

# L'approvvigionamento di acqua e il funzionamento delle Terme Taurine, Civitavecchia, Italia centrale

## The water supply and operating mode of the Taurine Baths, Civitavecchia, central Italy

**Ugo Chiocchini** | Già professore di Geologia Applicata presso l'Università degli Studi della Tuscia. E-mail: luca\_chiocco@libero.it

**Giovanni Savarese** | Geologo. Via della Mazzetta, 7, 01100 Viterbo.

**Luca Seidenari** | Libero professionista guida turistica. Via Lombardia, 3, 00053 Civitavecchia, Roma.



**Termini chiave:** Terme Taurine, Approvvigionamento di acqua, Modalità di funzionamento, Cisterna, Pioggia

**Keywords:** Taurine Baths, Water supply, Operating mode, Cistern, Rainfalls

### Abstract

The Taurine Baths are located 3.5 km NE of Civitavecchia on the western slope of the Tolfa Mountains, where the Tolfa Flysch and Pietraforte of upper Cretaceous-Eocene are over-thrusted on to the Tuscan Nappe, consisting locally of a Dogger-upper Triassic calcareous-dolomite succession. This structure is affected by NW-SE and N-S oriented normal faults, related to the Pliocene-Pleistocene extensional tectonics. The hydrogeological Complex of Flysch and Pietraforte, characterized by very low or zero relative permeability and insignificant groundwater circulation, is devoid of perennial springs. In addition, two springs of thermal water in the Taurine Baths with a yield of 1.33 l/sec and temperature of 40° - 55°C dried up due to the drilling of numerous wells. The Taurine Baths include two thermal buildings. The first one is smaller, consists of 15 rooms in *opus incertum* including 3 pools with a total volume of 118 m<sup>3</sup>, and is dated between the end of the II century and that of the I century BC, or between the last years of the Republic and the first ones of the Empire. The second one is larger, made up of 68 rooms including 3 pools with a total volume of 251 m<sup>3</sup> and is referred to the period of the emperor Adriano. To supply the water to the thermal complex the Roman engineers, due to the lack of perennial springs, proposed to build a cylindrical cistern fed by the rainfalls, whose useful internal volume of 1644 m<sup>3</sup> was defined on the basis of the total volume of the six pools.

### Riassunto

Le Terme Taurine sono ubicate circa 3,5 km a NE di Civitavecchia, sul versante occidentale dei Monti della Tolfa, dove il Flysch della Tolfa e la Pietraforte (Cretacico superiore-Eocene) sono sovrascorsi sulla Falda Toscana, costituita localmente da una successione calcareo-dolomitica del Dogger-Triassico superiore. Questa struttura è interessata

da faglie dirette, con orientazione NO-SE e N-S, connesse alla tettonica distensiva del Pliocene-Pleistocene. Il Complesso del Flysch e della Pietraforte, caratterizzato da permeabilità relativa molto bassa o nulla e non significativa circolazione sotterranea, è privo di sorgenti perenni. Inoltre, due sorgenti di acqua termale nelle Terme Taurine con portata di 1,33 l/sec e temperatura tra 40° e 55°C si sono estinte a causa della perforazione di numerosi pozzi. Le Terme Taurine sono costituite da due edifici. Il primo, che occupa un'area di 2240 m<sup>2</sup>, comprende 15 vani coprese tre piscine con volume totale di 118 m<sup>3</sup>, il cui paramento in *opus incertum* e *opus reticulatum* indica una età tra la fine del II e il I secolo a.C, ovvero tra gli ultimi anni della Repubblica e i primi dell'Impero. Il secondo edificio, sviluppato su un'area di 16.221 m<sup>2</sup>, è composto da 68 vani in *opus testaceum* comprendenti tre piscine con volume totale 251 m<sup>3</sup>, ed è datato al periodo dell'imperatore Adriano. Per fornire l'acqua al complesso termale gli ingegneri romani, a causa della mancanza di sorgenti perenni, hanno proposto di costruire una cisterna cilindrica alimentata dalle piogge, il cui volume interno utile di 1644 m<sup>3</sup> è stato definito in base al volume totale delle sei piscine.

### Introduzione

Fare il bagno per la società romana era un'abitudine giornaliera che andava oltre la necessità igienica. Per un romano medio era un abito mentale, sociale e culturale profondamente radicato come forma di rigenerazione personale e l'ingresso in un bagno pubblico nel pomeriggio rappresentava una tappa irrinunciabile della routine giornaliera (Yegul 1992; Guerin-Beauvois 2003; Jankovic 2012; Rogers 2018). Anche se i filosofi come Seneca attribuivano effeminatezza al lusso dei bagni, gran parte dei romani gradiva ciò che offriva la loro cultura materiale.

Dal punto di vista sociale i bagni romani, caratterizzati dal grande richiamo delle masse popolari senza alcuna distinzione di sesso, colore, credo, stato di salute, erano il compendio degli ideali e delle istituzioni democratiche (Yegul 1992; Guerin-Beauvois 2003; Rogers 2018). Si deve ricordare, inoltre, che i bagni rappresentavano una struttura molto avanzata nella tecnologia delle costruzioni romane. Il primo uso del calcestrutto come materiale da costruzione e le sue più innovative applicazioni nelle forme architettoniche curve, nelle volte e nei duomi sono iniziati proprio con la costruzione dei bagni (Yegul 1992; DeLaine e Johnstone 1999; Guerin-Beauvois 2003). Lo sviluppo e il successo dei bagni romani sono dovuti molto alla scoperta rivoluzionaria della tecnologia del riscaldamento alla fine del II secolo a.C., in particolare la forma di riscaldamento radiante del pavimento noto come ipocausto. Il suo sfruttamento architettonico, che ha dato luogo alla progettazione di bagni con l'uso successivo degli ambienti caratterizzati dalla gradazione della temperatura, è dovuto ai romani.

Il sito archeologico delle Terme Taurine (TT), ubicato su un'area con morfologia quasi pianeggiante (Piana dei Bagni) costituita da travertino stromatolitico dell'Olocene, comprende due edifici. Il complesso architettonico delle TT, sviluppatosi per almeno due secoli e in uso fino al quinto secolo, costituisce una delle più elaborate strutture termali regionali destinata ad attività curative e ricreative, non diversa da quella famosa di Baia nei Campi Flegrei a sud ovest del golfo di Pozzuoli (Yegul 1992; DeLaine e Johnstone 1999). Purtroppo le TT sono state sottoposte a depredazioni da parte dei Goti nel 534-538 e 551-553 d.C. e devastazioni sia ad opera dei Saraceni nel 833 d.C., sia a causa della costruzione della strada Civitavecchia-Tolfa nel 1820.

Le TT sono state oggetto di studi archeologici (Torraca 1761; Fea 1821; Annovazzi 1853; Manzi, 1869; Mengarelli 1923; Bastianelli 1933, 1939, 1942, 1961a/1985, 1962, 1988; Torelli 1973; Heinz 1986; Caruso 1991; Yegul 1992; Köhler 1999; Reggiani 2018; Zaccagnini et al. 2018; Stracci 2021) e per la composizione chimica (Torraca 1761; Alessandri 1875; Fileti 1878; Cannizzaro 1884; Camponeschi e Nolasco 1978; Università del Studi di Roma Tor Vergata 2020) e l'uso delle acque termali (Mercuriale 1571; Torraca 1761; Cannizzaro 1884; Köhler 1998, 2007). Si evidenzia in particolare il grande contributo fornito da Mengarelli e Bastianelli per i sistematici scavi archeologici che hanno riportato in luce i resti dei due edifici termali.

Per quanto riguarda l'approvvigionamento idrico delle TT, che costituisce l'elemento più rilevante per la costruzione di una struttura termale, esiste solo l'ipotesi non realistica di Bastianelli (1942), ripresa da Heinz (1986), Köhler (1998, 2007), Brunori (1990), Chellini (2002), e Stracci (2021) anche se non supportata da alcun riferimento al contesto geologico, geomorfologico e idrogeologico dell'area delle TT, indicando che è stata dedicata molto poca attenzione al vitale tema dell'acqua necessaria per il funzionamento delle TT.

La presente ricerca è compresa nell'attività dell'Associazione Nazionale per gli Interessi del Mezzogiorno d'Italia (ANIMI) - Società Magna Grecia in relazione al lavoro interdisciplinare per lo studio dei siti archeologici e del loro contesto ambientale, nell'ottica di migliorare le conoscenze sulla costruzione delle terme romane. Pertanto, utilizzando anche le tecniche della Geoarcheologia (Rapp e Hill 1998; Pollard 1999; Ghilardi

e Desruelles, 2009; Shahack-Gross 2017; Gilbert 2017; Gençer e Turan 2017; Cortéz Pérez et al. 2018; Shillito et al. 2019) la ricerca è stata condotta allo scopo di raggiungere i seguenti obiettivi: (1) descrivere l'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico dell'area che ospita le TT; (2) determinare l'approvvigionamento e l'immagazzinamento dell'acqua, il funzionamento delle TT, e l'uso dell'acqua termale da sorgente.

## Materiali e metodi

Le operazioni della ricerca sono state sviluppate in tre fasi. Nella prima fase sono state prodotte le seguenti indagini. (1) Consultazione dei dati storici dell'archivio fotografico della Soprintendenza Archeologica, Belle Arti e Paesaggio per l'Area Metropolitana di Roma, la Provincia di Viterbo e l'Etruria Meridionale (Soprintendenza Archeologica). (2) Analisi delle stratigrafie di 3 pozzi del Dipartimento IV - Servizio 2 Tutela Acque e Risorse Idriche della Città metropolitana di Roma Capitale e di 6 pozzi forniti dallo Studio ECO GEO di Santa Marinella (Roma).

Nella seconda fase è stato eseguito il rilevamento geologico, geomorfologico e idrogeologico dell'area delle TT in base alla normativa della cartografia del Servizio Geologico Nazionale (1992; 1994; 1995) e dell'ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico Nazionale (2009; 2018 a; 2018 b), utilizzando gli elementi 363062 S. Liborio e 363973 Bagni di Traiano della Carta Tecnica della Regione Lazio in scala 1:5000, e la nomenclatura delle formazioni geologiche dei Fogli 353 Montalto di Castro, 354 Tarquinia, e 355 Ronciglione della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia in allestimento per la stampa; 2016). Il colore delle rocce delle formazioni è stato determinato mediante la Rock - Color Chart (Geological Society of America 1991).

Durante la terza fase sono state sviluppate dettagliate osservazioni sui vani delle strutture architettoniche, sulle opere murarie, sui materiali originali usati per la loro costruzione, e sulle dimensioni delle piscine dei due edifici delle TT, misurate con il Laser Digital Distance Detector BOSCH GLM 250 VF Professional. Inoltre, il diametro della sezione interna dei due tubi di piombo con forma ellissoidale della cisterna è stato determinato con un calibro digitale elettronico, misurando il diametro maggiore e quello minore, mentre per definire lo spessore della lamina dei tubi sono state seguite due misure su ambedue i loro lati curvi, i cui valori sono stati poi mediati.

## Area di studio

Le TT, note anche come Bagni di Traiano, sono ubicate nel territorio comunale di Civitavecchia sul versante occidentale dei Monti della Tolfa (Lazio centro occidentale), circa 3,5 km a NE dell'area urbana della città (tavoletta II NE Tolfa del Foglio 142 Civitavecchia; coordinate WGS84 42° 06' 35,4" N - 11° 50' 10,0" E - 188 m s.l.m.). Tale area è compresa nella fascia peri-Tirrenica circa 53 km dal confine con la regione Toscana (Fig. 1).

## Assetto geologico e geomorfologico

I Monti della Tolfa sono costituiti in larga misura dal Flysch



**Figura 1** - Ubicazione dell'area studiata. Il rettangolo rosso indica l'ubicazione della figura 2. L'immagine da satellite in basso mostra l'area delle Terme Taurine.

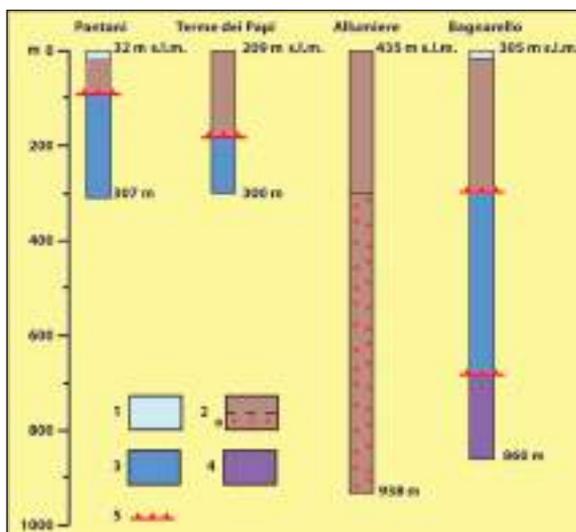
**Figure 1** - Location of the study area. The red rectangle indicates the location of figure 2. The satellite image below shows the Taurine Baths area.

della Tolfa del Cretacico superiore-Eocene e dalla Pietraforte del Cretacico superiore, e in parte dalle lave trachitico-dacitiche del Pliocene superiore - Pleistocene inferiore (Lauro et al. 1965; Lombardi et al. 1965 a, 1965 b, 1974; Negretti et al. 1963, 1966; Devoto e Lombardi 1977; Alberti et al. 1970; Ferrini et al. 1970; De Rita et al. 1997), subordinatamente da argille, sabbie e calcareniti di acque basse marine del Pliocene (Alberti et al. 1970; Fazzini et al. 1972; Barberi et al. 1994; Chiocchini e Potetti 1998; ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia in allestimento per la stampa). L'assetto stratigrafico e strutturale dei Monti della Tolfa, ricostruito mediante i pozzi Pantani, Allumiere, Bagnarello perforati dall'Enel per ricerca geotermica e dalle Terme dei Papi (Fig. 2 e 3), il modello gravimetrico (Fig. 4), e le sezioni di correlazione dei pozzi (Fig. 5), evidenziano la sovrapposizione tettonica del Flysch della Tolfa e della Pietraforte sulla Falda Toscana, che giace sul substrato quarzítico-filladico del Permiano, ed è costituita localmente dai Calcari diasprini del Dogger, sovrascorsi sulla successione prevalentemente dolomitica che comprende i Calcari e marne con Rhaetavicula contorta e il Calcare cavernoso del Triassico superiore (parte inferiore della Falda Toscana). Tale assetto stratigrafico-strutturale, dovuto alle fasi di deformazione dell'Oligocene-Miocene inferiore e del



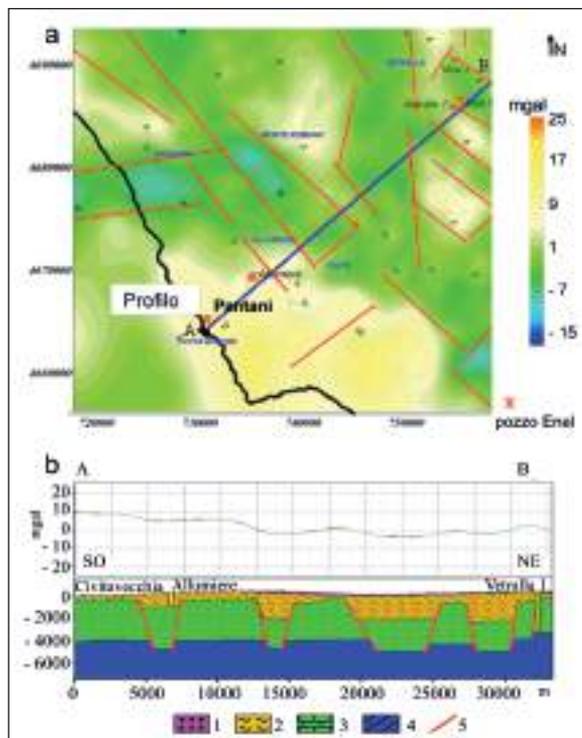
**Figura 2** - Ubicazione dei pozzi dell'Enel (Pa, Pantani; AI, Allumiere; Ba, Bagnarello) e delle Terme dei Papi (TP).

**Figure 2** - Location of the wells of Enel (Pa, Pantani; AI, Allumiere; Ba, Bagnarello) and Spa of Papes (TP).



**Figura 3** - Stratigrafia dei pozzi Pantani (1961), Allumiere (1962), Bagnarello (1962) dell'Enel e delle Terme dei Papi (2019). 1, travertino (Olocene); 2, Flysch della Tolfa: a, con noduli di pirite (Cretacico superiore-Eocene); 3, Falda Toscana: Calcari diasprini (Dogger); 4, Calcari e marne con Rhaetavicula contorta - Calcare cavernoso (Triassico superiore); 5, contatto di sovrapposizione tettonica.

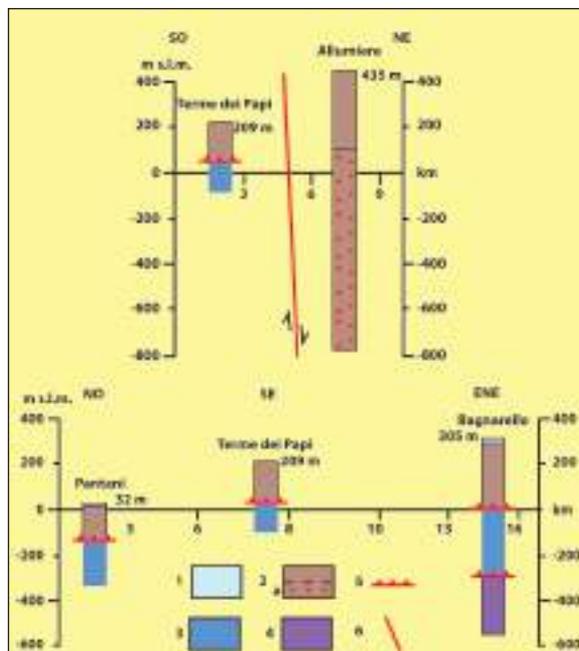
**Figure 3** - 3 Logs of the wells Pantani (1961), Allumiere (1962), Bagnarello (1962) of Enel and TP of Spa of Papes (2019). 1, travertine (Holocene); 2, Tolfa Flysch: a, with pyrite nodules (upper Cretaceous-Eocene); 3, Tuscan Nappe: Diasprino Limestone (Dogger); 4, Limestone and marl with Rhaetavicula contorta-Cavernoso Limestone (upper Triassic); 5, tectonic overlapping contact.



**Figura 4** - Carta della gravità residuale (a) e profilo del modello gravimetrico (b) dei Monti della Tolfa. 1, unità vulcaniche (Pliocene-Pleistocene); 2, Flysch della Tolfa (Cretacico superiore-Eocene); 3, unità Mesozoico-Cenozoiche della Falda Toscana; 4 substrato quarzítico-filladico (Permiano); 5, faglia diretta. Da Chiocchini et al. (2010) modificato.

**Figure 4** - Map of the residual gravity (a) and profile of the gravimetric model (b) of the Tolfa Mountains. 1, volcanic units (Pliocene-Pleistocene); 2, Tolfa Flysch (upper Cretaceous-Eocene); 3, Mesozoic-Cenozoic units of the Tuscan Nappe; 4, quartzite-phyllite substrate (Permian); 5, normal fault. From Chiocchini et al. (2010) modified.

