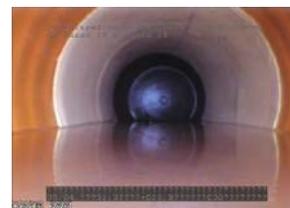


Figura 7 – Da sinistra: risultati prova di tenuta su tratto P18-P19 dopo intervento; particolari packer installati a regola d'arte con ripristino del giunto di collegamento.

Le operazioni furono precedute dalla pulizia e disostruzione della condotta interna da residui fangosi e ghiaiosi con una programmazione dei singoli interventi volta a limitare il numero di espurghi necessari. Infine, nel novembre 2024 si addiende alla riconsegna delle opere per la messa in esercizio previo accertamento da parte del collaudatore di quanto

¹ Lago d'Averno – identificativo Rete Natura 2000 n. IT8030014. «Type: Protected under both Birds and Habitats Directives Area: 125 ha; Established date: May 1995; EU protected species: 30; EU protected habitats: 1». Fonte: <https://natura2000.eea.europa.eu/>.

luogo d'attesa e localizzazione dei tre punti navetta per l'evacuazione assistita (Tav. 13 – “Rischio Vulcanico: Evacuazione Assistita”).

I lavori hanno avuto inizio nel settembre del 2023, solo dopo il necessario spostamento dei sottoservizi interferenti e l'implementazione di un monitoraggio continuo delle facciate dei fabbricati lungo la direttrice del *micro-tunneling*, di tipo inclinometrico, vibrometrico e fessurimetrico, eseguito da remoto, nonché di tipo topografico con misure puntuali in corrispondenza dei target opportunamente posizionati su zone sensibili degli immobili.

Le prevedibili difficoltà all'avanzamento in microtunneling dovute alla natura non omogenea di sottosuolo, alla limitata interdistanza con i sottoservizi esistenti nel tratto terminale, alla presenza di antiche scogliere basaltiche e di precedenti coronamenti portuali in corrispondenza dell'antecedente linea di costa inglobate nella colmata contenente anche gettate di calcestruzzo mista alla loppa di altoforno proveniente dalla vicina Italsider di Bagnoli (Napoli), avrebbero sconsigliato l'uso del *micro-tunneling*. Tuttavia, la priorità di limitare gli intralci fisici (ingombri del cantiere) e, soprattutto, di non esasperare gli stati di ansia dei già provati cittadini puteolani alle prese con la recrudescenza del bradisismo in forme e modalità forse mai avvertite nella storia recente, ha fatto propendere, comunque, verso l'impiego del *micro-tunneling*, non solo in via Cappuccini dove, diversamente, non ci sarebbe stata via d'uscita per circa 2000 persone, ma anche nell'attraversamento di via Napoli. Alle difficoltà prevedibili sopra illustrate, che si sono concretizzate in un avanzamento tutt'altro che costante del *micro-tunneling* –con oscillazioni da circa 5 metri anche a soli 30 centimetri al giorno (Figura 10)– sopraggiungono quelle di natura archeologica inattese.

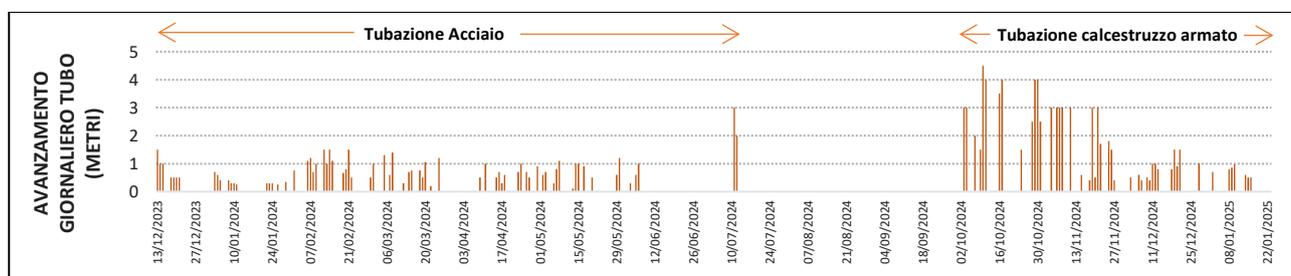


Figura 10 – Oscillazioni nell'avanzamento giornaliero della tubazione. Fonte: Rapporti di cantiere

