

Stefano Giovanni Loffi

Piccola
Storia dell'Idraulica

libera traduzione, ridotta ma integrata, di

"History of Hydraulics" di Hunter Rose e Simon Ince
dell'Istituto di Ricerca Idraulica dell'Università Statale dell' IOWA – U.S.A.,
édita, nel 1954, come supplemento, su *"LA HOUILLE BLANCHE"* .

**Cap. 4 – Il sistema di approvvigionamento dell'acqua
nell'antica Roma**

Cremona – 23 marzo 2006

Cap. 4 - Il sistema di approvvigionamento dell'acqua nell'antica Roma

Se i Greci trassero dai Babilonesi, dai Fenici e dagli Egizi le basi delle loro più antiche scoperte scientifiche e meccaniche, è certo che altrettanto fecero i Romani nei confronti della civiltà ellenica che velocemente assorbirono.

L'influenza che la Grecia ebbe sulla civiltà romana nasce dai primi contatti di Roma con quella cultura durante la conquista delle città della Magna Grecia. Anche se gli Etruschi avevano destato l'ammirazione e quindi la conseguente emulazione da parte della nascente società romana, con l'annessione delle colonie greche in Italia (*in primis*, di Siracusa nel 212 a.C.) iniziò il volgere della cultura di Roma verso il modello di pensiero greco.

La Grecia diventò terra romana in modo pressoché incruento, perché i Romani si sostituirono, nel dominio delle *pòleis* greche, ai Macédoni costretti, con una serie di guerre, alla pace di Tempe (196 a.C.) davanti al console Tito Quinzio Flaminio.

Questa acquisizione, diremmo 'in dote', facilitò, per parte greca, l'accettazione del nuovo conquistatore, giungendo, da principio, sino a spontanee acclamazioni popolari per poi approdare inevitabilmente a reazioni ormai tardive, a volte sedate con la forza. Per i Romani la conquista senza guerra evitò i consuetudinari saccheggi e distruzioni, facilitando la generale percezione del popolo greco come entità di pari dignità ed organizzazione sociale e di superiore cultura.

L'alta considerazione della cultura greca ed il non aver combattuto per la sua conquista, portarono Roma a mantenere un particolare rapporto con quel popolo, accogliendo con favore i loro grandi pensatori, filosofi, studiosi e tecnici: per il popolo greco si trattò di una 'fuga di cervelli' *ante litteram*.

Alla conquista, la Grecia reagì così, per mano degli stessi conquistatori, diffondendo, nella cultura e nei costumi romani, i propri usi, cultura e principî.

Una rivincita silenziosa, incruenta ma efficace al punto da scatenare una reazione xenofoba della quale si ricorda il suo massimo esponente, Marco Porcio Catone (Tuscolo 234 – 149 a.C.), che, esercitando la carica di Censore, nel 184, si oppose con energia al diffondersi, nella società romana, dell'Ellenismo – favorito, a suo dire, dalla potente famiglia degli Scipioni - origine e causa di ogni vizio e corruzione.

Numerosissime furono le realizzazioni idrauliche dei Greci, che i Romani conobbero, poterono vedere ed utilizzare direttamente. Opere certo nate non da idee originali ma dalla conoscenza di simili manufatti realizzati dai Babilonesi, dai Fenici, dagli Egizi, dai Micenei: popoli i cui territori erano méta degli intensi scambi commerciali dei Greci attraverso il Mediterraneo orientale. Ciò che i Greci realizzarono nelle opere idrauliche, infatti, appare più come una prosecuzione di esperienze di popoli precedenti che non un'applicazione pratica delle conquiste teoriche dei propri scienziati e filosofi.

Per tracciare, nella Storia dell'Idraulica, l'esperienza di Roma si deve quindi partire dall'esperienza pratica dei Greci, un poco tralasciata nel precedente Capitolo 2 perché, nell'ambito del nostro interesse, assai meno rilevante.

Sebbene non manchino notizie di grandi realizzazioni idrauliche, certamente degne di nota nella storia della civiltà di Roma, il contributo originale dei costruttori romani fu senza dubbio nella realizzazione dei sistemi di approvvigionamento delle acque per le città, importante dal punto di vista realizzativo e tecnologico, quantunque scevro di sviluppi nella teorica comprensione di alcun principio di Idraulica.

