

## HYPOGEAN ARCHAEOLOGY®

by Roberto Basilico, Maria Antonietta Breda and Gianluca Padovan

### 38. CLASSIFICATION OF ARTIFICIAL CAVITIES BY TYPOLOGY

#### Typology n. 2a: Aqueduct©

The term ‘aqueduct’ refers to a system, whether simple or complex, which allows the transfer of water from the point of supply to the point of use. The first distinction is between drinking and non-drinking water. Channelled drinking water acquires social and political connotations as well as financial connotations. When the community exceeds a certain population threshold, the continual intake of a significant amount of water becomes necessary. At least in the past, exceeding a certain population threshold could be directly linked to the possibility of increasing water intake.

The main works required in the creation of an aqueduct are the following:

*water capture works*: for water capture in places where water is naturally available;

*supply conduit (or supply channel)*: this is needed to transport water from the point of capture to that of use, where “conduit” refers to generally cylindrical piping and “channel” refers to the closed channel or *specus*, with free surface water flow; an earthenware, *eternit* (made of asbestos and Portland cement fibres) or other type of conduit is sometimes positioned in the *specus*; water is channelled through this to ensure quality and prevent pollution;

*reservoir or storage works*: used in the storage of water when consumption is inferior to supply and in the supply of water when the situation is reversed;

*distribution network (network conduits)*: complex of small conduits or pipes for the transport of water to the supply points;

*private installations*: network of small channels or more commonly piping, linked to the distribution network and which directly supplies private consumers.

There are also:

*mechanical lifting system*: to compensate for any natural-occurring altitude variations so that adequate amounts of water may flow within the conduits;

*potabilisation plant*: provides water with the chemical and bacteriological qualities required for human consumption; part of modern systems, these were introduced in the XIX-XX century.

Water which may be captured can have various sources and can derive from: springs, lakebeds, rivers, underground, artificial basins; an appropriate capture system will be chosen according to the water-type.

*Spring-water capture*: this requires hydro-geological research of the spring’s source and the land through which it flows. In stratified rock, water capture is carried out through the removal of the layer of soil and detritus, which covers the rock. Where there is a single source (or where there are numerous nearby sources), an impermeable capture chamber is created to contain the water. Where there are numerous water veins to be linked and these are distanced one from the other, a water inlet is created for each vein. Where the sources are distributed lengthways across fissures in the rock, collection will also take place along the length of the rock, possibly in the form of a tunnel running along the rock face. For talus springs, if the water flows from the rock, the above procedure is followed. If, on the other hand, the water flows along the detritus mass, collection can take place through the construction of impermeable barrages on the bedrock or by draining the water mass and channelling it into a water collector. In alluvial soil, springs generally emerge along the outcrop of impermeable clay strata (or clay and sand strata) and water sometimes flows in an upwards direction into pools. In this case, water is collected by means of a work which encapsulates the pool, the walls of which are placed at a depth sufficient to prevent surface water infiltration. If the springs are located

at the base of hills or mountains, these often emerge through masses of detritus, which is generally removed to allow water capture.

**Lacustrine water capture:** water is captured at a depth and far from the banks by means of pipes laid along the bottom of the basin; in antiquity this was carried out via the creation of appropriate basins along the bank itself. In certain cases, water is captured via tunnels, which are cut into the side of the valley.

**Capture of fluvial water:** where the water-level is sufficiently elevated, water is captured using “bank drains” (brick works placed along the river’s banks). Where the water-level is too low, this can be raised using dams or alternatively, by the excavation of filtering tunnels under the river-bed.

**Artificial basin water capture:** water is normally captured using dams, at a suitable depth which prevents silt from being removed from the bottom of the basin.

**Underground water capture:** prior to capture, it should be ascertained if the water is:

- a. groundwater originating from meteoric or flowing water;
- b. deep subterranean water, separated from surface water by strata of impermeable soil.

The capture of groundwater can be carried out by digging a trench or a ditch in the surrounding land. Alternatively, practicable wells are excavated, at the bottom of which, a series of drainage galleries or pipes horizontally connect with the groundwater; the water is then collected into the well. The water can be mechanically lifted from the well and piped; alternatively a lightly downward-sloping underground aqueduct tunnel or culvert can be built. Capture of deep underground water takes place through hand excavated wells and more recently through sinking or drilled wells. Sometimes, when drilled, a deep stratum allows its waters to rise as far as the surface. A well thus formed is known as an artesian well. Should the water not rise to the surfaces, mechanical lifting systems or underground conduits can again be used.