Fortunatamente, grazie alla disponibilità ed al rapporto collaborativo con la Funzionaria di zona della Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per l'area Metropolitana Di Napoli, dott.ssa Maria Luisa Tardugno, nonché al supporto dell'archeologa/speleologa in cantiere, dott.ssa Alessia Di Fiore, si è proceduto alla rimozione controllata dello strato macerioso con elementi in cocciopesto, nonché al controllo giornaliero *de visu* del materiale estratto dalla tubazione, per l'eventuale prelievo di reperti anche rimaneggiati aventi valore scientifico, storico, artistico, fino al raggiungimento del livello archeologico sterile –riscontrato nella vasca di spinta in via Cappuccini a circa quota -3.50 m dal piano stradale.



Figura 11 – Da sinistra: strato di accumulo macerioso con elementi in cocciopesto e ritrovamento archeologico

3. Dagli errori e dalle difficoltà, la maturazione di una nuova consapevolezza

I due casi riportati hanno stimolato numerose riflessioni all'interno della struttura tecnica comunale responsabile dell'intervento, in ordine al miglioramento delle pratiche progettuali, alle tecnologie da utilizzare e alla preparazione delle strutture tecniche coinvolte. Dieci anni fa, probabilmente, non esisteva ancora una consapevolezza dell'opportunità di

utilizzare tecnologie non tradizionali, che invece oggi, come risulta evidente nei casi illustrati, permettono di rispondere a una serie di esigenze, che vanno ben oltre la mera convenienza “pratica”, integrando innovazione, sostenibilità e adattabilità alle specifiche necessità del territorio. A dimostrazione della generale limitata familiarità con tali tecniche, quasi la totalità delle offerte presentate in sede di gara prevedevano attività tradizionali di scavo, mostrando di avere anche poca considerazione durante la fase di progettazione delle reali condizioni di contesto. Pur in presenza di una falda molto spingente lungo il perimetro del lago d’Averno le soluzioni tecniche proposte in prima battuta, erano comunque orientate su tecniche tradizionali, il che ha comportato notevoli difficoltà in fase di esecuzione. Pur in presenza di un sottosuolo fortemente stratificato in termini archeologici, si continuano a prevedere usualmente massive operazioni di scavo con altissima probabilità di fermo cantiere. Un’adeguata campagna di indagine archeologica, in tal senso, permetterebbe di determinare in via preliminare i probabili livelli sterili e, dunque, progettare con talune tecnologie NO-DIG, in grado di perseguire la loro tutela e conservazione. Nel caso del lago d’Averno, la riparazione di un sistema mal eseguito con tecniche tradizionali di scavo a cielo aperto –che avevano prodotto un’elevata percentuale di difetti, pari a circa il 50%– è stata possibile grazie all’impiego della tecnologia NO-DIG. In assenza di quest’ultima, l’intervento avrebbe con ogni probabilità generato ulteriori contenziosi, senza arrivare a compimento, andando così ad aggiungersi alla lunga lista di opere incompiute che costellano il territorio italiano. Discorso diverso per il caso di via Napoli, per il quale una valutazione preliminare della natura fortemente disomogenea del sottosuolo, già illustrata al precedente paragrafo, avrebbe fatto propendere verso sistemi tradizionali. Tuttavia, le specifiche e prioritarie esigenze dell’amministrazione legate al bradisismo, hanno reso inevitabile l’utilizzo delle tecnologie NO-DIG, attraverso l’esecuzione del *micro-tunneling*, inizialmente previsto solo per l’attraversamento ferroviario.