Miocene medio-superiore (Kligfield et al. 1986; Brunet et al. 1997; Rossetti et al. 1999; ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia in allestimento per la stampa), successivamente è stato suddiviso in *horst* e *graben* ad opera delle fasi della tettonica estensiva del Pliocene-Pleistocene (Consiglio Nazionale delle Ricerche 1987; ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia in allestimento per la stampa). Si evidenzia che la Falda Toscana è stata oggetto di ricerche per lo sfruttamento dei fluidi idrotermali da parte della Società Terni, dell'Enel e dell'Agip nelle aree di Civitavecchia e Viterbo. La sezione gravimetrica della Figura 4 mostra che l'area di Civitavecchia e delle TT è compresa in un *horst*. Dal punto di vista geomorfologico i Monti della Tolfa sono costituiti da un gruppo di rilievi collinari con forma ellissoidale, orientato in direzione SO-NE, ad elevate energia del rilievo con quote fino a 510 m s.l.m. ad Allumiere e 515 m s.l.m. a Tolfa, tra la valle del Fiume Mignone a nord e il Mare Tirreno a sud (Fig. 2). Il reticolo idrografico comprende numerosi corsi d'acqua



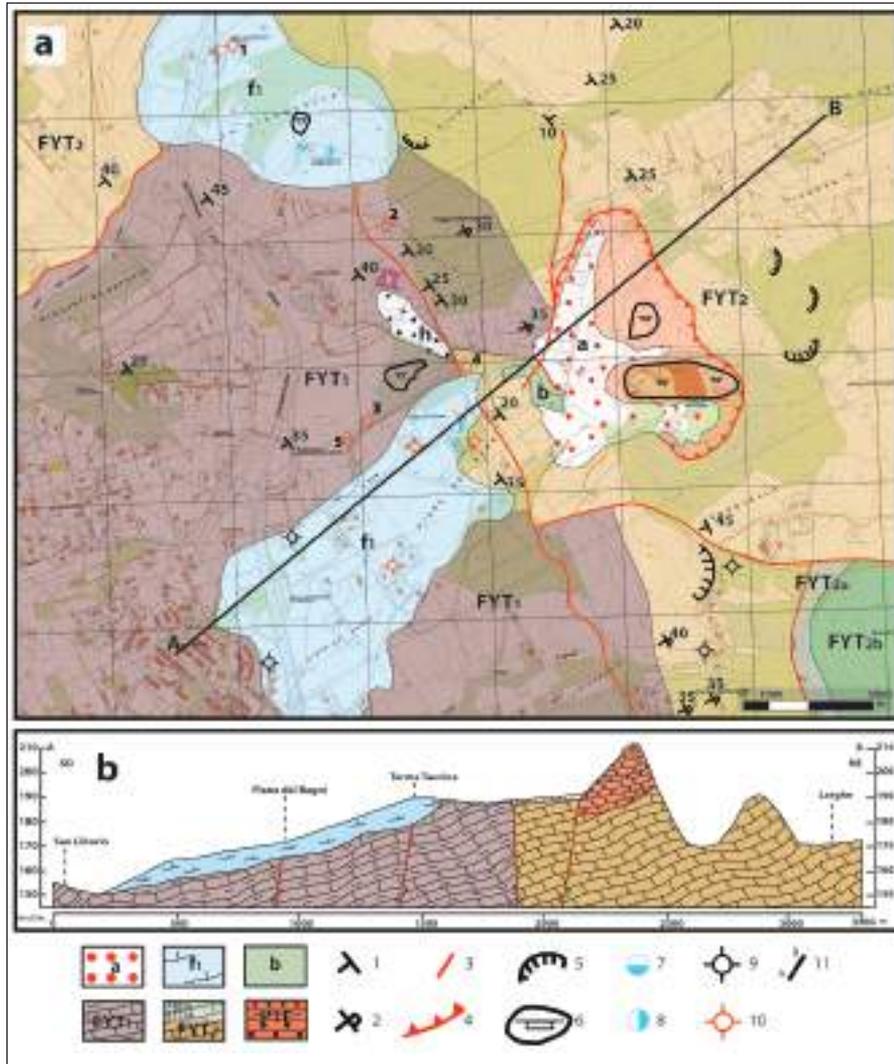
**Figura 5** - Sezioni di correlazione dei pozzi dell'Enel e delle Terme dei Papi. 1, travertino (Olocene); 2, Flysch della Tolfa: a, con noduli di pirite (Cretacico superiore - Eocene); Falda Toscana: 3, Calcari diasprini (Dogger), 4, Calcari e marne con Rhaetavicula contorta-Calcare cavernoso (Triassico superiore); 5, contatto di sovrapposizione tettonica; 6, faglia diretta.

**Figure 5** - Correlation sections of the wells of Enel and the Spa of Popes. 1, travertine (Holocene); 2, Tolfa Flysch: a, with pyrite nodules (upper Cretaceous-Eocene); 3, Tuscan Nappe: Diasprino Limestone (Dogger); 4, Limestone and marl with Rhaetavicula contorta-Cavernoso Limestone (upper Triassic); 5, tectonic overlapping contact; 6, normal fault.

a regime torrentizio, con valli a forma di "V" talvolta molto accentuate, disposti con andamento radiale.

Il rilevamento geologico (Fig. 6) indica che l'area in esame è costituita dal Flysch della Tolfa (FYT), cui si sovrappone una scaglia tettonica di Pietraforte (PTF), subordinatamente da travertino (f), detrito (a) e deposito eluvio-colluviale (b). Il Flysch della Tolfa comprende il Membro di Poggio Vivo (FYT<sub>1</sub>) cui segue il Membro di Fosso dell'Anitrella (FYT<sub>2</sub>) (ISPRA- Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia in allestimento per la stampa).

Il Membro di Poggio Vivo (FYT<sub>1</sub>), che affiora nell'area occidentale tra Il Pozzolo-Poggio Sferaccavallo -Autostrada A 12-Casale S. Antonio-S. Liborio, è composto da strati medi di argilliti di colore marrone chiaro 5 YR 6/4, grigio scuro 5 YR n. 3, grigio chiaro medio 5 YR n. 4 e rosso medio 5 R 4/6 con intercalazioni di strati medi e sottili di marne e calcari marnosi di colore marrone chiaro 5 YR 6/4, e di strati medi e spessi di calcari silicei di colore grigio scuro 5 YR n. 3, di calcareniti torbiditiche di colore grigio 10 YR 7/4 e marrone medio 5 YR 4/4 in strati medi e spessi (Fig. 7). Lo spessore complessivo del Membro di Poggio Vivo è di circa 600-700 m e la sua età



**Figura 6** - Carta (a) e sezione geologica (b) dell'area delle Terme Taurine. a, detrito (Olocene); b, deposito eluvio - colluviale (Olocene); f<sub>1</sub>, travertino stromatolitico (Olocene); FYT, Tofla Flysch: FYT<sub>1</sub>, Poggio Vivo Member (argilliti grigie, marroni, rossastre, con intercalazioni di marne e calcari marnosi di colore marrone chiaro in strati medi, di calcari silicei di colore grigio scuro in strati sottili e medi, calcareniti torbiditiche di colore grigio e marrone chiaro in strati medi e spessi; Cretacico superiore - Paleocene); FYT<sub>2</sub>, Membro del Fosso dell'Anitrella (calcari marnosi grigi e nocciola tipo pietra paesina, calcari silicei di colore grigio scuro, e calcareniti torbiditiche grigie in strati medi e spessi, marne di colore marrone chiaro, argilliti marroni e grigie; marne e calcari marnosi rossastri in strati medi nella parte superiore; Eocene); FYT<sub>2a</sub>, Litofacies delle argilliti del Mignone (argilliti rosse, verdi e grigie intensamente scagliettate con intercalazioni di strati sottili di calcari marnosi); FYT<sub>2b</sub>, Litofacies di Monte Fortino (calcari marnosi, calcareniti torbiditiche, marne, argilliti in strati sottili, medi e spessi); PTF, Pietraforte (arenarie medio-fini grigie, marroni per alterazione, in strati medio-spessi; a tetto con intercalazioni di argille rosse e verdi; Cretacico superiore); 1, strati dritti; 2, strati rovesciati; 3, faglia diretta; 4, contatto di sovrapposizione tettonica; 5, nicchia di distacco di paleo frana; 6, cava abbandonata; 7, sorgente termale; 8, sorgente termale estinta; 9; pozzo; 10, pozzo termale; 11, traccia della sezione geologica.

**Figure 6** - Geological map (a) and section (b) of the Taurine Baths area. a, debris (Holocene); b, eluvial-colluvial deposit (Holocene); f<sub>1</sub>, stromatolite travertine (Holocene); FYT, Tofla Flysch: FYT<sub>1</sub>, Poggio Vivo Member (grey, brown and reddish argillite with intercalation of light brown marl and marly limestone in medium thick beds, dark grey siliceous limestone in thin and medium beds, grey to brown turbidite calcarenite in medium and thick beds; upper Cretaceous-Paleocene); FYT<sub>2</sub>, Fosso dell'Anitrella Member (grey and brown marly limestones of pietra paesina type, dark grey siliceous limestone, and grey turbidite calcarenite in medium and thick beds, light brown marl; brown and grey argillite; marl and reddish marly limestone in medium beds in the upper part; Eocene); FYT<sub>2a</sub>, Litofacies of the Mignone argillite (red, green and grey intensely flaked argillite with intercalations of thin layers of marly limestone); FYT<sub>2b</sub>, Lithofacies of Monte Fortino (marly limestone, turbidite calcarenite, marl, argillite in thin, medium and thick beds); PTF, Pietraforte (medium-fine grey sandstone, brown by alteration, in medium and thick beds; red and green clay in the upper part; upper Cretaceous); 1, bed attitude; 2, overturned beds; 3, normal fault; 4, tectonic overlapping contact; 5, main scarp of paleo-landslide; 6, abandoned quarry; 7, thermal spring; 8, dried thermal spring; 9; well; 10, thermal well; 11, trace of geological section.



**Figura 7** - Strati medi di argilliti, marne e calcari silicei marroni del Membro di Poggio Vivo, con immersione verso SO, nei pressi dell'edificio delle nuove terme di Civitavecchia.

*Figure 7* - Medium beds of brown argillite, marl, and siliceous limestone of the Poggio Vivo Member, dipping to the SW, near the building of the new thermal baths of Civitavecchia.



**Figura 8** - Strati molto spessi di calcare marnoso di colore giallo chiaro e di argilliti di colore marrone, con immersione verso SO, del Membro del Fosso dell'Anitrella sulle Colline dell'Argento.

*Figure 8* - Very thick beds of light-yellow marly limestone and brown argillite, dipping to the SW, of the Fosso dell'Anitrella Member in the Colline dell'Argento.



**Figura 9** - Strati medi e spessi di travertino stromatolitico presso la sorgente Ficoncella.

*Figure 9* - Medium and thick beds of stromatolite travertine at the Ficoncella spring.

è Cretacico superiore – Paleocene (ISPRA- Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia in allestimento per la stampa).

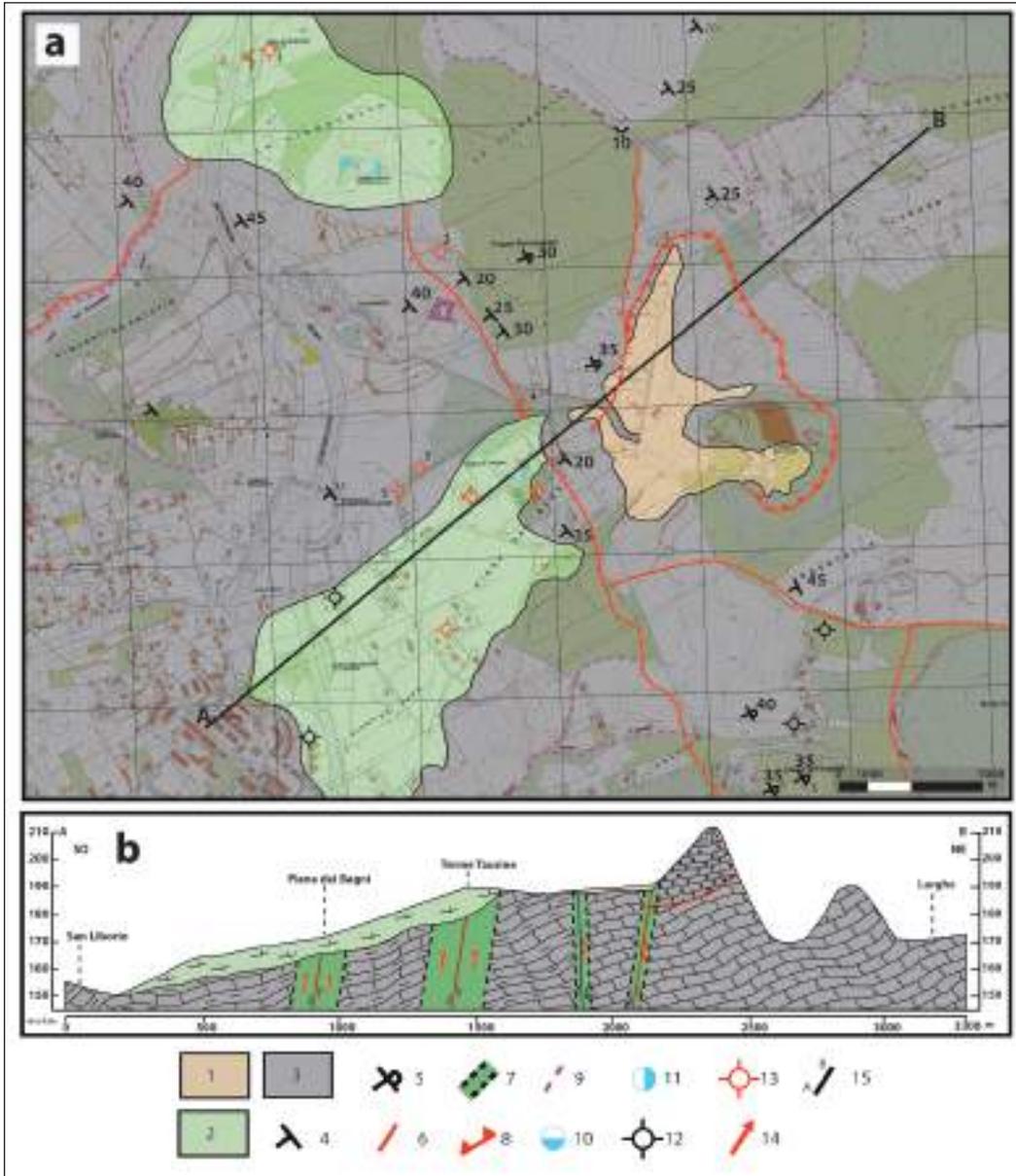
Il Membro del Fosso dell'Anitrella (FYT<sub>2</sub>) è presente nella zona orientale tra Argentella, Larghe e Ficoncella, e comprende strati medi e spessi di marne e calcari marnosi di colore arancio grigio 10 YR 7/4, tipo pietra paesina, calcari silicei, calcareniti torbiditiche di colore arancio grigio 10 YR 7/4, con intercalazioni di argilliti di colore marrone medio 5 YR 4/4 (Fig. 8), marne e calcari marnosi di colore arancio rosa 10 R 7/4 nella parte alta. Lungo il Fosso delle Forcelle affiorano le argilliti scagliose di colore rosso, verde, grigio con intercalazioni di strati sottili di calcari marnosi, attribuiti alla Litofacies delle argilliti del Mignone (FYT<sub>2a</sub>), cui seguono strati spessi, medi e sottili di calcari marnosi di colore arancione grigio 10 YR 7/4, calcareniti torbiditiche, marne e argilliti di colore grigio scuro 5 YR n. 3 della Litofacies di Monte Fortino (FYT<sub>2b</sub>). Lo spessore complessivo del Membro del Fosso dell'Anitrella è di circa 700-800 m e la sua età è Eocene (ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia in allestimento per la stampa).

Le unità del Flysch della Tolfa sono correlabili con quelle dell'Unità Esterna di Fazzini et al. (1972). Infatti, il Membro di Poggio Vivo (FYT<sub>1</sub>) corrisponde al Flysch argilloso-calcareo (fc), il Membro del Fosso dell'Anitrella (FYT<sub>2</sub>) al Flysch calcareo (fc<sup>1</sup>), la Litofacies delle argilliti del Mignone (FYT<sub>2a</sub>) alla Formazione del Mignone (fM) e la Litofacies di Monte Fortino (FYT<sub>2b</sub>) al Flysch calcareo con marne rosate (fc<sup>2</sup>).

Nella zona di Casale Bottega, dove esistono due cave abbandonate, affiorano arenarie medio-fini di colore marrone giallo medio 10 YR 5/4 in strati medio spessi. A tetto sono presenti argille verdi e rosse con intercalazioni di arenarie fini di colore marrone giallo medio 10 YR 5/4 in strati medi e di siltiti di colore rosso medio 5 R 5/4 in strati sottili. La successione, con spessore di circa 40 m, è attribuita alla Pietraforte (PTF) la cui età è Cretacico superiore (Alberti et al. 1970; Abbate e Sagri 1970; Giannini et al. 1971; Fazzini et al. 1972; ISPRA- Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia in allestimento per la stampa).

Il travertino (f<sub>1</sub>) si trova nelle aree di Piana dei Bagni, Poggio Sferzacavallo, e Ficoncella, dove si osservano i migliori affioramenti anche in una cava abbandonata attribuita ad età romana (Sammuri 2020). Si tratta di una roccia carbonatica porosa di colore grigio chiaro N 7 con granulometria media e strutture laminate di tipo stromatolitico in strati medi e spessi dell'Olocene (Fig. 9), caratteristica del travertino detritico (Capezzuoli e Gandin 2004; Gandin e Capezzuoli 2008; Gandin 2013) o travertino stromatolitico (D'Argenio e Ferreri 1987; 1988; D'Argenio et al. 2013). I depositi di travertino formano due corpi con geometria lenticolare e spessore massimo 10 m. Il rapporto isotopico  $\delta^{13}\text{C}$  di tre campioni della Ficoncella è compreso tra 2,0 e 5,2, il  $\delta^{18}\text{O}$  tra 18,9 e 23,8 (Manfra et al. 1976). I valori isotopici del carbonio indicano che alla formazione dei travertini ha partecipato la CO<sub>2</sub> originata dalla de-carbonatazione delle formazioni calcaree della Falda Toscana nel sottosuolo. Inoltre, i valori del  $\delta^{18}\text{O}$  suggeriscono che i travertini hanno una genesi da acque essenzialmente meteoriche.

Il detrito (a) comprende frammenti eterometrici di calcari marnosi e silicei, marne e calcareniti in matrice limoso



**Figura 10** - Carta (a) e sezione (b) idrogeologica dell'area delle Terme Taurine. 1, Complesso detritico: depositi eterometrici sciolti (detrito) in matrice limoso argillosa, sabbie limoso argillose (deposito eluvio-colluviale) con permeabilità relativa medio bassa per porosità e coefficiente di infiltrazione 0,30 (Olocene); 2, Complesso del travertino: travertino stromatolitico con permeabilità relativa media per porosità e fratturazione, e coefficiente di infiltrazione potenziale 0,75 (Olocene); 3, Complesso del Flysch e della Pietraforte: calcari marnosi, calcari silicei, calcareniti, marne, arenarie, argilliti, con permeabilità relativa per fratturazione da molto bassa a nulla, e coefficiente di infiltrazione potenziale 0,20 (Cretacico superiore-Eocene); 4, strati dritti; 5, strati rovesciati; 6, faglia diretta; 7, fascia cataclastica con permeabilità relativa elevata; 8, contatto di sovrapposizione tettonica; 9, torrente; 10, sorgente termale; 11, sorgente termale estinta; 12 pozzo; 13, pozzo termale; 14, risalita dei fluidi termali; 15, traccia di sezione idrogeologica.