From our knowledge so far, we can see that aqueducts with drinking water capture, transport and distribution systems were already utilised in archaic and classic times. Many predated the fall of the Roman empire and many were built thereafter. The five factors associated with current water supply that is collection, transport, lifting, storage and distribution had already been resolved some two thousand five hundred years ago. Wells (or rarely inclines), which served the below functions, may therefore be uncovered:

- wells which reach the depth required for the creation of an underground channel;
- wells used for the removal of excavated material and for ventilation purposes;
- wells used to lift the liquid to the surface upon completion of works;
- wells utilised in aqueduct maintenance.

The building of aqueducts primarily exploited the law of gravity as well as many variants of this law. At certain times in the past and for specific purposes, aqueducts were created just as we might imagine: kilometres of underground conduits, which are almost always impermeable, as well as spectacular paths over archways and substructions. The introduction of the motor pump, of iron and cast iron pipes transformed the natural, gravity flow water supply system into a pressurised water supply system. However, an endless number of similar works were created with wooden, earthenware and stone pipes or from basic, unlined passages excavated directly in the rock.

There are a significant number of underground passages for the transport of water in central Italy, normally excavated in tuff. There is no shortage of limestone examples, such as those in Tarquinia (Viterbo). Each individual case must be analysed to identify whether the work is an aqueduct as such. In his *De Architectura*, the treatise writer, Marco Vitruvio Pollione talks very clearly of the water, its collection and pipe distribution (Vitruvio, VIII, VI). He states that water is more easily collected where there are surface sources and that where none are present, underground springs must be located

and channelled. Once the water has been found or selected, the planning phase ends and the underground and/or surface structure is plotted. Vitruvius also mentions the use of water level measurement equipment.

Water was captured by means of wells, inclines or tunnels leading underground or through hillsides to the groundwater aquifer or pressurised layer, by means of reservoirs which enclosed the pools or through the capture water from rivers, streams and natural and artificial basins. Decantation basins (*piscinae limariae*) were usually positioned at the beginning of the conduit (or channel) and the channel (*specus*), a masonry wall within a trench was cut into the rock, on top of masonry substructions or, where the ground was particularly uneven, on arches, to prevent repeated water loss. With regard to the plotting of the underground excavation, this generally commenced from the base of wells (more rarely from the passages, inclines, steps or ventilation shafts), where at the appropriate water flow depth, two tunnels were excavated in opposite directions. Each tunnel branch would meet the tunnel from the adjacent well; linking all the wells allowed the level and direction to be maintained and thus the channel was formed.

The calculation of the slope was important. A channel with no slope or which sloped in the wrong direction would have led to water stagnation. An excessive slope would have caused water erosion and ultimately destroyed the channel. Where relatively short, uneven sections were to be covered certain expedients were used, such as the creation of drops at the base of which, impermeable compact stone slabs, immune to water erosion, were placed.

The Greeks and the Romans were aware of the pressurised water channel (forced) technique, but construction resources only permitted their use for short tracts and specific situations. The work usually extended via a channel (underground or surface *specus*), which led to a discharge tank at the confines of the depression (valley) to be overcome. From there a downpipe surpassed the inferior limit by means of arches or substructions and then moved upstream to the charge basin (oscillation tank) where it would continue its journey via a second *specus*. Around 400 A.C, in Olynthus, city on the Chalcidice peninsula, Heron has an aqueduct built with pressurised water channels and earthenware piping.

The base and the piers of hydraulic works were generally lined with hydraulic mortar (*opus signinum*, concrete). There are also many examples of unlined channels, where the compactness of the rock matrix permitted this. Sometimes the tunnels and passages were partially or fully lined with segments or masonry (bricks or flat roof tiles), for example, at their point of contact with natural cavities or unconsolidated material or following rebuilding works due to structural collapse. Aqueducts were subject to inspection and required constant maintenance. In his treatise on ancient Roman aqueducts, Frontinus discusses aqueduct maintenance.

In antiquity, calculation of the water flow rate, that is the volume of water passing through a specific section in time units, was not unknown. At the end of the channel and after having passed one or more silt basins, the water flowed to the *castellum*, a constant level tank, within the walls of which, *calices*, bronze gauge pipes had been inserted, at constant head. These delivered water to the various beneficiaries, which then passed through lead or earthenware channels (*fistulae*). Frontinus provides a detailed list of the pipe sizes then in use. The aqueducts and certainly the larger ones were equipped with a *castella* for water distribution and also with end tanks.