A valle delle esperienze riportate c’è da evidenziare che la *valutazione* relativa alle scelte progettuali ha una natura multidimensionale molto complessa, che deve tener conto di tempi, costi, vincoli; ancora, deve tener conto della presenza di attori molto diversi tra loro, delle preesistenze archeologiche e, talvolta, della notevole incertezza sulle caratteristiche e sulla stratificazione del sottosuolo. Pur immaginando, in linea teorica, che l’esecuzione di una campagna di indagine preliminare possa aver correttamente informato i diversi livelli di progettazione in maniera da abbattere significativamente gli “imprevisti prevedibili”, il dominio all’interno del quale si opera nell’infrastrutturazione del territorio risulta comunque caratterizzato da un numero di variabili molto alto, specie nel caso di Pozzuoli.

Il presente contributo, in tal senso, è stato occasione per fare una sintesi di quanto appreso dagli “errori”, dai percorsi molto accidentati. Da un’analisi attenta e costruttiva, c’è da mettere in evidenza che parte della responsabilità è da attribuire anche alle strutture tecniche comunali, in quanto attiene ai loro compiti definire un quadro esigenziale chiaro, nella piena consapevolezza di tutti i vincoli, anche eccezionali, che gravano sul territorio. Le difficoltà emerse nella fase esecutiva sarebbero infatti state notevolmente ridotte, se non addirittura evitate, se l’intervento fosse stato preceduto da un’analisi più accurata delle condizioni di contesto e da un confronto diretto con le soluzioni innovative, con la possibilità di individuare tecnologie più adatte ai casi specifici e, in generale, meno invasive. Emerge, dunque, una certa carenza, da parte dell’Amministrazione, del *know-how* necessario: in fase di programmazione, per individuare ed indicare la particolare tipologia/soluzione adatta ad ogni specifico caso; in fase di valutazione delle offerte tecniche, per verificare la bontà e l’adeguatezza delle stesse. La mancanza di competenze interne specifiche, in alcune fasi cruciali del processo, ha quindi inconsapevolmente orientato gli operatori verso tecniche tradizionali, in coerenza con la progettazione preliminare redatta dagli uffici.

A tal proposito, un altro elemento che emerge da queste esperienze è l’opportunità di strutturare all’interno dell’ente una figura professionale specifica, che possa gestire l’implementazione delle tecnologie NO-DIG in modo competente e mirato: il *trenchless manager*. Al professionista il compito di coordinare tutte le fasi dell’intervento, dalla programmazione alla realizzazione, passando per la valutazione dei rischi. La formazione all’interno della macro struttura organizzativa dell’Ente di un servizio che includa le professionalità dotate del necessario expertise tecnico e operativo sarebbe di notevole supporto all’Amministrazione in sede di programmazione di infrastrutture che indirizzino le scelte verso soluzioni più idonee, riducendo il rischio di errori e di ritardi con un impatto positivo sulla qualità e la tempistica degli interventi ed, in generale, sulla percezione positiva dell’azione pubblica, anche con riferimento all’aspetto della sostenibilità e della conservazione dei beni archeologici e ambientali.

Probabilmente, anche l’incertezza sui costi dei sistemi NO-DIG, che ancora non trovano una piena codificazione nel tariffario regionale, è stata indirettamente complice di quest’orientamento che potremmo definire “tradizionalista”. L’integrazione delle tecnologie NO-DIG nel sistema delle tariffe e delle normative regionali, insieme alla diffusione di una cultura progettuale orientata all’innovazione, potrebbe incentivare l’adozione di soluzioni più moderne e meno invasive, che, pur presentando inizialmente un costo più elevato, potrebbero rivelarsi più vantaggiose a lungo termine, sia in termini di qualità che di sostenibilità economica e ambientale.