**Figure 10** - Hydrogeological map (a) and section (b) of the Taurine Baths area. 1, Detrital complex: loose heterometric deposits (debris) in a silty clayey matrix, silty clayey sands (eluvial-colluvial deposit) with medium low relative permeability due to porosity and potential infiltration coefficient 0.30 (Holocene); 2, Complex of travertine: stromatolite travertine with medium low relative permeability due to porosity and fracturing, and potential infiltration coefficient 0.75 (Holocene); 3, Complex of Flysch and Pietraforte: marly limestones, siliceous limestones, calcarenites, marls, sandstones, argillites, with very low to zero relative permeability due to fracturing, and potential infiltration coefficient 0.20 (upper Cretaceous-Eocene); 4, bed attitude; 5, overturned beds; 6, normal fault; 7, cataclastic belt with high relative permeability; 8, tectonic overlapping contact; 9, torrent; 10, thermal spring; 11, dried thermal spring; 12, well; 13, thermal well; 14, flow of thermal fluids rising upwards; 15, trace of hydrogeological section.

argillosa, mentre il deposito eluvio-colluviale (b) è costituito da sabbie limoso argillose. Lo spessore di questi sedimenti, riferiti all'Olocene, è di pochi metri.

La ricostruzione dell'assetto tettonico dei due membri del Flysch della Tolfa è fortemente condizionata dalla limitata estensione dell'area in esame e dalla mancanza di affioramenti significativi per riconoscere gli elementi strutturali ed i relativi indicatori alla mesoscala. Gli strati dei due membri mostrano immersione omogenea verso SO con inclinazione variabile da 20° a 45°, talora con giacitura rovesciata, il cui significato è collegato alle pieghe a grande scala riconosciute da Fazzini et al. (1972) e ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo- Servizio Geologico d'Italia (in allestimento per la stampa). Al riguardo si evidenzia che il Membro del Fosso dell'Anitrella è costituito da un una maggiore quantità di calcari più competenti, mentre il Membro di Poggio Vivo mostra una elevata quantità di argilliti meno competenti (Ragan 2009). Questa differenza litologica si riflette nella diversa risposta dei due membri alle sollecitazioni delle deformazioni. Infatti, alla scala dell'affioramento i due membri mostrano meso-pieghe e piani di taglio a scala decimetrica e gli strati calcarei competenti intercalati tra quelli argillosi meno competenti sono stirati, assottigliati e rotti ad intervalli irregolari formando corpi che assomigliano a budini (*boudinage*; American Geological Institute 2005), molto più evidenti nel Membro di Poggio Vivo. I due membri sono interessati da due sistemi di faglie dirette con orientazione NO-SE e N-S, il cui rigetto non è definibile per l'impossibilità di riconoscere livelli stratigrafici di riferimento, mentre la Pietraforte forma una scaglia tettonica con geometria lenticolare sovrapposta al Membro di Poggio Vivo (Fig. 6).

Dal punto di vista geomorfologico la zona delle TT (Fig. 6) è costituita da colline a quote tra 100 e 300 m s.l.m. (Colline dell'Argento, Larghe, Poggio Sferracavallo, Ficoncella), caratterizzate da alta energia del rilievo, mentre la zona di San Liborio mostra morfologia quasi pianeggiante (Piana dei Bagni; Fig. 6), debolmente inclinata verso sud a quote comprese tra 191 e 165 m s.l.m. Le incisioni del reticolo idrografico sono profonde con forma a "V" e comprendono il tratto superiore dei torrenti Fosso della Fiumaretta e Fosso Zampa d'Agnello, con decorso SO-NE, e il Fosso delle Forcelle, orientato N-S, che sboccano nel Mare Tirreno, i primi due a sud, l'altro a nord di Civitavecchia. Inoltre, sono state riconosciute nel Membro del Fosso dell'Anitrella quattro nicchie di paleo-frane sui versanti delle località Larghe e La Ficoncella.

Il rischio sismico del territorio comunale di Civitavecchia, in cui è compresa l'area delle TT, è classificato con il grado 3 caratterizzato da indice di accelerazione ( $a_g$ ) < 0,10<sup>[1]</sup> con probabilità di essere superato pari al 10% in 50 anni (www.Regione Lazio.Protezione civile.it). Si tratta di un rischio sismico basso che implica scuotimenti modesti.

### Assetto idrogeologico

L'assottigliamento della crosta continentale e i connessi cicli magmatici, attivi nella fascia peri-Tirrenica centrale insieme alle fasi tettoniche distensive durante il Pliocene-Pleistocene

(Consiglio Nazionale delle Ricerche 1987; ISPRA- Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia in allestimento per la stampa), hanno generato in alcune aree della Toscana e del Lazio un forte flusso di calore regionale con valori di 200-300 MW/m<sup>2</sup> fino a 450 MW/m<sup>2</sup> (Calamai et al. 1976; Della Vedova et al. 1991; Barberi et al. 1994; Cataldi et al. 1999). Questa fascia è inoltre caratterizzata da notevoli emissioni di fluidi termali con abbondante CO<sub>2</sub>, che controllano la deposizione del travertino, nelle aree geotermiche di Civitavecchia e Viterbo (Manfra et al. 1976; Duchi et al. 1985; Duchi e Minissale 1995; Minissale et al. 2002).

Nell'area delle TT si riconoscono tre complessi idrogeologici: il Complesso detritico, il Complesso del travertino e il Complesso del Flysch e della Pietraforte (Fig. 10).

Il Complesso detritico, che comprende il detrito eterometrico in matrice limoso argillosa e le sabbie limoso argillose del deposito eluvio colluviale, è caratterizzato da permeabilità relativa medio bassa per porosità con Coefficiente di Infiltrazione Potenziale (CIP) = 0,30 (Celico 1988; Civita 2005).

Il Complesso del travertino è costituito da due corpi con forma lenticolare e basso spessore, che mostrano una permeabilità relativa media per porosità e fratturazione e CIP = 0,75 (Celico 1988; Civita 2005). Questi due fattori non consentono un accumulo significativo di acqua sotterranea.

Il Complesso del Flysch e della Pietraforte, che comprende il Flysch della Tolfa e la Pietraforte, corrisponde al "Complesso dei flysch argillosi con intercalazioni litoidi" di Boni et al. (1986), alle "Rocce lapidee e sciolte con permeabilità ridottissima o nulla" di Ventriglia (1988), al "Complesso dei flysch marnoso-argillosi" di Capelli et al. (2012a) e alle "Unità Flyscioidi F1 Monti della Tolfa" di Capelli et al. (2012b). Secondo questi Autori il Complesso dei Flysch è caratterizzato da permeabilità e potenzialità acquifera bassissima. Infatti, Boni et al. (1986) hanno calcolato che l'infiltrazione efficace in questo complesso idrogeologico è minore di 100 mm/a, mentre il valore del coefficiente di conducibilità idraulica determinato specificamente per il Flysch della Tolfa nell'area di Viterbo, con condizioni litostratigrafiche e strutturali identiche a quelle dell'area delle TT, è  $k = 5 \times 10^{-8} - 5 \times 10^{-9}$  m/s (Piscopo et al. 2006) e quello della Pietraforte nella limitrofa zona di Santa Marinella è  $k = 6,5 \times 10^{-7}$  m/s (Chiocchini et al. 1996). Pertanto, il Complesso del Flysch e della Pietraforte mostra una permeabilità relativa per fratturazione da molto bassa a nulla ed un altrettanto molto basso valore del CIP = 0,20 (Celico 1988; Civita 2005), tranne lungo le fasce cataclastiche delle faglie, dove la permeabilità relativa è elevata (Caine et al. 1996; Forster e Smith 1988 a, b; Lopez e Smith 1995; Grasby e Hutchinson 2001; Li et al. 2007; Underschultz et al. 2018).

Il controllo delle piccole sorgenti di acqua fredda segnalate da Camponeschi e Nolasco (1978) nei dintorni delle TT indica che esse sono estinte. Per quanto riguarda i pozzi si evidenzia che sono stati individuati quattro pozzi attivi, perforati nel Flysch della Tolfa, che hanno intercettato le acque sotterranee con portata massima di 1 l/s a profondità comprese tra 8 e 10 m dal p.c. nella zona di S. Liborio e Piana dei Bagni, e 90 m dal p.c. nella zona delle Colline dell'Argento. Questi dati suggeriscono che la circolazione delle acque sotterranee nel Complesso del Flysch e della Pietraforte non è significativa, con possibile formazione di piccoli corpi idrici sospesi solo dove tale complesso

<sup>1</sup> Questo indice rappresenta l'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido e pianeggiante.

risulta molto fratturato. Di conseguenza, come già evidenziato da Alberti et al. (1970), Bertini et al. (1971), Nappi et al. (2016) e confermato da Capelli et al. (2012), le sorgenti alimentate localmente da tali corpi idrici sono molto rare, ubicate a quote differenti, con portate inferiori a 1 l/s, caratterizzate regime temporaneo, oppure attualmente estinte.

Le acque termali solfato bicarbonato alcalino terrose contenenti  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$  (Camponeschi e Nolasco 1978; Università degli Studi di Roma Tor Vergata 2020), allineate secondo la direttrice della faglia diretta orientata NO-SE (Fig. 10), come riconosciuto anche da Ventriglia (1988) e Capelli et al. (2012), emergevano nelle sorgenti ubicate presso La Ficoncella e le TT (ambidue comprese nella concessione mineraria denominata Terme di Traiano gestita dal Comune di Civitavecchia per 90 anni con Decreto del Ministro per l'Industria e il Commercio del 1951), e nelle due cave abbandonate di Casale Bottega. La composizione di queste acque termali è caratterizzata da elevato contenuto dei cationi calcio, magnesio, sodio e degli anioni solforico e idrocarbonico (Camponeschi e Nolasco 1978; Università degli Studi di Roma Tor Vergata 2020).

Presso La Ficoncella esistevano due sorgenti: Cannelaccio nei ruderi delle *Aquae Tauri* a quota 191 m s.l.m. con portata 1,66 l/s e temperatura di 55°C; Ficoncella a quota 184 m s.l.m. con portata 0,33 l/s e temperatura di 49,5°C (Yuhara e Ribacchi 1963). Camponeschi e Nolasco (1978) indicano per la prima sorgente una portata di 2 l/s, per la seconda di 1 l/s e temperatura 50°C, e mostrano 12 valori della temperatura per lo più di 55°-56°C tra il 1868 e il 1977. Pertanto, i valori complessivi della portata delle due sorgenti erano compresi tra 1,99 e 3 l/s, quelli della temperatura tra 50° e 56°C. Per questa sorgente Gonfiantini et al. (1968) hanno determinato la composizione isotopica della  $\text{CO}_2$ , dell'acqua e dei travertini, la cui deposizione non avviene nel punto di equilibrio isotopico.

Secondo Torraca (1761) alle TT esistevano due tipi di acque, uno caldo solfureo, l'altro tiepido, leggermente acido, di sapore gradevole, con effetto lassativo, curativo in particolare per le malattie della vescica, che si è disperso in seguito agli scavi per raccogliere l'acqua sulfurea. Yuhara e Ribacchi (1963) indicano due sorgenti, una con portata 0,83 l/s e temperatura di 45°C, l'altra con portata 0,5 l/s e temperatura 40°C. Queste due sorgenti sono riconosciute anche da Camponeschi e Nolasco (1978) che indicano una portata di 0,5 l/s e temperatura 55°C per una sorgente, mentre per l'altra sorgente indicano solo la temperatura di 44°C. Questi Autori evidenziano 13 valori della temperatura, che mostrano notevoli variazioni tra il 1868 (32°C) e il 1974 (45°C), raggiungendo i valori massimi di 55°C nel 1870, 1894, 1947 e di 56°C nel 1882. Pertanto, la portata complessiva delle due sorgenti delle TT è compresa tra 0,5 e 1,33 l/s e la temperatura mostra valori tra 44° e 56°C.

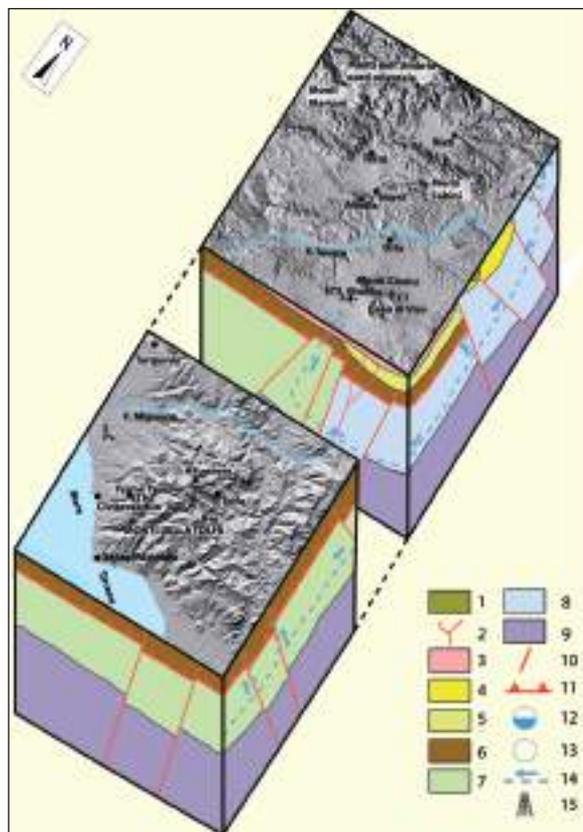
Inoltre, nelle due cave abbandonate della zona di Casale Bottega, Camponeschi e Nolasco (1978) segnalano la presenza di acqua mineralizzata in buche scavate nella Pietraforte. In effetti attualmente si osservano frequenti impregnazioni solfuree, di carbonato di calcio e di ossidi ferro nel materiale scavato. Le sorgenti di acqua termale hanno formato i depositi di travertino di Piana dei Bagni e di Poggio Sferacavallo-La Ficoncella e si sono estinte in conseguenza della perforazione sia di cinque pozzi per le nuove terme di Civitavecchia, la cui costruzione non è mai stata terminata, sia di altri pozzi che

emungono abusivamente acqua termale. Di conseguenza, questi pozzi hanno prodotto un gravissimo irreversibile danno ambientale. Attualmente esiste solo la sorgente Ficoncella, alimentata con l'acqua termale del pozzo perforato nella grotta adiacente, che eroga 2 l/s (Tufoni 2017).

La provenienza delle acque termali della zona delle TT è connessa alla circolazione delle acque sotterranee nell'area di ricarica costituita dall'acquifero carbonatico della Successione Umbro Marchigiana dell'Appennino centrale, che affiora nella zona di Amelia e Narni, nei Monti Martani, nei monti dell'Umbria nord-orientale e nei Monti Sabini, come illustrato nel modello idrogeologico concettuale della Figura 11. Le quote dell'area di ricarica, in gran parte situate mediamente a circa 1200 m s.l.m. (Froncini et al. 2012), sono coerenti con i valori del rapporto isotopico  $\delta^2\text{H}/\text{H}$  e  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  dell'acqua termale dell'area di Viterbo (Piscopo et al. 2006). L'alto valore del gradiente topografico tra l'area di ricarica a 1200 m s.l.m. dell'Appennino centrale e le zone di recapito di Viterbo e delle TT nei Monti della Tolfa, a quote rispettivamente di 320-240 m e 188 m s.l.m., si traduce in un elevato carico idraulico (rispettivamente 880-960 e 1009 m) che funge come forza principale per il deflusso delle acque sotterranee dall'area di ricarica alle suddette zone di recapito.

Le acque sotterranee dell'acquifero carbonatico dell'Appennino centrale formano un grande circuito che emerge lungo la gola del Fiume Nera vicino a Narni (Fig. 11) nella sorgente lineare di Stifone-Montoro a quota 75-65 m s.l.m., circa 34 km a ENE di Viterbo, con composizione solfato clorurato alcalina, rapporto isotopico  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  0,70816 identico a quello dell'acqua termale di Viterbo (Chiocchini et al. 2010), temperatura di 15°-18°C e portata di 13,5 m<sup>3</sup>/s (Boni et al., 1986; Chiocchini et al., 1987; Froncini et al. 2012). Le acque di questo circuito si mescolano con quelle delle sabbie e ghiaie dell'acquifero superficiale (simbolo 4 in Fig. 11) sovrapposto all'acquifero carbonatico, scorrono verso la valle del F. Tevere, iniziano a riscaldarsi trasformandosi in fluidi termali, emergono prima ad Orte in una sorgente con temperatura 30°C, proseguono verso i Monti Cimini-area di Viterbo riscaldandosi ulteriormente ed alimentando l'acquifero carbonatico nel sottosuolo costituito dalla Successione Umbro Marchigiana e dalla Falda Toscana (Fig. 11), ed emergono di nuovo formando le sorgenti termali di Viterbo con temperatura attuale fino a 55°C (Chiocchini et al. 2010; Chiocchini e Manna 2015; Chiocchini e Savarese 2020). Infine, i fluidi termali continuano a defluire verso l'area delle Terme Taurine nei Monti della Tolfa, dove si riscaldano ulteriormente nell'acquifero della Falda Toscana (Fig. 11) ad opera del magma che ha alimentato il vulcanismo di questa area (Lombardi et al. 1974; De Rita et al. 1997), ed emergono ancora in superficie con temperatura di 44°-56°C, mescolandosi localmente con limitati corpi idrici sospesi del Complesso del Flysch e della Pietraforte. Pertanto, nelle aree dei Monti Cimini-Viterbo e Monti della Tolfa l'acquifero carbonatico della Falda Toscana ospita due sistemi idrotermali con acque solfato bicarbonato alcalino terrose, vapore e gas (principalmente  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$ ), che defluiscono verso l'alto a causa dei seguenti fattori (Chiocchini et al. 2010; Chiocchini e Manna 2015):

- l'elevata pressione interna nell'acquifero carbonatico;
- la pressione di vapore e gas che consente di innalzare il



**Figura 11** - Il modello concettuale 3D mostra le aree geotermiche di Viterbo (stereogramma in alto) e Civitavecchia (stereogramma in basso), l'area di ricarica dell'Appennino centrale, che comprende la zona di Amelia e Narni, i Monti Sabini, i Monti Martani e i monti dell'Umbria nord-orientale con i loro complessi idrogeologici (simboli 1 - 9) e il circuito che alimenta il sistema idrotermale (linea tratteggiata e freccia in blu). 1, sedimenti alluvionali (acquifero superficiale; Quaternario); 2, intrusioni di magma dei distretti Cimino e Vicano (Pleistocene); 3, rocce vulcaniche dei distretti Cimino e Vicano (acquifero vulcanico); 4, argille (complesso impermeabile), sabbie e ghiaie (acquifero superficiale) (Pleistocene); 5, argille (complesso impermeabile; Pliocene inferiore); 6, Flysch della Tolfa (complesso impermeabile; Cretaceo superiore-Eocene); 7, Falda Toscana (acquifero carbonatico; Triassico superiore-Paleogene); 8, Successione Umbro Marchigiana (acquifero carbonatico; Triassico superiore-Paleogene); 9, substrato quarzítico-filladico (complesso impermeabile; Permiano); 10, faglia diretta; 11, contatto di sovrapposizione tettonica; 12, sorgente di acqua termale; 13, sorgenti del fiume Nera; 14, circuito delle acque sotterranee; 15, pozzo: ST5, Società Terni; Pa, Pantani, Al, Allumiere, Ba, Bagnaccio, Enel; TP, Terme dei Papi.