Generally speaking, aqueducts, and Roman aqueducts in particular, complied with these regulations resolving the various problems along their path, both above and below the ground. A perfect example of this is the Gier aqueduct, which with its overall 86 km extension reached the city of Lugdunum in France. On the other hand, the Virgin aqueduct in Rome ran almost entirely underground. Frontinus tells us that its length was of 14105 steps, of which 12865 in an underground canal, 1240 on the surface, 540 on support walls in various locations and 700 steps on arches. The Roman Setta aqueduct is entirely underground. It captures the waters of the river Setta and transports these from Val di Setta to below *Bononia*, the modern-day Bologna, with an extension of 19735 m.

An interesting example of a modern aqueduct built according to ancient criteria is provided by the Campiglia Marittima aqueduct in Livorno, now in disuse. Created circa the 1920s, the aqueduct captured modest springs by means of small chambers carved into the rock and channelled water to

the masonry surface tank via cement-asbestos pipes. The supply conduit still branches off from this today and extends underground on substructions and on two sets of brick arches (no longer intact), until it reaches a second tank. A motor pump then transported the liquid to the charging tank, next to the Campiglia Castle lookout tower, for free-flow distribution to the town below. It should be taken into account that the only differences between this aqueduct and the ancient aqueducts is the use of asbestos-cement, the water potabilisation plant and the motor pump, which replace the bucket elevators and bucket augers.

Water was needed for the operation of both public and private fountains, laundries, thermal installations and mills, as documented in Ancient Ostia. The Fortuna Primigenia sanctuary at Praeneste, now known as Palestrina (Rome), was supplied by an aqueduct, which most probably also supplied the fountains in the man-made recesses on each side of the external steps, below the Terrace of the Exadrae.

Between the XII and the XIV centuries, Siena saw a demographic increase and was in the middle of political and economic expansion; at this time, the governor's main concerns would have been the restructure and upgrading of the underground aqueduct.

As evidenced by Frontino on the subject of Alsietinan water, not all aqueducts carried drinking water. Built in 2 B.C., the aqueduct carried water from Lake Alsietino to the *naumachia* at the foot of the Janiculum Hill.

### **38. CLASSIFICAZIONE PER TIPOLOGIA DELLE CAVITÀ ARTIFICIALI**

#### **Tipologia n. 2a: Acquedotto©**

Con il termine di acquedotto si va a definire un sistema, semplice o complesso, che consente di trasferire l'acqua dal punto di presa a quello di utilizzo. La prima distinzione avviene tra acqua potabile e acqua non potabile. L'acqua potabile condottata assume connotati sociali e politici, oltre che economici. Il continuo apporto di una rilevante massa d'acqua diviene indispensabile qualora la comunità superi una certa soglia numerica. Almeno per il passato, il superamento di una certa soglia numerica poteva essere direttamente connesso alla possibilità d'incrementare l'apporto di acqua.

Le principali opere per la costruzione di un acquedotto sono le seguenti:

*opere di presa*: per captare l'acqua nel luogo dove essa è naturalmente disponibile;

*condotta adduttrice (o condotto adduttore)*: necessaria a portare l'acqua dal luogo di captazione a quello di fruizione, dove per "condotta" s'intende la tubazione generalmente cilindrica e per "condotto" il canale chiuso, o lo speco (*specus*), dove l'acqua scorre a pelo libero; vi sono casi in cui nello speco è alloggiata una condotta in cotto, eternit (composto di fibre di amianto e di cemento Portland), o altro materiale, in cui l'acqua viene fatta scorrere per preservarne le qualità e comunque evitarne l'inquinamento;

*serbatoio od opere di accumulazione*: serve all'immagazzinamento dell'acqua nei periodi in cui il consumo è inferiore alla portata dell'adduttrice e a erogarla quando si verifici la condizione opposta;

*rete di distribuzione (condotte a rete)*: complesso di piccoli canali o di tubature che porta l'acqua nei punti in cui deve essere utilizzata;

*impianti privati*: sistema di piccoli canali o più sovente di tubature che allacciato alla rete di distribuzione rifornisce direttamente gli utenti privati.

Abbiamo inoltre:

*impianto di sollevamento meccanico*: per supplire alla deficienza di dislivelli naturali affinché l'acqua possa defluire nelle condotte con la portata adeguata;

*impianto di potabilizzazione*: per conferire all'acqua le proprietà chimiche e batteriologiche indispensabili per l'alimentazione umana; è presente negli impianti moderni e generalmente a partire dal XIX-XX secolo.