L'introduzione di queste innovazioni potrebbe rappresentare un cambio di paradigma per le amministrazioni: un graduale abbandono di una visione conservativa e tradizionalista, a vantaggio di soluzioni più moderne, efficienti e rispettose dell'ambiente. Un aspetto importante che è necessario sottolineare è che una visione prospettica innovativa non potrebbe essere comunque *efficace* da sola, o semplicemente *perseguibile*, se la nuova consapevolezza del fare innovazione non trovasse una piena collaborazione tra i vari attori coinvolti nel processo così come è avvenuto nel caso di studio. Solo un approccio cooperativo e integrato può consentire di affrontare efficacemente le sfide imposte da un territorio così fragile e stratificato, traducendo le difficoltà in occasioni di innovazione, di apprendimento e di crescita per l'amministrazione e per l'intera comunità. In questa prospettiva, i casi del lago d'Averno e di via Napoli possono essere letti non solo come esempi di criticità superate, ma anche come modelli di una pratica collaborativa virtuosa, da rafforzare e consolidare nel tempo. L'intero sistema di attori coinvolti (Amministrazione comunale, Soprintendenza, archeologi, geologi, le ulteriori figure tecniche coinvolte, operatori economici), pur avendo ognuno i propri obiettivi, il proprio background e il proprio linguaggio, ha trovato un campo comune in cui operare, scambiare informazioni e conoscenza, al fine di portare l'opera a compimento e, dunque, a servizio della collettività.

Proprio in quest'ottica, l'intervento previsto nella zona alta –non oggetto della presente trattazione poiché ancora in fase di progettazione– rappresenta un'evoluzione consapevole del modello di lavoro di tipo collaborativo. Tenendo conto delle criticità emerse nei casi già affrontati, fin dalle fasi preliminari si è scelto di impostare un percorso progettuale più attento e multidisciplinare. È in corso, infatti, un'approfondita campagna geo-archeologica, finalizzata a restituire un quadro quanto più preciso possibile delle condizioni del sottosuolo, con l'obiettivo di prevenire interferenze e garantire la tutela del patrimonio archeologico. Contestualmente, si stanno vagliando con attenzione le diverse soluzioni tecnologiche disponibili, valutandone la compatibilità con i vincoli presenti, l'efficienza tecnica e l'impatto sul contesto urbano e ambientale. Questa impostazione anticipa e incorpora gli insegnamenti appresi, ponendo le basi per un intervento più efficace, sostenibile e condiviso, che possa rappresentare un ulteriore passo avanti nel percorso di miglioramento continuo dell'azione pubblica sul territorio.

4. Follow up

In ultima analisi, è fondamentale considerare che la recrudescenza del fenomeno bradisismico, insieme al significativo aumento della velocità di innalzamento del suolo, al ritmo incessante anche di tre centimetri al mese, sta dando origine a una nuova criticità: l'intensificazione della frequenza degli interventi manutentivi per perdite dalle reti idriche e fognarie, probabilmente correlata ai notevoli spostamenti verticali differenziali, con seri rischi di danneggiamento del patrimonio storico-culturale diffuso nel sottosuolo flegreo.

In questo contesto, l'ampia gamma di soluzioni NO-DIG rappresenta indubbiamente un campo di indagine ancora da esplorare per il suo grande potenziale. Sarà pertanto fondamentale approfondire l'analisi delle tecniche e delle tecnologie NO-DIG, al fine di valutare un programma di interventi nel breve, medio e lungo periodo. Se infatti, nel breve periodo, occorrerà individuare soluzioni puntuali relative ad interventi urgenti per la riduzione dei rischi associati ai malfunzionamenti di tali sottoservizi, che si profilano come "spesa pubblica" corrente, nel medio e lungo periodo, vi è necessità di individuare soluzioni per programmare azioni sistematiche finalizzate al rinnovo e/o miglioramento complessivo delle reti, riducendo così i costi di manutenzione e producendo conseguentemente "investimento pubblico".

Bibliografia e sitografia

Adam, J.P. (1988). *L'arte di costruire presso i Romani: materiali e tecniche* (traduzione di Maria Paola Guidobaldi). Milano: Longanesi.

Atti Sentenza n. 6540/2023. Tribunale di Napoli X Sezione Civile. Procedimento n. RG 7764/2019.

Camodeca, G. (2018). Puteoli romana: istituzioni e società. *UniorPress: Napoli, Italy*.

<https://natura2000.eea.europa.eu/>

INGV | Osservatorio Vesuviano, (2025). *Bollettino di Sorveglianza mensile di gennaio 2025*.