**Figure 11** - The 3D conceptual hydrogeological model shows the geothermal areas of Viterbo (stereogram above) and Civitavecchia (stereogram below), the recharge area of the central Apennines, which includes the zone of Amelia and Narni, the Sabini Mountains, the Martani Mountains, and the mountains of north-eastern Umbria with their hydrogeological complexes (symbols 1 - 9) and the circuit that feeds the hydrothermal system (dotted line and arrow in blue). 1, alluvial sediments (superficial aquifer; Quaternary); 2, magma intrusions of the Cimino and Vico districts (Pleistocene); 3, volcanic rocks of the Cimino and Vico districts (volcanic aquifer); 4, clays (impervious complex), sands and gravels (superficial aquifer) (Pleistocene); 5, clays (impervious complex; lower Pliocene); 6, Tolfa Flysch (impervious complex; upper Cretaceous-Eocene); 7, Tuscan Nappe (carbonate aquifer; upper Triassic-Paleogene); 8, Umbro-Marche Succession (carbonate aquifer; upper Triassic-Paleogene); 9, quartzite phyllite substrate (impervious complex; Permian); 10, normal fault; 11, tectonic overlapping contact; 12, spring of thermal water; 13, springs of the Nera River; 14, groundwater circuit; 15, well: ST5, Terni Company; Pa, Pantani, Al, Allumiere, Ba, Bagnaccio, Enel; TP, Spa of Popes.

livello idrostatico dei fluidi e di alleggerire il loro carico, con conseguente riduzione progressiva della densità dell'acqua;

- la temperatura del tetto dell'acquifero carbonatico, ubicato a 400 m di profondità nelle aree dei Monti Cimini-Viterbo e Monti della Tolfa, mostra un valore di 50°C, e, nella prima area, di 100°C, 150°C, 200°C, rispettivamente, a 1000, 2000 e 3000 m di profondità (Chiocchini et al. 2010); tali valori causano l'espansione termica dell'acqua, il cui ruolo è fondamentale per la dinamica dei sistemi idrotermali.

La maggior parte del vapore condensa nel sottosuolo e il liquido risultante si espande lateralmente o evapora (Chiodini et al. 2005). Il pennacchio di fluidi termali, composti da acqua riscaldata e dilatata con bassa densità, dal vapore e dai gas, risale e penetra nelle fratture e, soprattutto, nelle fasce cataclastiche permeabili dei sistemi di faglie dirette orientate NO-SE e N-S (Fig. 10 b e 11). Questo schema di deflusso concorda con quanto riportato da Caine et al. (1996), Forster e Smith (1988a; 1988b), Lopez e Smith (1995), Li et al. (2007), Underschlutz et al. (2018), i quali evidenziano che le fratture e le faglie sono fattori primari per il deflusso delle acque sotterranee e che l'elevata permeabilità lungo le zone fagliate è cruciale per lo sviluppo dei sistemi idrotermali. Inoltre, secondo Li et al. (2007) e Grabsby e Hutchinson (2001) le faglie influenzano la profondità di circolazione e la conseguente temperatura; quindi, le sorgenti

sono spesso allineate lungo le faglie, come si osserva anche nel caso delle sorgenti termali delle TT e della Ficoncella.

## Risultati

### Dati storici dell'archivio fotografico della Soprintendenza Archeologica

Prima di esaminare i dati dell'archivio fotografico della Soprintendenza Archeologica è necessario ricordare brevemente la storia degli scavi eseguiti alle TT. Le prime ricerche furono svolte dal medico G. Torraca nel 1777 e riprese nel 1821 da L. M. Manzi in occasione dei lavori eseguiti nel 1820 per la costruzione della strada Civitavecchia-Tolfa. La limitata estensione di queste indagini non fornì indicazioni apprezzabili sulla struttura delle TT. Le prime indagini mirate alla scoperta delle strutture si sono sviluppate nel 1912 - 1913 con interventi di restauro della Soprintendenza ai Monumenti, molto limitati perché l'acqua termale, non potendo più defluire attraverso i condotti ostruiti, aveva allagato quasi tutti i vani. Successivamente, grazie all'Associazione Archeologica Centumcellae, furono eseguiti i seguenti scavi: nel 1922 dall'ingegnere R. Mengarelli, che ha messo in luce i resti delle terme di età repubblicana; per le terme di età imperiale ad opera di un comitato presieduto dal Podestà nel 1927 - 1928, 1933 e negli anni successivi fino all'inizio della Seconda Guerra Mondiale



**Figura 12** - La mappa delle Terme Taurine con gli edifici di età repubblicana e imperiale in base al rilievo elaborato dall'Ufficio Urbanistica del Comune di Civitavecchia nel 1990. **Terme di età repubblicana.** 1, *Peristylum*; 2, corridoio centrale; 3, ingresso; 4, *laconicum*; 5, corridoio laterale; 6, corridoio; 7, *Apodyterium* con vasca usata come *tepidarium*; 8, *calidarium*; 9, *frigidarium*; 10-13, *cubicula diurna*; 14-15, *exedrae*. **Terme di età imperiale.** 16, corridoio dell'entrata; 17, ingresso; 18 e 20, vani di transito; 19, *tepidarium*, 21 e 22, *apodyterium* con *prae-furnium* alla base; 23, vano di accesso ai *calidarium* 8 e 24; 23a, *heliocaminus*; 24a, ambiente di servizio; 24, *calidarium*; 25-27, sale riscaldate; 28, *frigidarium*; 29, *prae-furnium*; 30-31, vano di incerta attribuzione; 32, biblioteca; 33, sala di lettura; 34, criptoportico; 35-38, vani per la sosta; 39, *exedra*; 40, *prae-furnium*; 41, corridoio; 42, vano coperto per la raccolta di acqua piovana; 43, vano di incerta attribuzione; 44, *prae-furnium*; 45, corridoio; 46, corridoio di accesso alla latrina; 47, latrina; 48, corridoio per salire al criptoportico; 49, cortile; 50, corridoio per accedere ad *hospitalia*; 51-59, *hospitalia*; 60-61-62-64, ambienti di incerta attribuzione; 63, latrina con alcune postazioni; 65, grande sala di soggiorno; 66, spazio non ispezionabile; 67-82, sostruzioni, 83, cisterna per il rifornimento di acqua.

**Figure 12** - The map of the Taurine Baths with the republican and imperial buildings based on the survey developed by the Ufficio Urbanistica of the Municipality of Civitavecchia in 1990. **Baths of republican age.** 1, *peristylum*; 2, central corridor; 3, entrance; 4, *laconicum*; 5, lateral corridor; 6, corridor; 7, *apodyterium* with a pool used as *tepidarium*; 8, *calidarium*; 9, *frigidarium*; 10-13, *cubicula diurna*; 14-15, *exedrae*. **Baths of imperial age.** 16, entrance corridor; 17, entrance; 18 and 20, transit rooms; 19, *tepidarium*, 21 and 22, *apodyterium* with *prae-furnium* at the base; 23, access room to the *calidarium* 8 and 24; 23a, *heliocaminus*; 24, *calidarium*; 24a, service room; 25-27, heated rooms; 28, *frigidarium*; 29, *prae-furnium*; 30-31, room of uncertain attribution; 32, library; 33, reading room; 34, *cryptoporticus*; 35-38, rooms for resting; 39, *exedra*; 40, *prae-furnium*; 41, corridor; 42, covered compartment for collecting rainwater; 43, room of uncertain attribution; 44, *prae-furnium*; 45, corridor; 46, access corridor to *latrina*; 47, *latrina*; 48, corridor to go up to the *cryptoporticus*; 49, courtyard; 50, corridor to access *hospitalia*; 51-59, *hospitalia*; 60-61-62-64, rooms of uncertain attribution; 63, *latrina* with some stations; 65, large living room; 66, non-inspectable space; 67-82, substructure, 83, cistern for water supply.

con la direzione di R. Mengarelli e S. Bastianelli. Gli scavi e i lavori di restauro, consolidamento e ricostruzione delle TT sono ripresi tra il 1954 e il 1960 ad opera della Soprintendenza Archeologica.

L'archivio della Soprintendenza Archeologica comprende 9 schede con foto in bianco e nero e diciotto schede con fotogrammi piccoli, che mostrano alcune fasi degli scavi del 1922. Inoltre, altri fotogrammi piccoli mostrano i lavori di restauro, consolidamento e ricostruzione di molte opere murarie: quattro schede del 1954 per alcune arcate crollate delle terme di età imperiale; una scheda del 1955, una scheda del 1979, due schede del 1980, dieci schede del 1981, quattro schede del 1982, una scheda del 1984, una del 1985, quindici schede senza data. Si evidenzia che nessuna foto illustra lo stato degli scavi relativi alla struttura semicircolare attribuita dagli Autori (Bastianelli 1961a/1985; Kholer 1986; Heinz 1999, 2000) al *castellum aquae* che raccoglieva l'acqua utilizzata per il funzionamento delle TT.

### I due edifici delle Terme Taurine

I due edifici termali sono ubicati nella zona quasi pianeggiante

di Piana dei Bagni costituita dal travertino stromatolitico. Le caratteristiche geologiche e geomorfologiche di tale zona, al confine con il versante meridionale delle Colline dell'Argento in cui affiora il Membro del Fosso dell'Anitrella (Fig. 6), e l'ottimo terreno di fondazione costituito dal travertino stromatolitico sono particolarmente favorevoli ad ospitare l'insediamento dei due edifici, le cui strutture architettoniche sono riportate nella mappa della Figura 12, frutto del rilevamento eseguito nel 1990 dall'Ufficio Urbanistica del Comune di Civitavecchia sulla base di una mappa elaborata da Bastianelli (1961a/1985). Il primo edificio, che occupa un'area di circa 2240 m<sup>2</sup>, è più piccolo e composto dai seguenti 15 vani (1 - 15; Fig. 12): il *peristylum* (vano per passeggiare all'ombra; 1), un ambiente che funziona come *apodyterium* (spogliatoio) provvisto di una vasca utilizzata come *tepidarium* (7), il *laconicum* (camera con



**Figura 13** - Le frecce evidenziano due pilastri corti (*suspensurae*) che sostenevano il pavimento per il funzionamento del sistema ipocausto con aria calda nel *laconicum* (3 in figura 12).

**Figure 13** - The arrows highlight the two short pillars (*suspensurae*) which supported the floor for the functioning of the hypocaust system with hot air in the *laconicum* (4 in figure 12).

forma circolare per sudare<sup>[2]</sup>, riscaldata mediante i *tubuli*<sup>[3]</sup> e/o le *tegulae mammatae* collegati al sistema ipocausto, *hypocaust* o *balneae pensiles*<sup>[4]</sup>; 4; Fig. 13), il *calidarium* (sala per il bagno con acqua calda; 8), che comprende dieci vaschette e sette colonne di travertino stromatolitico sui lati della vasca, il *frigidarium* (sala per il bagno con acqua fredda; 9), i *cubicula diurna* (camere per riposare dopo il bagno; 10-13), le *exedrae* (strutture architettoniche semicircolari; 14-15). La tessitura del paramento dei vani, in cui sono evidenti gli interventi di consolidamento e restauro eseguiti sulle murature (De Cesaris 2005), mostra che i conci squadriati in piccolo apparato di calcare marnoso e siliceo, raramente di arenaria Pietraforte (dimensioni medie 7 x 8 cm), sono organizzati in file con andamento ondulato e inclinazione media di 45°. Bastianelli (1942, 1961a/1985) e Yegul (1992) interpretano questo paramento come *opus quasi reticulatum*, mentre Köhler (1999) lo attribuisce all'*opus reticulatum*. Al riguardo si evidenzia che la lavorazione di queste rocce con metodi manuali, come quelli usati dalle maestranze

2 Le metodologie del sudore sono collegate al bagno terapeutico. Secondo Aulo Cornelio Celso (*De Medicina*, II, 17), medico Romano del I secolo a.C., il sudore può essere provocato con il metodo del caldo secco (*siccus calor*) dovuto al calore della sabbia, al forno asciutto e al *laconicum*, oppure con il metodo del bagno nell'acqua calda del *calidarium*.

3 I *tubuli* sono tubi in terracotta inseriti nel muro e fissati con morsetti di metallo e malta. Le *tegulae mammatae* sono grandi mattoni quadrati, con protrusioni ai quattro angoli, attaccati ai muri mediante morsetti o perni cilindrici in terracotta. Lo spazio creato tra i mattoni e il muro è in comunicazione con l'ipocausto. Vitruvio (VII, IV, 1-2).

4 Si tratta del sistema di riscaldamento delle terme Romane, abbastanza diffuso alla fine del I secolo d.C., quando è stato descritto da Vitruvio (V, X, 2-3). L'uso dei muri, oltre ai pavimenti, ha creato un sistema di riscaldamento più efficiente e un migliore uso dei gas dell'ipocausto. I più antichi esempi di ipocausto sono quelli dei Bagni Stabiani di Pompei (tardo II secolo a.C.) e i Bagni Greci di Olimpia (100 a.C.) (Yegul 1992).

romane, è molto difficile perché tali rocce non si rompono in modo regolare come il tufo, che, essendo facilmente lavorabile, è stato usato molto frequentemente per l'*opus reticulatum*. Un riferimento particolare merita il *laconicum* (4), che mostra due diversi tipi di paramento e alcune trasformazioni (Bastianelli 1961a/1985; Köhler 1999), e le dimensioni delle due piscine *calidarium* (8) e *frigidarium* (9) necessarie per definire il volume di acqua necessaria per il loro funzionamento. Nel *laconicum* (4) sono presenti tre anelli concentrici con una vasca rotonda al centro. Il paramento dell'*opus incertum* è composto da conci di calcare marnoso e siliceo cuneiformi o ovoidali in piccolo apparato organizzati in corsi omogenei con struttura embriciata, esattamente come Vitruvio descrive nel *De Architectura* (II, VIII, 1-2) la tecnica di costruzione dell'*opus incertum*, mentre nella parte superiore è presente l'*opus reticulatum* con conci squadriati (dimensioni medie 7 x 8 cm) degli stessi litotipi in file ondulate. Si può ritenere che inizialmente esistesse la vasca rotonda con accesso dal corridoio (6, Fig. 12) e che successivamente siano stati costruiti alcuni pilastri corti (*suspensurae*) per il sistema ipocausto, di cui si osservano alcuni resti (Köhler 1999) (Fig. 13). Il *calidarium*, lungo 10,18 m, largo 5,43 m e profondo 1,05<sup>[5]</sup> m, ha un volume di 58,04 m<sup>3</sup>, al quale si deve aggiungere il volume di 3,5 m<sup>3</sup> relativo alle dieci vaschette sui lati della vasca per un totale di 61,54 m<sup>3</sup>. Il *frigidarium* è lungo 6,58 m, largo 5,50 m, profondo 1,05 m, e ha un volume di 37,99 m<sup>3</sup>. La vasca del *tepidarium* è lunga 4,50 m, larga 3,98 m, profonda 1,05 m e ha un volume di 18,80 m<sup>3</sup>. Il secondo edificio, sviluppato su un'area di circa 16.221 m<sup>2</sup> è più grande e comprende 68 vani (16 - 66; Fig. 12), il cui paramento è rappresentato dall'*opus testaceum* e la malta è di colore bianco N 9 o grigio chiaro N 7, reagisce in situ con HCl diluito e comprende inerti calcarei. Anche in questo edificio sono evidenti i diversi lavori di restauro, consolidamento e ricostruzione di molte opere murarie (De Cesaris 2005), in particolare per le arcate in conseguenza del crollo di quelle originali, documentato in alcune foto dell'archivio della Soprintendenza Archeologica. Nella zona a contatto con il primo edificio sono presenti le seguenti strutture (Fig. 12): l'ingresso (17), il *tepidarium*, di cui è conservata una parte della volta a botte alta 7,679 m, comprende una piccola piscina (19), due *apodyterium* con sistema di riscaldamento ipocausto (21-22; Fig. 14), l'*heliocaminus* (camera speciale per il bagno di sole, con esposizione a sud o sudovest, che riceveva la luce solare tramite grandi finestre; 23a), il grande *calidarium* (24), che mostra una parte della volta a botte alta 11,570 m più il muro della copertura con spessore di 0,80 m (altezza complessiva 12,370 m), il *frigidarium* (28), i *praefurnium* (21, 22, 29, 40, 44)<sup>[6]</sup>,

5 La profondità è stata determinata considerando che l'acqua copriva un bagnante seduto fino alle spalle.

6 La fornace di un bagno Romano è composta da un arco in mattoni a diretto contatto con lo spazio vuoto sotto il pavimento del vano da riscaldare. Il termine *praefurnium* indica solo l'arco di alimentazione (*fornix*), oppure l'area con una o più fornaci per scaldare l'acqua destinata al *calidarium* e a produrre il vapore per l'ipocausto. Le fornaci non avevano grate di metallo, la loro temperatura non era molto elevata, il fuoco era acceso direttamente sul pavimento sotto l'arco, e il carburante era costituito da legno (Yegul 1992).



**Figura 14** - Parte del pavimento del sistema ipocausto dell'*apodyterium* (22 in figura 12) che mostra in (a) i tubuli con forma geometrica parallelepipedica rettangolare costituiti da laterizio e in (b) un particolare di questi ultimi.

**Figure 14** - Part of the floor of the hypocaust system of the *apodyterium* (22 in figure 12) which shows in (a) the tubuli with a rectangular shape made up of brick, and in (b) a detail of the latter.

la cisterna cilindrica per la raccolta dell'acqua piovana necessaria per il funzionamento delle TT (83). Seguono, in successione, la biblioteca con due latrine laterali (32), la sala di lettura (33), il *cryptoporticus* (utilizzato per passeggiare al coperto; 34), le camere per la sosta (35-38), l'*exedra* (39), un corridoio (45), le latrine (47 e 63 con alcune postazioni), gli *hospitalia* (9 camere per gli ospiti; 51-59), una grande sala di soggiorno (65), le sostruzioni (67-82) con arcate e pilastri a sostegno dello sbancamento della collina, costituita dal Membro di Poggio Vivo, eseguito mediante due tagli ortogonali.

Particolare attenzione meritano le seguenti strutture (Fig. 12): i *praefurnium* (21, 22, 29, 40, 44), in cui si osserva l'arco di alimentazione, il *calidarium* (24), lungo 19,64 m, largo 8,98 m e profondo 1,02 m, con un volume di 179,9 m<sup>3</sup>, il *frigidarium* (28), lungo 9,60 m, largo 5,50 m e profondo 1,05 m, con un volume di 55,44 m<sup>3</sup>, la piccola vasca del *tepidarium* lunga 4,60 m, larga 3,55 m e profonda 0,95 m con un volume di 15,5 m<sup>3</sup>, e il muro semicircolare restaurato (83) (Fig. 15) con spessore 0,76 m e diametro interno di 14,40 m, nella cui parte inferiore sono presenti due contrafforti con geometria cuneiforme lunghi 1,02 m, larghi 1,21 m e alti 0,58 m (Fig. 15). Uno di questi contrafforti contiene alla base due tubi (*fistulae*) di piombo a sinistra (Fig. 16 a) e a destra (Fig. 3 e 16 b), le cui sezioni hanno forma ellissoidale con dimensioni simili e saldatura rivolta in alto per facilitare eventuali riparazioni in caso di perdite. Nel



**Figura 15** - La struttura semicircolare restaurata (83 in figura 12) con i due contrafforti cuneiformi. La base del contrafforte a destra contiene i due tubi di piombo illustrati nella figura 16.