Le acque da captare possono essere sorgenti, lacustri, fluviali, sotterranee, di bacino artificiale; a seconda della loro natura si avrà un consono impianto di captazione.

**Captazione di acque sorgive:** richiede lo studio idrogeologico dell'origine della sorgente e dei terreni attraverso i quali essa sgorga. In rocce stratificate la captazione si effettua rimuovendo lo strato di terra e di detriti che ricopre la roccia. Se la scaturigine è unica (o se ve ne sono numerose vicine) si costruisce una camera di presa impermeabile per racchiuderla. Se le vene da allacciare sono numerose e tra loro distanziate, per ognuna va costruita una presa. Se le scaturigini sono distribuite in lunghezza attraverso fessure della roccia, l'opera di presa si articola anch'essa nel senso della lunghezza e può assumere la forma di una galleria addossata alla parete rocciosa. Per le sorgenti da detriti di falda, se le acque provengono dalla roccia si opera come sopra detto. Se invece scorrono nella massa dei detriti la captazione può essere realizzata con traverse impermeabili affondate fino al substrato roccioso, ovvero con cunicoli drenanti che emungono la massa e conducono in un collettore. Nei terreni alluvionali le sorgenti scaturiscono generalmente lungo gli affioramenti di strati impermeabili di argilla (o argilla e sabbia) e talora l'acqua effluisce dal basso all'alto entro pozze o laghetti. In questo caso la captazione si fa con un'opera che include la polla, con le pareti spinte a profondità bastante a impedire l'infiltrazione di acque superficiali. Se le sorgenti si trovano alla base di rilievi collinari o montuosi, spesso esse vengono a giorno attraverso masse di detriti che generalmente vanno asportati per eseguire l'opera di captazione.

**Captazione di acque lacustri:** la presa è fatta in profondità e lontano dalle sponde, mediante tubazioni adagate sul fondo, mentre in antichità avveniva creando appositi bacini lungo la sponda stessa. In taluni casi la captazione avviene mediante gallerie perforate nei fianchi della vallata.

**Captazione di acque fluviali:** la presa è fatta con "chiaviche in sponda" (opere in muratura che interrompono gli argini di un fiume) qualora il livello si mantenga abbastanza elevato. In caso contrario si può provvedere ad innalzare il livello mediante traverse, o si ricorre alla costruzione di gallerie filtranti scavate sotto il letto del fiume.

**Captazione di acque di bacino artificiale:** la presa avviene generalmente attraverso la diga di sbarramento, a profondità conveniente per non rimuovere il limo del fondo.

**Captazione di acque sotterranee:** per la presa occorre distinguere se si tratti di:

- a. acque della falda superficiale o freatica, provenienti dalle acque meteoriche o correnti;
- b. acque delle falde profonde, separate da quelle superficiali da strati di terreni impermeabili.

La captazione della falda superficiale si può fare scavando, nei terreni che la contengono, una trincea o una fossa. Oppure si scavano pozzi percorribili dal cui fondo si possono spingere, orizzontalmente e dentro la falda, una serie di cunicoli o di tubi drenanti che versano nel pozzo. L'acqua può essere sollevata meccanicamente dal pozzo e convogliata, oppure dallo stesso pozzo si può realizzare, nel sottosuolo e con leggera pendenza, una galleria o cunicolo d'acquedotto. La captazione della falda profonda avviene mediante pozzi scavati manualmente e in tempi recenti con pozzi autoaffondanti o pozzi trivellati. Talvolta uno strato profondo tende a fare risalire le sue acque, anche in superficie, qualora sia raggiunto da una perforazione, e il pozzo che ne risulta si chiama artesiano. Anche in questo caso, se l'acqua non giunge in superficie, si possono utilizzare impianti di sollevamento o condotti sotterranei.

Allo stato attuale delle conoscenze vediamo che già in epoca arcaica e in epoca classica esistono acquedotti dotati d'impianto di captazione, trasporto e distribuzione dell'acqua potabile e probabilmente ne sono realizzati in precedenza, così come dopo la caduta dell'impero romano essi continuano ad essere costruiti. I cinque fattori legati all'attuale approvvigionamento idrico, ovvero il prelievo, il trasporto, il sollevamento, l'immagazzinamento e la distribuzione, erano già stati risolti

almeno duemila e cinquecento anni fa. Si rinverranno quindi pozzi (più raramente discenderie) che servivano alle seguenti funzioni:

- raggiungere la quota prefissata per la realizzazione del condotto sotterraneo;
- evacuare il materiale scavato e ventilare l'ambiente;
- sollevare il liquido a giorno a lavoro ultimato;
- manutenzionare l'acquedotto.