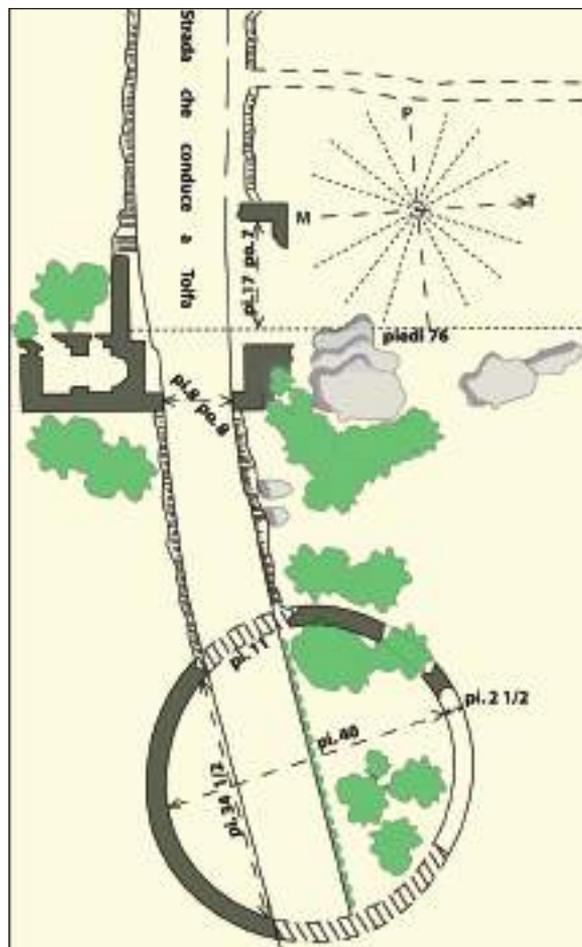
**Figure 15** - The restored semi-circular structure (83 in figure 12) with the two cuneiform buttresses. The base of the buttress on the right holds the two lead pipes shown in figure 16.



**Figura 16** - I tubi di piombo con sezione ellissoidale a sinistra (a) e a destra (b) della base del contrafforte.

**Figure 16** - The lead pipes with ellipsoidal section to the left (a) and to the right (b) of the base of the buttress.

tubo di sinistra il diametro maggiore interno è lungo 8,45 cm, quello minore è 5,56 cm e lo spessore della lamina di piombo è 0,804 cm. Nel tubo di destra il diametro maggiore interno è lungo 8,5 cm, quello minore è 5,54 cm e lo spessore della lamina di piombo è 0,806 cm. La struttura semicircolare corrisponde a quella circolare completa riportata nella mappa di Manzi (1869) (Fig. 17), in cui si osserva chiaramente che essa è stata



**Figura 17** - L'estratto della mappa delle TT di Manzi (1869) evidenzia il tracciato della vecchia strada provinciale, cioè la strada Civitavecchia-Tolfa, che interseca la struttura circolare della cisterna adibita alla raccolta dell'acqua piovana. Da Manzi (1869) modificato.

**Figure 17** - The map excerpt of the Taurine Baths from Manzi (1869) highlights the layout of the old provincial road, i.e., the Civitavecchia-Tolfa Road, that intersects the circular structure of the cistern used for the collection of rainfalls. From Manzi (1869) modified.

tagliata dal tracciato della strada Civitavecchia-Tolfa. Questa struttura circolare suggerisce che si tratta della base di una cisterna con forma cilindrica, ubicata ad una quota superiore di 1,50 m rispetto a quella dei due edifici delle TT, in cui esiste una rete di canalizzazione delle acque reflue, derivanti dalla manutenzione delle piscine del *calidarium*, *tepidarium*, e *frigidarium*, delle latrine e delle acque piovane.

Per la datazione del primo edificio si fa riferimento alle tecniche di costruzione per mezzo dell'*opus incertum* e dell'*opus reticulatum* in piccolo apparato. La prima tecnica è descritta da Lugli (1957), la cui opera, tuttora la più completa e precisa per lo studio archeologico e architettonico dell'epoca romana (Adamas 2011; Inglese e Paris 2020), conferma le idee di Blake

(1947) e distingue tre "maniere". Nel primo tipo le rocce con differente forma e volume sono messe in opera in maniera caotica con abbondante malta, quindi non sono in contatto, e la superficie esterna non è livellata. Nel secondo tipo si verifica un migliore livellamento della superficie esterna, minore quantità di malta, migliore qualità delle rocce, che, con forme poliedriche arrotondate, sono in contatto. Il terzo tipo è caratterizzato da una accurata scelta delle rocce, che giacciono secondo la loro litologia. La differenza cronologica tra questi tipi è considerata dall'Autore una modalità per distinguerli, perchè essa dipende dalla disponibilità del materiale lapideo, dal tipo di struttura che si deve costruire e dalla abilità degli operai. Tali "maniere" sono riferite a tre periodi: (1) tra la fine del terzo secolo e 100 a.C. per la prima e la seconda "maniera"; (2) dal 100 a.C. al 55 a.C. per la seconda e la terza "maniera"; (3) dal 55 a.C. al tardo impero (pseudo - incerto; misto con mattoni). Successivamente Adams (2011), seguendo le idee di Blake (1947) e Lugli (1957), ritiene che: (1) il passaggio della tecnica in piccolo apparato dell'*opus incertum* all'*opus quasi reticulatum* e all'*opus reticulatum* avviene nell'ultimo quarto del II secolo a.C., (2) l'*opus incertum* raggiunge il massimo sviluppo tra il II e il I secolo a.C., e (3) è una forma particolare di *opus caementicium* tale da diventare un paramento funzionale e gradevole di un muro in calcestruzzo. Questo tipo di muratura è stata utilizzata in moltissime strutture edilizie (Lugli 1957; Adam, 2011) e in alcuni ponti dell'Italia centrale (Lazio e Marche; Galliazzo 1995), Italia meridionale (Campania; Chiocchini et al. 2021), e della Francia (Pontaujard, Montbrison-sur-Lez Villeperdrix and Pont-de-Barret, Drôme sur le Roubion; Barrool et al. Eds. 2011).

Per la tecnica dell'*opus reticulatum* Lugli (1957) distingue due "maniere": *opus quasi reticulatum* (100 - 55 a.C.) e *opus reticulatum* a parete piena (55 a.C. - 69 d.C.). Pertanto, tenendo presente che il passaggio dall'*opus incertum* all'*opus quasi reticulatum* e all'*opus reticulatum* avviene nell'ultimo quarto del II secolo a.C. (Lugli 1957; Adam 2011), la datazione della costruzione del primo edificio può essere attribuita al periodo compreso tra la parte terminale del II secolo e quella del I secolo a.C. (tarda età repubblicana). Bastianelli (1961a/1985) specifica questa datazione come "l'età sillana (circa 80 a.C.)", ripresa anche da Heinz (1986) e Yegul (1992), mentre secondo Broise e Jolivet (1991) la datazione sarebbe il secondo quarto del I secolo a.C., e secondo Köhler (1999) e Chellini (2002) tra gli ultimi anni della Repubblica ed i primi dell'Impero. Inoltre, nel primo edificio sono presenti interventi di restauro e trasformazione eseguiti durante il lungo periodo di circa due secoli tra la sua costruzione e quella del secondo edificio.

Per la datazione del periodo di costruzione del secondo edificio si deve tenere presente innanzitutto che la nuova maniera di rivestire le pareti con materiale laterizio (*opus testaceum*) cotto in fornace e ben stagionato comincia con Augusto e si afferma con l'imperatore Tiberio (Lugli 1954). Inoltre, Bastianelli (1962) ha utilizzato i bolli di 146 mattoni, specificando che le indicazioni più frequenti nei bolli sono: EX PR (AEDIS) seguito dal nome del proprietario del terreno dal quale era estratta l'argilla; EX FIG (LINIS) con il nome del proprietario della fabbrica (*figlina*); OP (US) DOL (IARE) oppure O.D. con il nome del servo addetto alla confezione dei mattoni; le date consolari e il nome dei consoli abbreviato seguito da CO (N)

S (*ILIBUS*). L'Autore evidenzia che i bolli sono rari fino al regno degli imperatori Flavi (Vespasiano, 69 - 79 d.C.; Tito 79 - 81 d.C.; Domiziano, 82 - 96 d.C.). Dei 146 bolli esaminati, 2 risalgono al 59 d.C. del regno dell'imperatore Nerone (57 - 68 d.C.), 24 bolli del regno dell'imperatore Traiano (98 - 117 d.C.) sono attribuiti ai lavori sopra ricordati di restauro e trasformazione nel primo edificio, mentre i 116 bolli provenienti dal secondo edificio comprendono il periodo di 13 anni tra il 123 e il 136 d.C. del regno dell'imperatore Adriano (117 - 138 d.C.). Pertanto, la costruzione del secondo edificio risale al regno dell'imperatore Adriano.

I molti interventi di restauro, consolidamento e ricostruzione hanno avuto effetti positivi sulla statica delle strutture architettoniche sopravvissute alle devastazioni passate e ai danni ambientali recenti. Attualmente sono particolarmente rilevanti le due fessure verticali beanti nella muratura orientale del *calidarium* del secondo edificio (vano 24; Fig. 12) e sull'arco del vano 7 (Fig. 12) del primo edificio.

#### Modalità di funzionamento delle TT

##### L'approvvigionamento e l'immagazzinamento dell'acqua

Secondo Bastianelli (1943), seguito da Heinz (1986), Köhler (1998), e Chellini (2002), l'acqua necessaria alle TT derivava da piccole sorgenti nelle colline ad est del TT ed era raccolta, nei pressi di Casale dell'Argento (oggi Casale Bottega; Fig. 18), in una ampia "conserva", il cui ritrovamento è stato confermato da Brunori (1990), costituita da quattro gallerie intercomunicanti ciascuna lunga 18 m, larga 4 m e di altezza imprecisata a causa dell'interramento. Da questa "conserva" l'acqua fluiva in un acquedotto comprendente un cunicolo, prima sotterraneo, poi appoggiato su un muro di sostegno, di cui un tratto lungo 70 m correva lungo la vecchia strada provinciale per Allumiere e Tolfa, come illustrato nella mappa di Figura 18. Infine, l'acqua era raccolta nel *castellum aquae* e distribuita nelle varie parti delle TT mediante *fistulae plumbeae*. Questa ipotesi non è attendibile per i motivi appresso specificati.

- Bastianelli (1942) definisce le sorgenti come "piccole" e non specifica il loro numero, l'ubicazione precisa e la portata complessiva. Al riguardo è necessario tenere presente che nei Monti della Tolfa le sorgenti alimentate localmente dai piccoli corpi idrici sospesi del Complesso del Flysch e della Pietraforte sono molto poche, con portate inferiori a 1 L/s e regime temporaneo. Pertanto, queste "piccole" sorgenti, che sono attualmente estinte, non potevano essere utilizzate per il funzionamento delle TT.
- Le curve di livello della mappa di Bastianelli (1942) (Fig. 18) non corrispondono alla reale topografia della zona e la quota 141 m s.l.m. di Casale dell'Argento è errata perché è 250 m s.l.m. Inoltre, la "conserva" è ubicata a quota 211 s.l.m. sul margine destro di un impluvio che non esiste.
- L'Autore non fornisce la descrizione della struttura dell'acquedotto e la sua datazione.
- Non si osserva alcun rudere dell'acquedotto lungo tutto il tracciato riportato nella mappa della Figura 18. Questa mancanza è inspiegabile: infatti nel segmento superiore lungo il versante non sono visibili resti di manufatti antichi, e nel segmento inferiore, dove i numerosi resti dei due edifici delle TT sono sopravvissuti alle devastazioni dei Saraceni nel 833 d.C. e successivamente sono

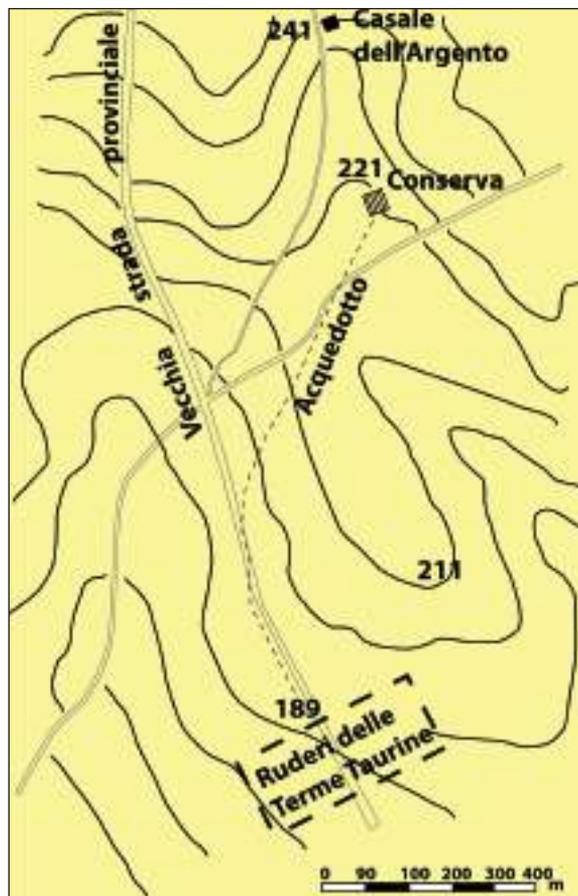


Figura 18 - La mappa di Bastianelli (1943) mostra l'acquedotto che portava l'acqua alle TT. Da Bastianelli (1943) modificato.

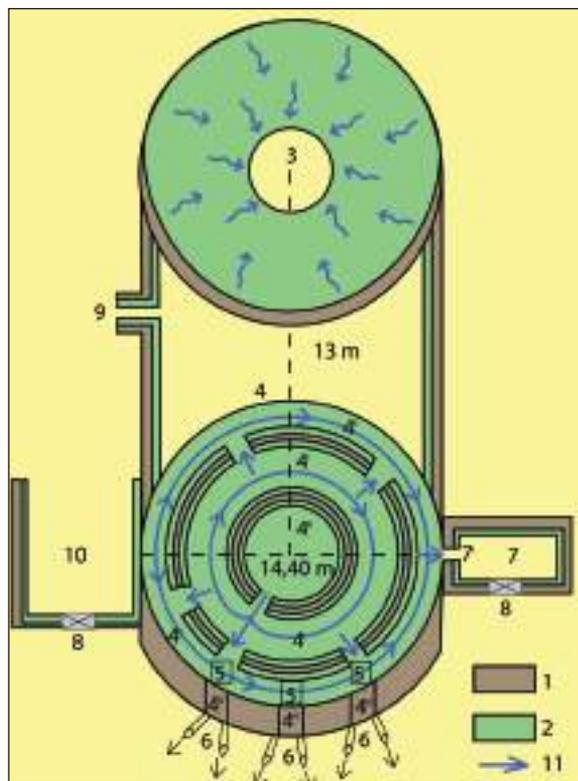
Figure 18 - The Bastianelli's (1943) map shows the aqueduct that brought water to the Taurine Baths. From Bastianelli (1943) modified.

stati oggetto di interventi di consolidamento, restauro e ricostruzione, non vi è traccia dell'acquedotto.

- L'Autore non descrive in quale parte del *castellum aquae* si inseriva l'acquedotto. Pertanto, pur volendo ammettere l'esistenza di un acquedotto, privo di resti, che raccoglieva le acque di "piccole" sorgenti temporanee attualmente estinte, non è possibile dimostrare in alcun modo che questo acquedotto fosse a servizio delle TT.
- Il serbatoio per la raccolta di acqua non può essere attribuito ad un *castellum aquae* perché questa struttura idraulica, descritta da Vitruvio (VIII, VI, 7), era utilizzata negli acquedotti come serbatoio di accumulo per la ripartizione a tre tipi di utenze. Questo argomento è illustrato da Frontino nel capitolo 79 del suo libro *De Aquaeductu urbis Romae*, che scrisse dopo aver assunto nel 97 d.C. la importantissima carica per il controllo dell'approvvigionamento idrico e per la gestione degli acquedotti di Roma (*curator aquarum*). Le tre utenze sono le seguenti: (1) i bagni pubblici a nome dell'imperatore con 824,5 l/s;

(2) l'uso pubblico, come zone ufficiali e militari, teatri, fontane e bagni con 1858,1 l/s; (3) i privati, le case e le industrie con 2125,7 l/s. Roma aveva 247 *castella*. Questi dati sono ripresi da Yegul (1992), Pace (2010), e Lombardi et al. (2016).

Inoltre, si deve escludere che i due edifici delle TT potessero essere riforniti dall'acquedotto che l'imperatore Traiano aveva fatto costruire per fornire l'acqua al porto di *Centumcellae*, perchè il suo tracciato, sviluppato alla quota di 75 m s.l.m. circa 1,7 km a NO delle TT sul versante sinistro del Fosso Fiumarella, è 113 m più basso rispetto alla quota di 188 m s.l.m. delle TT. Pertanto, il rifornimento di acqua del primo edificio di età tardo repubblicana è stato risolto dagli ingegneri romani per mezzo di una cisterna cilindrica per la raccolta di acqua piovana. Questa antica tecnologia era utilizzata per l'acqua potabile di molte città antiche, in particolare quando mancavano gli acquedotti prima della fine del sesto secolo a.C. (Tolle-Kanstenbein 1993), e nelle isole vulcaniche prive di sorgenti, come Santorini, in Grecia, Ventotene in Italia, e Delo e Naxos delle Isole Cicladi in Grecia, che avevano molte cisterne. Inoltre, circa il rifornimento di acqua per le terme, Vitruvio (VIII, VI, 14) specifica che la soluzione più comune è costituita, oltre ai serbatoi di acqua piovana sui tetti degli edifici a servizio dei bollitori e delle piscine, dalle cisterne situate fuori delle terme, talvolta composte da alcune camere. Infatti, le cisterne sono state utilizzate nei grandi complessi termali, come per i Bagni Stabiani di Pompei, i Bagni di Nettuno e i Bagni dei Nuotatori di Ostia, per i Bagni di Licinio di Dougga in Tunisia, per la piccola città *Castellum Tidditanorum* (città di Tiddis) in Algeria con tre cisterne e per i Bagni dei Legionari della fortezza di Lambaesis con una cisterna lunga 50 m in Algeria (Yegul 1992). Il volume interno della cisterna a servizio delle TT è stato definito in funzione del volume di acqua necessario per riempire le piscine del *calidarium* (61,5 m<sup>3</sup>), del *frigidarium* (38 m<sup>3</sup>) e del *tepidarium* (18,8 m<sup>3</sup>), in totale 118,3 m<sup>3</sup> di acqua. La costruzione del secondo edificio delle TT con due ulteriori piscine per il *calidarium* (179,9 m<sup>3</sup>), il *frigidarium* (55,4 m<sup>3</sup>), e la piccola vasca del *tepidarium* imperiale (15,5 m<sup>3</sup>), in totale 250,8 m<sup>3</sup> di acqua, ha necessariamente richiesto di aumentare il precedente volume interno della cisterna cilindrica, la cui forma e struttura sono uguali a quelle della cisterna, costruita nel II - III secolo d.C. con l'identico diametro della base di 14 m, a servizio di un *fundus* nel suburbio sudorientale di Roma (Chiocchini 2019). Di conseguenza, la cisterna cilindrica delle TT comprendeva i seguenti elementi strutturali e idraulici, come illustrato dai numeri 1 - 11 della Figura 19: i muri in calcestruzzo (*opus caementicium*) (1) con spessore 0,76 m per contrastare la pressione interna dovuta al carico idraulico dell'acqua, ed impermeabilizzati con malta idraulica (*opus signinum*) (2); la copertura, con il foro al centro (3), la cui superficie superiore è impermeabilizzata con malta idraulica e leggermente inclinata verso il foro allo scopo di agevolare la raccolta e il deflusso delle precipitazioni; la base (4) con il corridoio interno (4<sup>i</sup>), il corridoio esterno (4<sup>ii</sup>), il compartimento centrale (4<sup>iii</sup>), ed i contrafforti (4<sup>iv</sup>) per rinforzarla; le cassette di distribuzione (5) e i tubi di piombo (*fistulae*) (6) per il trasporto dell'acqua verso le varie strutture delle TT; il vestibolo di accesso (7) con l'arco (7<sup>i</sup>) e la saracinesca (8) per lo scarico dell'acqua durante i necessari lavori di manutenzione; lo sfioratore (9) per il



**Figura 19** - Ricostruzione schematica della cisterna per la raccolta dell'acqua piovana. 1, muri in calcestruzzo (*opus caementicium*); 2, malta idraulica (*opus signinum*); 3, copertura con il foro; 4, base con il corridoio interno (4<sup>i</sup>), corridoio esterno (4<sup>ii</sup>), compartimento centrale (4<sup>iii</sup>), contrafforti (4<sup>iv</sup>), cassette di distribuzione (5) e tubi di piombo (*fistulae*) (6); 7, vestibolo di accesso con l'arco (7<sup>i</sup>); (8) saracinesca; 9, sfioratore per il deflusso dell'acqua verso l'esterno; (10) serbatoio di raccolta di questa acqua; 11, circolazione dell'acqua.

**Figure 19** - Schematic reconstruction of the cistern for the collection of rainfalls. 1, concrete walls (*opus caementicium*); 2, hydraulic mortar (*opus signinum*); 3, cover with the hole; 4, base with the inner corridor (4<sup>i</sup>), outer corridor (4<sup>ii</sup>), central compartment (4<sup>iii</sup>), buttresses (4<sup>iv</sup>), distribution boxes (5), and lead pipes (*fistulae*) (6); 7, access vestibule with the arch (7<sup>i</sup>); (8) sluice gate; (9) opening in the upper part of the cistern for the downflow of water to the outside; (10) tank for collecting this water; 11, circulation of the water.

deflusso dell'acqua in eccesso verso l'esterno; (10) il serbatoio di raccolta di questa acqua. La forma circolare della cisterna agevolava il lento deflusso dell'acqua (11) dal compartimento centrale (4<sup>iii</sup>) verso i due corridoi concentrici (4<sup>i</sup>) e (4<sup>ii</sup>) e il vestibolo di accesso (7) che aveva la funzione di trattenere l'acqua mediante la chiusura della saracinesca (8), consentendo la deposizione delle particelle in sospensione, come la *piscina limaria* negli acquedotti. La posizione della base della cisterna a quota superiore di 1,5 m rispetto a quella dei due edifici garantiva il regolare deflusso dell'acqua verso di essi. Per valutare l'altezza della cisterna è necessario considerare i seguenti elementi: (1) il volume totale di acqua necessario per

le piscine dei due edifici (369 m<sup>3</sup>) e per il ricambio periodico dovuto a motivi igienici e alla manutenzione; (2) l'altezza massima dei due edifici registrata nel *calidarium* di età imperiale (12,370 m) come limite massimo approssimativo. Pertanto, essendo noto il diametro interno della copertura e della base (14,40 m) della cisterna ed ipotizzando un'altezza di 13 m, il volume interno della cisterna è:

$$7,20 \times 7,20 \times 3,14 = 162,77 \times 13 = 2116 \text{ m}^3$$

valore che, al netto del volume dei muri che separano i due corridoi concentrici, stimato in 309 m<sup>3</sup>, diventa 1807 m<sup>3</sup>. Questo volume non poteva essere utilizzato interamente, perché l'acqua accumulata nella cisterna non doveva arrivare a contatto con la copertura. Pertanto, uno sfioratore collocato a circa 1 m dalla copertura consentiva che la colonna di acqua poteva avere uno spessore massimo teorico di 12 m, che in pratica non poteva essere raggiunta a causa del suo continuo consumo per le attività delle TT, facendo defluire l'acqua in eccesso automaticamente all'esterno in un serbatoio esterno, utilizzabile per la pulizia delle terme. Sottraendo il volume della cisterna tra la copertura e lo sfioratore (163 m<sup>3</sup>), il volume interno utile per il rifornimento di acqua è di 1644 m<sup>3</sup>.

#### La portata e la pressione limite dei tubi

La dimensione delle sezioni dei due tubi di piombo alla base della cisterna fornisce utili indicazioni sulla loro funzionalità, con particolare riferimento alla portata e alla pressione limite di rottura in relazione alla colonna d'acqua nella cisterna. A tale scopo si deve tenere presente che i tubi erano prodotti piegando le lamine di piombo intorno ad un'asta di legno con forma cilindrica. Queste lamine erano preparate spandendo su una lastra di marmo liscia una quantità di piombo corrispondente al peso del tubo, in modo da ottenere una lamina rettangolare con spessore costante, la cui larghezza era adeguata al tubo da produrre. I bordi della lamina erano sovrapposti e saldati con stagno o con una lega di piombo e stagno per tutta la lunghezza del tubo, oppure mediante battitura dei bordi sovrapposti. Durante le operazioni di posa in opera del tubo la fascia della saldatura era posizionata in alto allo scopo di facilitare eventuali interventi di riparazione in caso di perdite di acqua (Pace 2010). Inoltre, le sezioni dei tubi erano considerate circolari, perché il calice (*calix*)<sup>7)</sup> era circolare, anche se in realtà erano ellissoidali o con la forma di "olivella", come la definiva Lanciani (1881). Jacono (1934) ha superato questa incongruenza proponendo che il diametro "d" della sezione circolare, messa a confronto con la sezione reale ellissoidale, è rappresentato con la seguente formula:

$$d = \frac{\left(L - \frac{3}{4}s\right) + t}{2} \quad (1)$$

in cui "L" è il diametro longitudinale passante per la cuspidi, "t" è il diametro trasversale perpendicolare a "L" (Fig. 20), "s"

7 Il calice, che serviva per inserire le tubazioni del prelievo di acqua nel *castellum aquae*, era un tubo di bronzo con forma circa tronco conica, lunghezza minima di 22 cm e con un tratto caratterizzato da diametro interno uniforme che doveva rimanere costante ed uguale per 50 piedi (14,82 m) nel tubo di piombo applicato al calice (Pace 2010). 1 piede (pes) = 29,64 cm.

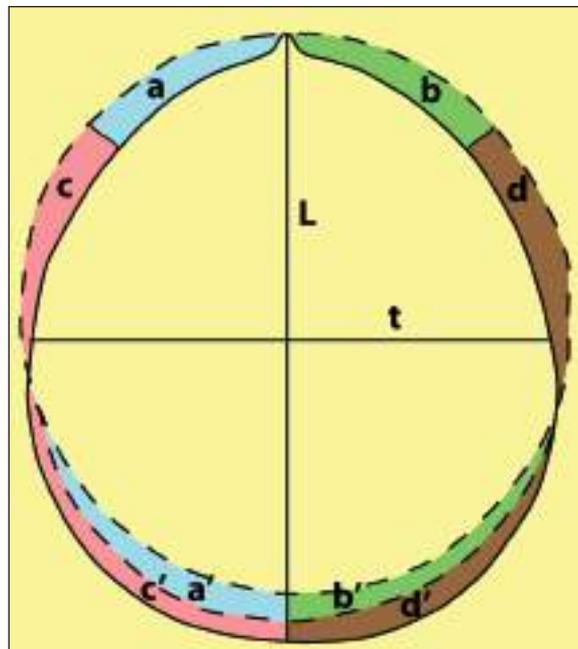


Figura 20 - Confronto tra la sezione reale di un tubo di piombo (linea continua) e la sezione circolare (linea tratteggiata). Le aree a - a', b - b', c - c', d - d' sono uguali a meno di infinitesimi. Da Jacono (1934) modificato.

Figure 20 - Comparison between the real section of a lead pipe (solid line) and the circular section (dashed line). The areas a - a', b - b', c - c', d - d' are equal to less than infinitesimals. From Jacono (1934) modified.

è lo spessore della lamina di piombo, i cui  $\frac{3}{4}$  rappresentano la cuspidi della sezione reale del tubo dovuta al piombo della saldatura. La formula esprime la media aritmetica del diametro longitudinale "L" passante per la cuspidi e del diametro trasversale "t". Nella Figura 20 si nota che l'area della sezione circolare con il diametro calcolato mediante la formula (1) e l'area della sezione reale ellissoidale sono uguali a meno di infinitesimi. È altresì opportuno evidenziare che la lunghezza dei tubi di piombo era in genere di 10 piedi (2,96 m), come suggerito da Vitruvio (VIII, 6, 4).

Per quanto riguarda le dimensioni dei tubi (spessore della lamina di piombo e diametro interno), si osserva che esiste una notevole differenza tra Vitruvio e Frontino. Infatti, secondo Vitruvio (VIII, VI, 4) e Plinio (*Naturalis Historia*, XXXI, 33) la suddivisione dei tubi in base alle misure<sup>8)</sup> è determinata dalla larghezza della lamina di piombo prima di essere piegata in tondo; di conseguenza, se il diametro interno dei tubi è misurato con questo sistema, lo spessore risulta di 6 mm per tutti i tubi (Pace 2010). Frontino, invece, fa riferimento all'unità di misura di base o modulo<sup>9)</sup> (*modulus*) denominata *quinaria*

8 In dita. 1 dito (*digitum*) = 1,85 cm.

9 I moduli, da quello più piccolo, sono i seguenti: *Quinaria*, *Senaria*, *Octonaria*, *Denaria*, *Duodenaria*, *Quinum denum*, *Vicenaria*, *Tricenaria*,

(capitolo 26 del testo: *quinariae modulus et certus et maxime receptus est*) di origine incerta, il cui nome deriva dal diametro della sezione di un tubo di cinque quadranti, cioè 5/4 di dito (5/4 x 1,85 = 2,3125 cm). Pertanto, utilizzando questo sistema di misura si individuano 16 moduli con i relativi diametri interni dei tubi (per la *quinaria* 0,8188 cm; Pace 2010), che assumono valori molto differenti in base alle indicazioni dei due autori. Pace (2010), riprendendo il parere di Di Fenizio (1916) circa le conclusioni errate di alcuni tecnici che hanno seguito le indicazioni di Vitruvio, per definire il diametro interno dei tubi ribadisce la necessità di usare il metodo di Frontino, secondo cui i moduli applicati ai muri dei *castellum aquae* mediante il calice devono essere disposti a livello preciso (*ad libram*) e sulla medesima linea orizzontale (*ad lineam*). Da questa configurazione consegue che la minima altezza di carico idraulico deve corrispondere al raggio del modulo più grande (*Centenum vicenum*), e, secondo Di Fenizio (1916), il valore minimo ammissibile per l'altezza di carico idraulico risulta di 0,115 m, al quale corrisponde per la *quinaria* il valore minimo ammissibile di 0,47 l/s in 24 ore. Secondo Pace (2010) si devono aggiungere 5 mm affinché tutti i moduli assorbano tutta l'acqua di loro competenza, di modo che l'altezza di carico idraulico diventa 0,12 m e la *quinaria* assume il valore di 41,5 m<sup>3</sup> in 24 ore, ovvero 0,480 l/s.

In base a quanto sopra illustrato, è possibile ora calcolare il diametro interno della sezione circolare ragguagliata dei due tubi di piombo della cisterna mediante la formula (1). Per il tubo di sinistra si ha:

$$d_s = \frac{84,5 - 6,03 + 55,6}{2} = 67,035 \text{ mm} = 6,7 \text{ cm}$$

e per il tubo di destra:

$$d_d = \frac{85 - 6,045 + 55,4}{2} = 67,277 \text{ mm} = 6,7 \text{ cm}$$

Utilizzando le dimensioni e le portate dei venticinque moduli di Frontino, questi valori sono molto prossimi al modulo *Quinum denum* (3,75 dita = 6,93 cm) cui corrispondono i seguenti dati (Pace 2010): (1) il peso di 180 libbre<sup>[10]</sup> (58,626 kg) per una lunghezza modulare di 10 piedi<sup>[11]</sup> (2,964 m) (Vitruvio VIII, 6, 4); (2) 9 *quinariae* con portata  $Q_{Qd} = 4,32$  l/s; (3) pressione limite di rottura pari a 29,11 kg/cm<sup>2</sup> calcolata con il diametro di Frontino (capitoli 39-63). Pertanto, poiché il diametro dei due tubi di piombo (6,7 cm) è inferiore di 0,23 cm rispetto a quello del *Quinum denum* (6,93 cm), la loro portata ( $Q_s$  e  $Q_d$ ) risulta più bassa solo del 0,0034% rispetto alla portata di 9 *quinariae* ( $Q_{Qd} = 4,32$  l/sec), valore che può essere assunto per i due tubi. Inoltre, è possibile determinare la pressione massima che i due tubi di piombo potevano sopportare, utilizzando la relazione che esprime la pressione massima in metri di altezza di una colonna d'acqua:

$$H = 2 \times \sigma_0 \times S / 10^3 \times D \quad (2)$$

*Quadragenaria, Quinquagenaria, Sexagenaria, Septuagenaria, Octogenaria, Nonagenaria, Centenaria, Centenum vicenum.*

10 1 libbra = 325,7 grammi.

11 Per il valore di 1 piede vedere nota 7.

in cui  $\sigma_0 = 1,25 \times 10^6$  kg/m<sup>2</sup> è il carico di rottura del piombo fuso (Pace 2010), S è lo spessore del tubo in metri, e D è il diametro interno del tubo in metri.

Per il tubo di sinistra, con  $S = 0,804 \times 10^{-2}$  m e  $D = 6,7 \times 10^{-2}$  m, si ottiene:

$H_s = 2 \times 1,25 \times 10^6 \times 0,804 \times 10^{-2} / 10^3 \times 0,0670 = 300 \text{ m} = 30 \text{ kg/cm}^2$ ; per il tubo di destra, con  $S = 0,806 \times 10^{-2}$  m e  $D = 6,7 \times 10^{-2}$  m, si ottiene:

$H_d = 2 \times 1,25 \times 10^6 \times 0,806 \times 10^{-2} / 10^3 \times 0,0670 = 300,7 \text{ m} = 30,7 \text{ kg/cm}^2$ .

Pertanto, i dati sopra illustrati indicano quanto appresso riportato. (1) La portata dei due tubi, dedotta dal loro diametro interno di 6,7 cm, è  $Q_s = Q_d = 4,32$  l/s. (2) La pressione massima sopportabile dei due tubi è di 300 m di colonna d'acqua pari a 30 kg/cm<sup>2</sup>. Questo valore, molto superiore alla pressione esercitata da una colonna d'acqua con altezza teorica massima di 12 m nella cisterna, indica che i due tubi potevano erogare l'acqua in sicurezza. Inoltre, il dislivello di 1,5 m tra il piano campagna della cisterna e quello delle TT consentiva il deflusso dell'acqua, che era regolato alla base della cisterna da cassette di distribuzione e valvole di bronzo; queste ultime erano inserite anche nella parte terminale delle tubazioni che alimentavano i due *calidarium*, i due *frigidarium*, e la piccola vasca del *tepidarium* imperiale. A tale scopo sei tubi di piombo, con una portata di 4,32 l/sec (0,00432 m<sup>3</sup>/s) ciascuno, potevano erogare  $4,32 \times 6 = 25,9$  l/s (0,0259 m<sup>3</sup>/s). La necessità del ricambio periodico dell'acqua, sia per motivi igienici sia per la manutenzione, suggerisce che probabilmente le 5 piscine e la vasca piccola non erano utilizzate contemporaneamente in età imperiale.

### Il riscaldamento dell'acqua

Vitruvio (V, X, 1) descrive le raccomandazioni per il rifornimento di acqua dei bagni caldi e delle relative piscine: "Sopra il *prae-furnium* si collocano tre bollitori: uno per l'acqua calda, uno per quella tiepida, uno per quella fredda, disposti in modo che, per ogni quantità di acqua che passa dal *tepidarium* al *calidarium*, altrettanta ne viene immessa dall'acqua fredda e da quella tiepida. Una fornace in comune deve riscaldare le piccole camere che contengono le *testudines alveolorum*". Questi sono recipienti metallici semicilindrici aperti da un lato e chiusi dall'altro, costruiti per riscaldare l'acqua e mantenerla calda nelle piscine. Pertanto, sono operativi due distinti sistemi di acqua calda alimentati da un'unica fornace: uno composto dalla combinazione di tre serbatoi che forniscono acqua calda e tiepida per le fontane e le piscine; l'altro con le *testudines alveolorum* che servono per agevolare il riscaldamento dell'acqua nelle piscine e mantenerle calde. Due esempi del primo sistema sono la coppia stufa-bollitore ben conservata nella Villa Rustica di Boscoreale e la stazione di riscaldamento per il bagno pubblico con ipocausto e posti separati per gli uomini e le donne nei Bagni Stabiani di Pompei del II secolo a.C. (Yegul 1992). È ragionevole ritenere che i due sistemi di acqua calda alimentati da un'unica fornace fossero attivi anche nelle TT.

Circa l'entità del calore dei bagni romani, non esistono elementi per conoscere le loro temperature, a parte qualche considerazione qualitativa come quella di Seneca (*Litterae*, LXXXVI, 10) che si lamenta perché "oggi non esiste differenza

tra un bagno infuocato e un bagno che è caldo". È peraltro evidente che il calore in alcuni bagni o in alcune loro parti poteva essere maggiore di quello richiesto dal buon senso per l'uso del calore e lo stesso Seneca (*Litterae*, LXXXVI, 10) evidenzia che non esiste alcuno standard per l'entità del calore.

Il combustibile per produrre l'acqua e l'aria calda era costituito dalla legna, che non doveva produrre troppo fumo. A tale scopo era sconsigliato l'uso dell'ulivo i cui fumi grassi sporcavano gli ipocausti e rovinavano le decorazioni degli ambienti. Per accendere il fuoco si usava la pece e la paglia (Pasquinucci 1987). Il gestore delle terme (*conductor balnei*) doveva rifornirsi di legna sufficiente con un certo numero di giorni di anticipo e non poteva rivenderla in base alla *Lex metalli Vipascensis* della città di Vipasca (*Lusitania*, attuale Portogallo).

#### **L'uso della sorgente di acqua termale**

Bastianelli (1943; 1961a/1985) sostiene che la sorgente di acqua termale era ubicata presso la nicchia del *calidarium* di tarda età repubblicana e che, "per varie ragioni", non si poteva usare per il funzionamento delle TT, mentre secondo Heinz (1986) l'acqua termale alimentava il *calidarium*. Al riguardo si osserva che la portata della sorgente, prima della sua estinzione dovuta alla perforazione dei 5 pozzi per la costruzione del nuovo impianto termale di Civitavecchia, erogava tra 0,5 e 1,33 L/s, e che verosimilmente questa portata avrebbe potuto essere di poco superiore quando furono costruiti i due edifici delle TT. Tuttavia, l'acqua termale non poteva essere utilizzata nei tubi di piombo, perché essa, essendo ricca di ioni calcio e idrogeno carbonato, deposita molto velocemente il carbonato di calcio, provocando la graduale occlusione dei tubi. Pertanto, si deve escludere che il *calidarium* di età repubblicana ed imperiale fossero alimentati dall'acqua termale della sorgente, utilizzata solo a scopi curativi, richiamati da Vitruvio (VIII, III, 4), che dedica l'Ottavo Libro alle proprietà dell'acqua nel mondo antico<sup>12</sup>, ed evidenziati anche da Yegul (1992), Fagan (2001), Guerin-Beauvois (2003) e Rogers (2018).