La costruzione degli acquedotti ha sfruttato prevalentemente la legge di gravità, pur con molteplici varianti. In dati momenti storici, e per specifici utilizzi, gli acquedotti sono realizzati così come siamo abituati a immaginarli o a vederli: chilometrici cunicoli sotterranei e quasi sempre impermeabilizzati, nonché spettacolari percorsi su arcate e sostruzioni. L'avvento della pompa a motore, delle tubature in ferro e in ghisa, trasformano il sistema di approvvigionamento idrico a scorrimento naturale per gravità in quello a pressione. Un'infinità di opere analoghe erano invece costituite da tubature in legno, in cotto e in pietra, oppure da semplici cunicoli scavati nella roccia e privi di qualsiasi rivestimento.

Nel centro Italia vi è un rilevante sviluppo di opere cunicolari, generalmente scavate nella roccia tufacea, destinate al trasporto dell'acqua. Non mancano esempi realizzati nel calcare, come nell'area di Tarquinia (Viterbo). Ogni caso andrà singolarmente analizzato per comprendere se si tratti o meno di acquedotto propriamente detto.

Il trattatista Marco Vitruvio Pollione, nel suo *De Architectura*, ci parla con chiarezza dell'acqua, del suo reperimento e della distribuzione mediante tubatura (Vitruvio, VIII, VI). Afferma che la si può reperire con maggiore facilità qualora esistano fonti all'aperto, ma se non sgorga in superficie occorre cercare le sorgenti sotterranee e convogliarle (Vitruvio, VIII, I). Trovata o scelta l'acqua, si passa dalla fase di progettazione al tracciamento dell'opera nel sottosuolo e/o in superficie. Generalmente si ricorreva al sistema dell'allineamento esterno e della coltellazione, che almeno presso i romani avveniva con gli strumenti utilizzati nella tecnica agrimensoria. Ancora Vitruvio menziona l'utilizzo della strumentazione per stabilire i livelli.

La presa era fatta con pozzi, discenderie o cunicoli che si addentravano nel sottosuolo o nei fianchi dei rilievi, per raggiungere l'acquifero o la falda in pressione, o mediante serbatoi che includevano le polle, oppure captando l'acqua da fiumi, torrenti, bacini naturali o artificiali. All'inizio della condotta (o del condotto) si inserivano generalmente i bacini di decantazione (*piscinae limariae*) e il condotto (*specus*) era scavato nella roccia, costruito in muratura all'interno di una trincea, su sostruzioni in muratura, o su arcate qualora dovesse superare forti dislivelli senza perdere di quota repentinamente. Per quanto riguarda il tracciato dello scavo sotterraneo questo generalmente principiava dalla base di pozzi (più raramente da cunicoli, discenderie, scalinate o finestrate) che, portati alla quota a cui doveva scorrere l'acqua, davano luogo allo scavo di due gallerie procedenti in direzioni opposte. Ogni ramo doveva poi incontrarsi con quello che procedeva dal pozzo adiacente: collegando tra loro ogni pozzo si mantenevano il livello e la direzione, realizzando il condotto.

Era importante il calcolo della pendenza. Un condotto senza pendenza o con pendenza contraria avrebbe determinato il ristagno dell'acqua. Con pendenza eccessiva l'acqua lo avrebbe eroso fino a demolirlo. Nel caso di dover coprire percorsi relativamente brevi, ma superando decisi dislivelli, esistevano alcuni espedienti come, ad esempio, la realizzazione di salti alla cui base venivano poste lastre di pietra compatta, che l'acqua consumava a fatica.

Greci e Romani conoscevano la tecnica delle condotte in pressione (forzate), ma le risorse costruttive permettevano loro di adottarle per tratti brevi e in situazioni particolari. Generalmente l'opera si articolava mediante un condotto (*specus* sotterraneo o in superficie) che giungeva in una vasca di scarico posta ai limiti della depressione (valle) da superare, da cui si sviluppava la condotta discendente che oltrepassava il limite inferiore su arcate o sostruzioni, per poi risalire fino alla vasca di carico (vasca di oscillazione), riprendendo il percorso in un successivo *specus*. Intorno al 400 a.C. a Olinto, città della Calcidica, Erone fa costruire un acquedotto dotato di condotta forzata con tubature in terracotta.