#### **Il personale**

Infine, ma non da ultimo, si deve tenere presente che uno stabilimento per i bagni come quello delle TT, necessitava di molto personale di servizio. Un primo gruppo era destinato sia a trasportare ed immagazzinare il combustibile costituito da legno, sia a rendere operativi e tenere in ordine i recipienti per riscaldare l'acqua. Un secondo gruppo era incaricato di pulire e lucidare gli attrezzi e i dispositivi metallici e a tenerli liberi da ruggine e corrosione. Un terzo gruppo era addetto alle pulizie delle stanze e delle piscine e a lucidare i marmi. Un quarto gruppo, composto da tecnici esperti (*fornacator*), doveva

curare la gestione del riscaldamento dell'acqua mediante le fornaci e la manutenzione di tutto il sistema idraulico. Inoltre, il personale comprendeva un responsabile della conduzione giornaliera (*conductor balnei*), un sorvegliante dell'operatività quotidiana (*balneator*) e un addetto al guardaroba (*capsarius*).

#### **Discussione**

L'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico dell'area delle TT, i dati dell'archivio fotografico della Soprintendenza Archeologica, il riesame delle strutture architettoniche dei due edifici, e la definizione delle modalità di funzionamento delle TT suggeriscono di focalizzare l'attenzione sugli argomenti di seguito riportati.

#### **Idoneità del sito per la costruzione delle Terme Taurine**

Ai fini della progettazione e realizzazione delle TT, la scelta del sito risulta idonea sia a causa delle condizioni geologiche e geomorfologiche molto favorevoli, sia per la disponibilità immediata del materiale lapideo (calcarei marnosi e silicei, travertino, argilla, sabbia) necessario per produrre il calcestruzzo, la malta, i laterizi,<sup>13</sup> ed i paramenti. Purtroppo, alla bellezza architettonica delle TT perfettamente inquadrata nell'ambiente dell'amenissimo sito collinare in cui sono state costruite dai Romani, si contrappone la loro pesantissima compromissione, prima ad opera dei barbari, successivamente a causa della costruzione sia della strada Civitavecchia-Tolfa nel 1820, il cui tracciato ha intercettato la parte mediana del sito (in particolare la cisterna), sia del nuovo impianto termale di Civitavecchia circa 450 m a NO delle TT, il cui edificio non è stato completato ed è abbandonato. Infatti, i cinque pozzi perforati per la captazione di acqua termale nel sottosuolo hanno causato l'estinzione delle sorgenti termali storiche delle TT e della Ficoncella, producendo un danno ambientale irreversibile.

#### **Riesame delle strutture architettoniche dei due edifici e loro datazione**

Le osservazioni qualitative eseguite sulle murature e le piscine dei due edifici indicano che gli elementi architettonici sono quelli riconosciuti da Bastianelli (1961a/1985), successivamente confermati da Heinz (1986) e Köhler (1998; 1999), tranne la struttura idraulica necessaria al rifornimento dell'acqua. L'uso dei paramenti in *opus incertum* e *opus reticulatum* ha consentito di datare il primo edificio al periodo tra la fine del II secolo e quella del I secolo a.C., cioè la tarda età repubblicana specificata come "l'età Sillana (circa 80 a.C.)" da Bastianelli (1961a/1985), ovvero tra gli ultimi anni della Repubblica e i primi dell'Impero, mentre la costruzione del secondo edificio in *opus testaceum* è avvenuta durante il regno dell'imperatore Adriano in base ai bolli dei laterizi esaminati da Bastianelli (1961a/1985). Sarebbe molto utile riconoscere le strutture architettoniche originali, quelle restaurate, consolidate e

12 "Tutte le sorgenti calde hanno proprietà medicinali perché la loro acqua si scompone, si depura e acquista nuove proprietà con diverse possibilità di impiego mediante i processi di riscaldamento. Infatti, le sorgenti solfuree curano le malattie nervose perché riscaldano e bruciano gli umori dannosi e li eliminano dal corpo. Quelle alluminose, invece, quando il corpo è colpito da paralisi o da qualche altra malattia che rende invalide le membra, hanno la funzione di rivitalizzare la parte malata penetrando con il loro benefico calore attraverso i pori aperti e a poco a poco le restituiscono la salute".

13 Circa 6 km a nord di Civitavecchia i sedimenti argillosi del Pliocene inferiore sono stati utilizzati nei secoli passati per la produzione di laterizi.

ricostruite, utilizzando le tecniche digitali per il rilievo, la modellazione tridimensionale e la relativa rappresentazione con il metodo fotogrammetrico per i Beni Culturali (Girelli 2007; Gencer e Turan 2017).

### Funzionamento delle Terme Taurine

A causa della mancanza di sorgenti perenni, sono state utilizzate le piogge raccolte dentro una cisterna cilindrica con volume interno utile di 1644 m<sup>3</sup> per fornire l'acqua necessaria al funzionamento delle TT. Questa quantità di acqua, il volume totale di quella delle sei piscine (369 m<sup>3</sup>), e la necessità di ricambiare periodicamente l'acqua, sia per motivi igienici sia per la manutenzione, suggeriscono che in età imperiale le sei piscine non erano utilizzate contemporaneamente. Inoltre, la quantità molto limitata di acqua termale della sorgente era usata per le proprietà curative, tenendo presente che il rapido deposito di carbonato di calcio avrebbe prodotto la graduale occlusione dei tubi.

### Stato di conservazione delle TT

Nonostante le devastazioni, le depredazioni e lo stato di abbandono avvenuti in oltre 2000 anni, gli interventi di restauro, consolidamento e ricostruzione di molti elementi architettonici e strutturali hanno prodotto uno stato di conservazione tale da rendere ancora l'idea della magnificenza originaria delle TT.

### Conclusioni

Il complesso architettonico delle TT, ubicato sul versante occidentale dei Monti della Tolfa, costituisce una delle più elaborate strutture termali regionali, che comprende da due edifici. Il primo, sviluppato su un'area di 2240 m<sup>2</sup>, è composto da 15 vani, incluse tre piscine con volume totale di 118 m<sup>3</sup>, con paramento in *opus incertum* e *opus reticulatum* che indicano una età tra la fine del II e quella del I secolo a.C., ovvero tra gli ultimi anni della Repubblica o i primi dell'Impero. Il secondo edificio, che occupa un'area di 16.221 m<sup>2</sup>, è composto da 68 vani comprese tre piscine con volume totale 251 m<sup>3</sup> e paramento in *opus testaceum*, ed è datato al periodo dell'imperatore Adriano. Di conseguenza, il volume totale di acqua necessario per il funzionamento delle sei piscine dei due edifici è di 369 m<sup>3</sup>. La discussione di tutti i dati delle TT indica che la nostra ricerca, eseguita anche mediante le tecniche della Geoarcheologia, ha consentito di raggiungere i seguenti obiettivi: (1) descrivere per la prima volta l'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico dell'area che ospita le TT; (2) determinare l'approvvigionamento dell'acqua, il funzionamento delle TT, e l'uso dell'acqua termale da sorgente. Infatti, lo sfavorevole assetto idrogeologico del versante occidentale dei Monti della Tolfa, costituito dal Complesso del Flysch e della Pietraforte con permeabilità relativa molto bassa o nulla e quindi privo di sorgenti perenni, ha suggerito agli ingegneri romani di costruire una cisterna cilindrica per raccogliere le piogge e fornire l'acqua alle TT. Il volume interno utile della cisterna a servizio delle TT, definito in funzione del volume totale di 369 m<sup>3</sup> delle sei piscine, è di 1644 m<sup>3</sup>.

I suddetti obiettivi, essenziali per la costruzione di qualsiasi struttura termale, ma praticamente ignorati o male interpretati dagli studi precedenti sulle TT, contribuiscono a migliorare

le conoscenze sulle modalità di funzionamento degli impianti termali costruiti dai Romani, ed indicano di utilizzare maggiormente le tecniche della Geoarcheologia nelle ricerche sui siti archeologici.

Allo scopo di migliorare la salvaguardia, la manutenzione, e la conservazione delle TT si propongono alla Soprintendenza Archeologica i seguenti suggerimenti.

- Aggiornare la stratigrafia dei due edifici delle TT mediante uno studio per riconoscere le strutture architettoniche originali, quelle restaurate, consolidate e ricostruite.
- Una ricerca finalizzata a definire i tipi di marmi e la composizione dei laterizi e per stabilire la provenienza dei siti minerari di questi materiali.
- Controlli periodici delle condizioni dei materiali, della vegetazione infestante, delle variazioni termiche e idrologiche, dell'azione del dilavamento, degli incendi, delle efflorescenze saline, dell'aggressione chimica ad opera degli agenti inquinanti, del peso dei muri portanti e delle parti accessorie, dell'eventuale cedimento delle fondazioni. A tale riguardo l'analisi ponderale è utile per valutare i pesi dei muri portanti e delle parti accessorie. Questa indagine, eseguita mediante il carotaggio e la determinazione dei loro volumi, pesi specifici e baricentri, è particolarmente significativa per il controllo della loro statica.

### Ringraziamenti

La ricerca è stata supportata dall'Associazione Nazionale per gli Interessi del Mezzogiorno d'Italia (ANIMI). Gli Autori sono grati alla Soprintendente Margherita Eichberg e alla funzionaria Rossella Zaccagnini della Soprintendenza Archeologica per l'accesso alle TT e alla relativa documentazione fotografica; a Bruno Luci della stessa Soprintendenza per il supporto durante i rilievi presso le TT; alle Terme dei Papi per aver consentito di utilizzare i dati stratigrafici del pozzo perforato nella loro proprietà al confine con le TT e le analisi dell'acqua termale intercettata dal pozzo; a Dario Tufoni dello Studio di Geologia Ambientale ECO GEO per le stratigrafie dei pozzi, le indicazioni sulla concessione mineraria delle Terme Taurine e le proficue discussioni sull'idrogeologia dell'area oggetto della presente ricerca.

### ORCID:

Ugo Chiocchini <http://orcid.org/0000-0003-4106-3350>

### Contributo degli Autori

Ugo Chiocchini ha progettato e supervisionato la ricerca, eseguendo il rilevamento geologico, geomorfologico, idrogeologico, il controllo degli elementi architettonici e dei loro materiali, e acquisendo i dati storici presso la Soprintendenza Archeologica; Giovanni Savarese ha eseguito la elaborazione dei dati idrogeologici e la composizione grafica delle figure; Luca Seidenari ha collaborato al controllo degli elementi architettonici e dei loro materiali ed ha eseguito la ricerca bibliografica. Tutti gli Autori hanno collaborato alla revisione del manoscritto.

## Riferimenti bibliografici

- ABBATE E, SAGRI M (1970) *The eugeosynclinal sequences*. Sedimentary Geology 4: 251 – 340.
- ADAMS JP (2011) *L'arte di costruire presso i romani - Materiali e tecniche*. X edizione. Longanesi 369 p.
- ALBERTI A, BERTINI M, DEL BONO G, NAPPI G, SALVATI L (1970) *Note illustrative del Foglio 136 Toscana e Foglio 142 Civitavecchia scala 1: 100.000 della Carta Geologica d'Italia*. Servizio Geologico d'Italia. Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (Napoli) 141 p.
- ALESSANDRI T (1875) *Sull'acqua termo-minerale di Civitavecchia*. Roma, Botta.
- American Geological Institute (2005) *Glossary of Geology*. Eds. Neuendorf KKE, Mehl JP Jr, Jackson JA Fifth Edition 779 p.
- ANNOVAZZI V (1853) *Storia di Civitavecchia dalle sue origini fino all'anno 1848*, 96 - 107. Roma, Tipografia Ferretti. MDCCLIII.
- BALDI P, DECANDIA FA, LAZZAROTTO A, CALAMAI A (1974) *Studio geologico del substrato della copertura vulcanica nella zona dei laghi di Bolsena, Vico e Bracciano*. Mem Soc Geol It 13: 575 – 606.
- BARBERI F, BUONASORTE G, CIONI R, FIORDELISI A, FORESI L, IACCARINO S, LAURENZI MA, SBRANA A, VERNIA L, VILLA IM (1994) *Plio-Pleistocene geological evolution of the geothermal area of Tuscany and Latium*. Mem Descr Carta Geol d'It XLIX: 77 - 134.
- BARRUOL G, FICHES J-L, GARMY P Eds. (2011). *Ponte Routiers en Gaule Romaine*. Revue Archeologique de Narbonnaise. Supplement 41, Montpellier 685 p.
- BASTIANELLI S (1933) *Notizie degli Scavi di Antichità comunicate alla Reale Accademia Nazionale dei Lincei*. 1933, Regione VII. VIII. Civitavecchia - Scavi eseguiti nelle "Terme Taurine" o "Trajane": 398 – 421.
- BASTIANELLI S (1939) *Gli antichi avanzi esistenti nel territorio di Civitavecchia*. Studi Etruschi XIII: 385- 402.
- BASTIANELLI S (1942) *I. Civitavecchia - Nuove esplorazioni eseguite nelle Terme Taurine*. Atti Reale Accademia d'Italia (1942) XX. Serie Settima. Notizie degli Scavi di Antichità. A cura di Roberto Paribeni, Vol III, Fascicolo 3°: 235 – 252.
- BASTIANELLI S (1961a/1985) *Le Terme Taurine*. *Bollettino di Informazioni*. Associazione Archeologica "Centumcellae". Anno II. Pagine di Storia e di Archeologia: 24 – 37. Ristampa del 1985.
- BASTIANELLI S (1961b) *Terme Taurine. Il calidarium di età repubblicana*. *Bollettino di Informazioni*. Associazione Archeologica "Centumcellae". Anno II: 3 – 37.
- BASTIANELLI S (1962) *I mattoni bollati rinvenuti negli scavi delle Terme Taurine*. *Bollettino di Informazioni*. Associazione Archeologica "Centumcellae". Anno III: 3 – 13.
- BASTIANELLI S (1988) *Appunti di Campagna 1913 – 1949*. Roma.
- BERTINI M, D'AMICO C, DERIU M, TAGLIAVINI S, VERNIA L (1971) *Note illustrative del Foglio 143 Bracciano scala 1: 100.000 della Carta Geologica d'Italia*. Servizio Geologico d'Italia. Nuova Tecnica Grafica 77 p.
- BLAKE ME (1947) *Ancient Roman construction from the prehistoric period to Augustus*. Carnegie Institution of Washington. Publication 570 421 p.
- BOCCALETTI M, DECANDIA FA, GASPERI G, GELMINI R, LAZZAROTTO A, ZANZUCCHI G (1987) *Carta strutturale dell'Appennino Settentrionale*. Pubbl. 429, Note illustrative. CNR Progetto Finalizzato Geodinamica, Tipografia Senese.
- Boni C, Bono P, Capelli G (1986) *Schema idrogeologico dell'Italia centrale*. Mem Soc Geol It 35: 991 – 1012.
- BROISE H, JOLIVET V (1991) *Le bain en Etrurie à l'époque hellénistique*. In: Actes de la Table Ronde organisée per l'Ecole française de Rome (Rome 11-12 novembre 1988): 79 - 95.
- BRUNET, C, MONIÈ P, JOLIVET L (1997) *Geodynamic evolution of the Alpine Corsica based on <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar data (abstract)*. Terra Nova EUG 9: 93.
- BRUNORI E (1990) *Lacquedotto di Traiano*. In: *Caere e il suo territorio da Agylla a Centumcellae*. A cura di A Maffei e F Nastasi, Libreria dello Stato – Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato: 215 – 219.
- CAINE JS, EVANS JP, FORSTER GB (1996) *Fault zone architecture and permeability structure*. Geology 24 11: 1025 – 1928.
- CALAMAI A, CATALDI R, LOCARDI E, PRATURLO A (1976) *Distribuzione delle anomalie geotermiche nella fascia preappenninica tosco-laziale*. Simp. Intern. Sobre Energia Geotermica en America Latina, Città del Guatemala 16/23 ottobre 1976: 189 - 229.
- CAMPONESCHI B, NOLASCO F (1978) *Le risorse naturali della regione Lazio. Monti della Tolfa e Monti Ceriti*. Regione Lazio 3 175 p.
- CANNIZZARO S (1884) *Acque termo-minerali di Civitavecchia: analisi chimiche del prof. Stanislao Cannizzaro*. Notizie storiche, considerazioni terapeutiche e resoconto clinico del dr. Tito Piermarini. Civitavecchia, Strambi.
- CAPELLI G, MASTRORILLO L, MAZZA R, PETITTA, M, BALDONI F, BANZATO F, CASONE D, DI SALVO C, LA VIGNA, TAVIANI S, TEOLI P (2012a) *Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio*. S.E.L.C.A.
- CAPELLI G, MASTRORILLO L, MAZZA R, PETITTA M (2012b) *Carta delle Unità Idrogeologiche della Regione Lazio (scala 1: 250.000)*. S.E.L.C.A.
- CAPEZZUOLI E, GANDIN A (2004) *I "travertini" in Italia: proposta di una nuova nomenclatura basata sui caratteri generici*. Il Quaternario 17 (2/1): 273 - 284.
- CARUSO I (1991) *Civitavecchia e il suo territorio*. Regione Lazio Assessorato alla Cultura. Edizioni Quasar 83 p.
- CATALDI R, MONGELLI F, SQUARCI P, TAFFI L, ZITO G, CALORE G (1999) *Geothermal ranking of Italian territory*. Geothermics 24: 115 - 129.
- CELICO P (1988) *Prospezioni idrogeologiche*. Vol. II. Liguori Editore, Napoli. 536 p.
- CHELLINI R (2002) *Acque Sorgive Salutari e Sacre in Etruria (Italiae Regio VII)*. Ricerche Archeologiche e di Topografia Antica. BAR International Series 1067: 89 – 93.
- CHIOCCINI U (2019) *The Roman cistern of road Cristoforo Colombo, Rome, Italy: operating mode and connection to the old Appian Way*. Archaeological and Anthropological Sciences 11: 321 – 336.
- CHIOCCINI U, CASTALDI F, BARBIERI M, EUILLI V (2010) *A stratigraphic and geophysical approach to studying the deep-circulating groundwater and thermal springs, and their recharge areas, in the Cimini Mountains-Viterbo area, central Italy*. Hydrogeology Journal 18: 1319 - 1341.
- CHIOCCINI U, CIPRIANI N, GISOTTI G, MACIOCE A, MANNA F, BOLASCO A, LUCARINI C, PATRIZI GM (1996) *Aree costiere a rischio ambientale: l'esempio di Santa Marinella, provincia di Roma*. Geologia Tecnica

- & Ambientale 1: 35 – 50.
- CHIOCCHINI U, SAVARESE G (2020) *Modello idrogeologico concettuale, sorgenti termali e sfruttamento sostenibile del sistema idrotermale di Viterbo*. Mem Descr Carta Geologica d'It CVII: 69 – 100.
  - CHIOCCHINI U, DE PIANO M, GAETA M, PAGLIUCA E, POLZONE N, SARMIENTO F (2021) *Geoarchaeological Study of the Pietra Dell'Oglio Bridge at the Service of the Old Appian Way, Campania, Southern Italy*. *Archaeological Discovery* 9: 223 – 258.
  - CHIOCCHINI U, POTETTI M (1998) *Caratteri sedimentologici e stratigrafici delle calcareniti di Tarquinia (provincia di Viterbo)*. *Boll. Serv. Geol. d'It.*, CXVII: 33 – 52.
  - CIVITA M (2005) *Idrogeologia applicata e ambientale*. Casa Editrice Ambrosiana 794 p.
  - CIVITELLI G, CORDA L (1993) *The Allocthonous Succession. Sabatini Volcanic Complex*. Edited by M Di Filippo. Quaderni de La Ricerca Scientifica 114, Progetto Finalizzato Geodinamica – Monografie Finali Vol 11: 19 – 28.
  - Consiglio Nazionale delle Ricerche (1987) *Progetto Finalizzato Geodinamica. Neotectonic Map of Italy. Vol 4 Quaderni della Ricerca Scientifica*. L.A.C., Firenze.
  - CORTÉZ PÉREZ J, DE SANJOSE BLASCO JJ, ATKINSON DJ, DEL RIO PÉREZ LM (2018) *Assesment of the Structural Integrity of the Roman Bridge of Alcantara (Spain) using the TLS and GPR*. *Remote Sensing* 10 387. DOI: 103390/rs 10030387.
  - D'ARGENIO B, FERRERI V (1987) *A brief outline of sedimentary models for Pleistocene travertine accumulation in southern Italy*. *Rend Soc Geol It* 9: 167 - 170.
  - D'ARGENIO B, FERRERI V (1988) *Ambienti di deposizione e litofacies dei travertini quaternari dell'Italia centro-meridionale*. *Mem Soc Geol It* 41: 861 - 868.
  - D'ARGENIO B, FERRERI V, ANZALONE E (2013) *Travertines of central and southern Italy*. *Rend Online Soc Geol It* 27: 4 - 9, (<https://doi.org/10.3301/ROL.2013.16>).
  - DE CESARIS F (2005) *Aspetti problematici negli interventi di consolidamento in siti archeologici: terme Taurine a Civitavecchia, catacombe ebraiche a villa Torlonia (Roma)*. Atti del Convegno Conservare il passato: metodi ed esperienze di protezione e restauro nei siti archeologici. Chieti-Pescara, 25-26 settembre 2003. Gangemi Editore.
  - DELAINE J, JOHNSTON DE (1999) *Roman baths and bathing*. Proceedings of the First International Conference on Roman Baths Held at Bath, England, 30 March-4April, 1992. 2 pts. *Journal of Roman Archaeology Suppl* 37. Portsmouth, RI: Journal of Roman Archaeology.
  - DELLA VEDOVA B, MONGELLI F, PELLIS G, SQUARCI P, TAFFI L, ZITO G (1991) *Heat flow map of Italy*. *Int Inst for Geothermal Research – CNR, Pisa*.
  - DE RITA D, BERTAGNIN A, FACCENNA C, LANDI P, ROSA C, ZARLENGA F, DI FILIPPO M, CARBONI MG (1997) *Evoluzione geopetrografica-strutturale dell'area tolfetana*. *Boll Soc Geol It* 116: 143 – 175.
  - DEVOTO G, LOMBARDI G (1977) *Le formazioni sedimentarie ed eruttive del settore Tolfetano-Cerite (Lazio nord-occidentale)*. *Quad. Acc. Naz. Lincei* 227 (2): 1 - 35.
  - DI FENIZIO C (1916) *Sulla portata degli antichi acquedotti romani e determinazione della quinarie*. Tipografia del Genio Civile.
  - DUCHI V, MINISSALE A (1995) *Distribuzione delle manifestazioni gassose nel settore peri-tirrenico toscano-laziale e loro interazione con gli acquiferi superficiali*. *Boll Soc Geol It* 114: 337 - 351.
  - DUCHI V, MINISSALE A, ROMANI L (1985) *Studio geochimico su acque e gas dell'area geotermica Lago di Vico-M. Cimini (Viterbo)*. *Atti Soc Tosc Sc Nat Mem Serie A XCII* 35: 237 - 254.
  - FAGAN G G (2001) *The Genesis of the Roman Public Baths: Recent approaches and Future Directions*. *American Journal of Archaeology* 105 3: 403 – 426.
  - FAZZINI P, GELMINI R, MANTOVANI P, PELLEGRINI M (1972) *Geologia dei Monti della Tolfa (Lazio Settentrionale; provincia di Viterbo e Roma)*. *Mem Soc Geol It* 11 1: 65 – 144.
  - FEA C (1821) *Varietà di scoperte antiquarie nelle antiche Terme Tauriane a Cento Celle, ora di Civitavecchia; nel Tempio di Venere, e Roma, nei Fori di Diocleziano, e di Augusto ecc*. Ragionamento letto nell'Accademia Archeologica il di 11 gennaio 1821 16 p.
  - FERRINI V, LOMBARDI G, MORBIDELLI L, NEGRETTI GC (1970) *Studio geopetrografico del complesso vulcanico tolfetano-cerite (Lazio)*. VI. Le manifestazioni ipoabissali. Istituto di Petrografia Università di Roma.
  - FILETTI M (1878) *Analisi di alcune acque termo-minerali di Civitavecchia*. Roma, Stamperia Reale 21 p.
  - FORSTER C, SMITH L (1988 a) *Groundwater flow systems in mountainous terrain 1: numerical modeling technique*. *Water Resour Res* 24: 999 – 1010.
  - FORSTER C, SMITH L (1988 b) *Groundwater flow systems in mountainous terrain 2: controlling factors*. *Water Resour Res* 24: 1011 – 1023.
  - GALLIAZZO V (1995). *I ponti romani*. Volume I 761 p. Volume II 447 p. Canova, Treviso.
  - GAMURRINI GE, COZZA A, PASQUI A, MENGARELLI R (1972) *Formae Italiae - Serie II, Documenti, Vol 1*. Carta archeologica d'Italia (1881-1891). Materiali per l'Etruria e la Sabina 115. Unione Accademica Nazionale – Istituto di Topografia Antica dell'Università di Roma. Leo Olski Editore. Firenze MCMLXXII.
  - GANDIN A (2013) *Classificazione genetica, caratteri petrologici distintivi e valori isotopici correlati di calcari incrostanti depositi da acque scorrenti (Travertini-Calcareous Tufa-Speleotemi)*. *Rend Online Soc Geol It* 27: 10 - 30. (<https://doi.org/10.3301/ROL.2013.17>).
  - GENÇER U, TURAN H (2017) *The masonry techniques of a historical bridge in Hypokremos (Içmeler)*. <https://doi.org/10.4305/METU.JFA.2017.1.6>, 187 – 207.
  - GHILARDI M, DESRUELLES S (2009) *Geoarchaeology: where human, earth sciences meet with technology*. *SAPIENS* 2/2: Special Issue, 1 – 9.
  - GIANNINI E, LAZZAROTTO A, SIGNORINI R (1971) *Lineamenti di stratigrafia e di tettonica*. In: *La Toscana Meridionale*. Società Italiana di Mineralogia e Petrologia, XXVII, Fascicolo Speciale: 33 – 112.
  - GILBERT AS (Ed.) (2017) *Encyclopedia of Geoarchaeology*. Springer 1046 p.
  - GIRELLI VA (2007) *Tecniche digitali per il rilievo, la rappresentazione e la modellazione 3D nel campo dei Beni Culturali*. In: *Ricerche di Geomatica*, Roma, SIFET Edizioni: 79 - 88.
  - GONFIANTINI R, PANICHI C, TONGIORGI E (1968) *Isotopic disequilibrium*

- in travertine deposition. Earth and Planetary Science Letters 5: 55 – 58.
- GRASBY SE, HUTCHINSON L (2001) Controls on the distribution of thermal springs in the southern Canadian Cordillera. Can Journ Sci 38: 427 – 440.
  - GUERIN-BEAUVOIS M (2003) *Thermalism romain et stations thermals en Italie aux deux premier siècles de notre ère: quelques éléments de synthèse*. Via Latina 168: 2 – 14.
  - HEINZ W (1986) *Die Terme Taurine von Civitavecchia – ein Römischer Heitbad*. Antike Welt Zeitschrift fur Archaeologie und Kulturgeschichte 4: 22 – 43.
  - IMBRIALE P (2014) *I travertini quaternari della Campania: caratteri sedimentologici, geochimici e ipotesi genetica*. Università degli Studi di Napoli “Federico II”. Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra-XXV Ciclo 240 p.
  - INGLESE C, PARIS L a cura di (2020). *Arte e tecnica dei ponti romani in pietra*. Sapienza Università Editrice 213 p.
  - ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico Nazionale (2009) Carta Geologica d’Italia – 1: 50.000. Progetto CARG: Modifiche e Integrazioni al Quaderno N. 1/1992. Quaderni Serie III 12 54 p.
  - ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d’Italia (2016) Carta Geologica d’Italia in scala 1: 50.000. Foglio 355 Ronciglione. D.R.E.Am Italia.
  - ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico Nazionale (2018 a) Carta Geomorfologica d’Italia – 1: 50.000. Modifiche e Integrazioni al Quaderno N. 4/1994. Quaderni Serie III 13 95 p.
  - ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico Nazionale (2018 b) Carta Idrogeologica d’Italia – 1: 50.000. Modifiche e Integrazioni al Quaderno N. 5/1994. Quaderni Serie III 14 73 p.
  - ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d’Italia. Carta Geologica d’Italia in scala 1: 50.000. Foglio 344 Toscana, Foglio 353 Montalto di Castro, Foglio 354 Tarquinia. In allestimento per la stampa.
  - JACONO L (1934) *La misura delle antiche fistuale plumbee*. Estratto dalla Rivista di Studi Pompeiani, anno I (1934-1935), fasc. II, Napoli.
  - JANKOVIC MA (2012) *The social role of Roman baths in the province of Moesia*. The Archaeology of water supply. M Zuchowska Ed. European Association of Archaeologists. Annual Meeting: 27 - 39. Archaeopress.
  - KLIFFIELD R, HUNZIKER J, DALLMEYER RD, SCHAMEL S (1986) *Dating of deformation phases using <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar techniques: results from the Northern Apennines*. Journ Struct Geol 8: 781 – 798.
  - KÖHLER J (1998) *Zur wasserbewitt schaftung der Terme Taurine bei Civitavecchia*. In: GCM Janen Ed. Proceedings of the Tenth International Congress on the History of Water Management and Hydraulic Engineering in the Mediterranean Region, Syracuse, May 16–22 1998: 185 – 194.
  - KÖHLER J (1999) *Die Terme Taurine bei Civitavecchia*. Mitteilungen Des Deutschen Archaeologischen Institut Romische Abteilung 106: 365 – 376.
  - KÖHLER J (2007) *Termalismo antico e tardoantico a Civitavecchia*. Bains curatifs et bains hygieniques en Italie de l’antiquité au Moyen Age. Collection de l’Ecole Francaise de Rome, 383.
  - LANCIANI R (1881) *I commentari di Frontino intorno le acque e gli acquedotti*. Roma.
  - LAURO C, NEGRETTI GC, MORBIDELLI L, LOMBARDI G (1965) *I. Studio geopetrografico del complesso vulcanico tolfetano-cerite*. Lineamenti geotutturali della Tuscia Romana centro-occidentale, con particolare riguardo alle regioni tolfetana, cerite e manziate, e notizie bibliografiche. Istituto di Petrografia dell’Università di Roma 53 p.
  - LI M, LI GM, YANG L, DANG XY, ZHAO CH, HOU GC, ZHANG MS (2007) *Numerical modeling of geothermal groundwater flow in karst aquifer system in eastern Weibe, Shaanxi Province, China*. China Series D Earth Sciences 50: 36 – 41.
  - LOMBARDI G, MORBIDELLI L, NEGRETTI GC (1965 a) *Lineamenti geopetrografici e strutturali degli affioramenti vulcanici del settore tolfetano (Lazio)*. Rend Soc Min Ital 21: 151-156.
  - LOMBARDI G, MORBIDELLI L, NEGRETTI GC (1965 b) *Gli affioramenti eruttivi della Tolfaccia (Monti della Tolfa)*. Rend Soc Min It 21: 157 - 164.
  - LOMBARDI G, MORBIDELLI L, NEGRETTI GC (1974) *Età delle vulcaniti acide dei complessi Tolfetano, Cerite e Manziate (Lazio Nord-occidentale)*. Per di Min 43: 181–204.
  - LOMBARDI L, SANTUCCI E, LEONI B (2016) *La distribuzione dell’acqua nella città di Roma: tecnologia e castellum aquae*. Atti del Convegno Nazionale “Tecnica di Idraulica Antica”. A cura di Fiore A, Gisotti G, Lena G, Masciocco L, Roma 18 novembre 2016. Geologia dell’Ambiente, Supplemento al n. 3/2017: 28 – 32.
  - LOPEZ DL, SMITH L (1995) *Fluid flow in fault: analysis of the interplay of convective circulation and topographically driven groundwater flow*. Water Resour Res 31: 1489 – 1503.
  - LUGLI G (1957) *La tecnica edilizia romana con particolare riguardo a Roma e Lazio*. Volume I 743 p., Volume II Tavole. Giovanni Bardi Editore, Roma.
  - MANFRA L, MASI U, TURI B (1976) *La composizione isotopica dei travertini del Lazio*. Geologica Romana XV: 127 – 174.
  - MANZI LM (1869) *Delle Terme Taurine presso Civitavecchia e della loro restaurazione*. Cap. 1°. Notizie circa l’antichità delle Terme Taurine: 1 - 28. Roma.
  - MENGARELLI R (1923) *Notizie degli Scavi di Antichità comunicate alla Regia Accademia Nazionale dei Lincei*. Regione VII (Etruria). VI. Civitavecchia - Scavi eseguiti nel 1922 nelle “Terme Taurine” o “Trajane”: 321 – 348.
  - MERCURIALE G (1571) *Variorum lectionum libri quattuor*. In quibus complurimum, maximeque medicinae scriptorum infinita paene loca vel corrupta restituntur, vel obscura declarantur, Venetiis.
  - MINISSALE A, KERRICH DM, MAGRO G, MURELL MT, PALADINI M, RIHS S, STURCHIO NC, TASSI F, VASELLI O (2002) *Geochemistry of Quaternary travertins in the region north of Roma (Italy): structural, hydrologic and paleoclimatic implications*. Earth Planet Sci 203: 709 - 728.
  - NAPPI G, MATTIOLI M, VALENTINI L, CHIOCCINI U, MADONNA S (2016) *Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1: 50.000*. Foglio 355 Ronciglione. ISPRA – Servizio Geologico d’Italia. D.R.E.Am. Italia 177 p.
  - NEGRETTI GC, LOMBARDI G, MORBIDELLI L (1966) *Studio geopetrografico del complesso Tolfetano-Cerite*. IV. Le manifestazioni vulcaniche acide del settore Cerite. Istituto di Petrografia dell’Università di Roma.

- NEGRETTI GC, MORBIDELLI L (1963) *Studio geopetrografico del complesso Tolfetano-Cerite*. III. Le manifestazioni vulcaniche acide del settore civitavecchiese-tolfetano. Istituto di Petrografia dell'Università di Roma.
- PACE P (2010) *Acquedotti di Roma e il De Aquaeductus di Frontino*. Consiglio Nazionale delle Ricerche. Edizioni BetMultimedia, terza edizione 326 p.
- PASQUINUCCI M A CURA DI (1987) *Terme romane e vita quotidiana*. Comune di Rosignano Marittimo. Università degli Studi di Pisa, Dipartimento di Scienze Storiche del Mondo Antico. Cop. Industrie Grafiche, Modena 135 p.
- PISCOPO V, BARBIERI M, MONETTI V, PAGANO G, PISTONI S, RUGGI E, STANZIONE D (2006) *Hydrogeology of thermal waters in Viterbo area, central Italy*. Hydrogeology Journal 14: 1508 – 1521.
- POLLARD AM (1999) *Geoarchaeology: an introduction*. In: AM Pollard Ed. Geoarchaeology: exploration, environments, resources. Geological Society London 165: 7 – 14.
- RAGAN DM (2009) *Structural Geology. An Introduction to Geometrical Techniques*. Fourth Edition. Cambridge University Press 602 p.
- RAPP JR GR, HILL CL (1998) *Geoarchaeology: The Earth-Science approach to archaeological interpretation*. Yale University Press, New Haven.
- REGGIANI AM (2018) *La villa pulcherrima di Traiano a Centumcellae*. *Veleta* 35: 129 – 149. <https://doi.org/10.1387/veleta.19438>.
- ROGERS D K (2018) *Water culture in Roman bath*. Brill Research Perspectives in Ancient History 1-1: 1-118.
- ROSSETTI F, FACCENNA C, JOLIVET L, FUNICIELLO R, TECCE F, BRUNET C (1999) *Syn-versus post-orogenic extension: the case study of Giglio Island (Northern Tyrrhenian Sea, Italy)*. Tectonophysics 304: 71 – 93.
- SAMMURI P (2020) *L'Alabastro di Civitavecchia*. Mem Descr Carta Geol d'It 106: 15 - 22.
- Servizio Geologico d'Italia (1969) Carta Geologica d'Italia in scala 1: 100.000. Foglio 142 Civitavecchia. Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (Napoli)
- Servizio Geologico Nazionale (1992) Carta Geologica d'Italia - 1: 50.000. Guida al Rilevamento. Quaderni Serie III 1, 203 p.
- Servizio Geologico Nazionale (1994) Carta Geomorfologica d'Italia - 1: 50.000. Guida al Rilevamento. Quaderni Serie III 4 42 p.
- Servizio Geologico Nazionale (1995) Carta Idrogeologica d'Italia - 1: 50.000. Guida al Rilevamento. Quaderni Serie III 5 33 p.
- SHAHACK-GROSS R (2017) *Archaeological formation theory and geoarchaeology: State-of-the-art in 2016*. Journal of Archaeological Science 79: 36 - 43.
- SHILLITO L-M, BLONG J, SAWYER A, MACKAY H (2019) *Introduction. Geoarchaeology from landscapes to material culture*. Papers from the 7<sup>th</sup> Developing International Geoarchaeology Conference. Geoarchaeology 34: 377-379.
- STRACCI G (2021) *Nosse iuvat Tauri dictas de nomine thermas*. The controversial question of the Taurine Baths. Academia Letters. Article 841. <https://doi.org/10.20935/AL841>.
- STROPPIANA L (1970) *Le antiche Terme Taurine nell'ambito del futuro complesso termale di Civitavecchia*. *Pagine di Storia della Medicina* 14 3: 17 - 25.
- TOLLE-KANSTENBEIN R (1993) *Archeologia dell'acqua*. Longanesi & C 276 p.
- TORELLI M (1973) *Civitavecchia (Centumcellae)*. *Enciclopedia dell'Arte Antica Classica e Orientale*. Supplemento 1970: 233 - 235.
- VENTRIGLIA U (1988) *Idrogeologia della provincia di Roma*. Volume I Regione Tolfetana. Provincia di Roma.
- VILLA LM, GIULIANI O, DE GRANDIS G, CIONI R (1989) *Datazioni K-Ar dei vulcani di Tolfa e Manziana*. *Boll. GNV* 1989/2: 1025 - 1026.
- YEGUL F (1992) *Baths and Bathing in Classical Antiquity*. The Architectural History Foundation, New York. The MIT Press Cambridge, Massachusetts, and London, England 501 p.
- YUHARA H, RIBACCHI R (1963) *Osservazioni preliminari su alcune sorgenti termominerali del Lazio*. *Industria Mineraria* 14: 261 – 265.
- ZACCAGNINI R, DAVID D, STASOLLA FR (2018) *Nuove ricerche nel territorio di Civitavecchia*. Un Progetto per Aquae Tauri. *Scienze dell'Antichità* 24 1: 149 – 174. Edizioni Quasar.