Il fondo e i piedritti delle opere idrauliche erano generalmente rivestiti in malta idraulica (*opus signinum*, calcestruzzo). Non mancano esempi di condotti privi di rivestimento, laddove la compattezza della matrice rocciosa lo consentiva. Talvolta i cunicoli e le gallerie erano parzialmente o interamente rivestiti mediante conci o laterizi (mattoni o embrici), ad esempio all'incontro con cavità naturali o sacche di materiale incoerente, oppure a seguito di rifacimenti dovuti a cedimenti strutturali. Gli acquedotti erano ispezionabili e necessitavano di una continua manutenzione. Frontino ci parla delle manutenzioni nel suo trattato sugli acquedotti dell'antica Roma.

In antichità il calcolo della portata, ovvero il volume d'acqua che passa attraverso una determinata sezione nell'unità di tempo, non era sconosciuto. Al termine del condotto, dopo aver attraversato uno o più bacini di sedimentazione, l'acqua affluiva al *castellum*, serbatoio a livello costante nelle cui pareti erano inseriti i *calices*, tubi di bronzo calibrati, sotto battente fisso, che derivavano le portate spettanti ai diversi beneficiari, le quali poi passavano in condotti di piombo o fittili (*fistulae*). Frontino ci dà un dettagliato elenco dei calibri delle tubature allora in uso. Gli acquedotti, e in genere quelli maggiori, erano dotati non solo di *castella* per la distribuzione, ma anche di serbatoi terminali.

In linea generale, soprattutto gli acquedotti romani non disattendevano a queste normative e lungo il loro percorso mostravano varie risoluzioni e con percorsi sia sopra terra che nel sottosuolo, come ben esemplifica l'acquedotto di Gier, il quale con un complessivo tracciato di 86 km giungeva alla città di *Lugdunum*, in Francia. Di contro, l'acquedotto Vergine, a Roma, aveva un percorso quasi interamente sotterraneo. Frontino ci dice che la sua lunghezza è di 14.105 passi, di cui 12.865 in canale sotterraneo, 1.240 in superficie, 540 su muri di sostegno in diversi luoghi; 700 passi su archi. Interamente sotterraneo è l'acquedotto romano del Setta, che dalla Val di Setta capta le acque dell'omonimo fiume per condurle al di sotto di *Bononia*, l'odierna Bologna, con un percorso di 19.735 m.

Un interessante esempio di acquedotto moderno costruito secondo i canoni antichi è dato dall'acquedotto di Campiglia Marittima (Livorno), oggi in disuso. Realizzato attorno agli anni Venti del XX sec., l'acquedotto captava modeste sorgenti mediante piccole camere scavate nella roccia, convogliando l'acqua con tubature in eternit nel serbatoio in muratura posto fuori terra. Da questo ancor'oggi si stacca il condotto adduttore che si sviluppa su sostruzioni, nel sottosuolo e su due serie di arcate in mattoni (non più integre), per giungere ad un secondo serbatoio. Una pompa a motore trasportava poi il liquido fino al serbatoio di carico, situato accanto al mastio del Castello di Campiglia, per la distribuzione all'abitato sottostante nuovamente per caduta libera. Si può considerare che gli unici elementi che differenziano questo acquedotto da quelli antichi siano l'utilizzo dell'eternit, l'impianto di potabilizzazione e la pompa a motore in sostituzione di norie o coclee in batteria.

L'acqua era necessaria al funzionamento non solamente delle fontane pubbliche, ma anche di quelle private, come è stato documentato presso l'antica Ostia, delle lavanderie, d'impianti termali e opifici. Il santuario della Fortuna Primigenia a *Praeneste*, odierna Palestrina (Roma), era servito da un acquedotto che, con ogni probabilità, alimentava anche le fontane che occupavano i nicchioni edificati a lato di ciascuna rampa di scale esterna, al di sotto della Terrazza degli Emicicli. Tra il XII e il XIV sec. Siena registra un incremento demografico ed è in piena espansione politica ed economica; le preoccupazioni per chi la governa sono indirizzate alla ristrutturazione e al potenziamento dell'acquedotto sotterraneo.

Non tutti gli acquedotti erogavano acqua potabile, come ben testimonia Frontino, a proposito dell'*aqua Alsietina*. Realizzato nel 2 a.C., l'acquedotto derivava l'acqua dal lago Alsietino ed era destinata alla naumachia costruita ai piedi del Gianicolo; il superfluo era utilizzato per l'irrigazione dei giardini.