In Grecia, nell'età Arcaica (VIII – VI secolo a. C.), gradualmente compaiono numerosi esempi di strutture destinate alla raccolta delle acque sorgenti, al trasporto ed alla distribuzione pubblica.

Ogni sorgente, prima fonte di approvvigionamento, non era costituita da un unico punto di emersione delle acque, bensì un'area, più o meno estesa, dove le formazioni geologiche consentivano alle acque sotterranee di emérgere in superficie oppure di essere intercettate a non grande profondità.

Ecco allora la necessità di individuare, in una data area, tutti i punti di flusso naturale, concentrarne la portata in un'unico bacino di raccolta per poi distribuirla o, sempre più frequentemente, trasportarla alle città. Si sviluppò quindi la tecnica del drenaggio delle acque di falda, con canali, gallerie e vasche, anche sotterranee, realizzando complessi sistemi di raccolta che i Greci indicavano con il termine *krenai*. Le gallerie potevano addentrarsi nella roccia acquifera per molte decine di metri; la loro inclinazione verso il punto di raccolta permetteva un flusso continuo.

Le prime sorgenti si trovarono in prossimità dei centri abitati; forse questi stessi vi sorsero accanto.

Con l'aumentare delle dimensioni della popolazione urbana, fu necessario cercare altre sorgenti, più lontane.

Al punto di raccolta delle *krenai* si collegava la condotta destinata a trasportare le acque, mosse dalla gravità grazie al fondo della condotta costantemente inclinato.

Nacquero così i primi acquedotti greci, di lunghezza via via crescente sino a raggiungere decine di chilometri, secondo percorsi che dovettero superare ostacoli fisici: montagne e vallate.

La necessità di mantenere una costante inclinazione non consentiva di allungare i percorsi per aggirare gli ostacoli ed appare essere più frequente, in Grecia, la ricerca di percorsi che privilegiavano lo scavo di gallerie piuttosto che la costruzione di ponti-acquedotto. Probabilmente in questa predilezione vi è l'influsso dell'esperienza, pratica e costruttiva, delle *qanāt* dell'Asia occidentale o delle *foggara* nell'Africa mediterranea - delle quali abbiamo parlato nel precedente Capitolo 3 - territori che i Greci ben conoscevano. Le realizzazioni furono notevoli già in tarda età arcaica.

Gli acquedotti greci potevano avere anche tratti di condotte in pressione, quindi in grado di servire zone urbane poste a quote maggiori del punto di arrivo della condotta. L'esempio più antico che si conosca è l'acquedotto della città di Olinto, nella penisola Calcidica, realizzato su progetto di Eròne di Alessandria. La quota della sorgente, la lunghezza del percorso e la parte alta della città, isolata su un'altura, costrinsero Eròne a realizzare una condotta in pressione, con tubature in cotto, che doveva resistere ad una pressione di dieci metri di colonna d'acqua.

Da allora, seppur per brevi tratte e modeste pressioni, si realizzarono altri acquedotti con funzionamento di loro parti con tubazioni in pressione.

Tutte le grandi città greche furono dotate di acquedotto, a volte anche più di uno: Atene, Siracusa, Agrigento, Corinto, Megara, Egina, Olinto

Raggiunto il centro urbano, l'acquedotto assolveva alla sua funzione di distribuzione attraverso punti di distribuzione pubblica: le *krene*; fonti di distribuzione, anche a zampilli multipli, spesso caratterizzate da complesse e monumentali strutture; luoghi non solo di attingimento delle acque ma anche di culto e di contatto sociale.

Gli acquedotti, quindi, svolgevano la sola funzione di distribuzione pubblica dell'acqua, senza raggiungere le singole residenze, come avvenne poi nelle città romane, sebbene con una precisa gerarchia che tutelava, comunque, la priorità dell'uso collettivo.

In Grecia le abitazioni private continuarono ad approvvigionarsi di acqua in modo autonomo, ricorrendone la possibilità, attraverso pozzi o cisterne; alcune di queste ultime raggiunsero dimensioni ed architetture straordinarie.

Assieme a tante altre realtà culturali ed organizzative della Grecia antica, questo efficace sistema di approvvigionamento dell'acqua, così diversificato, si presentò alla nascente civiltà romana che alla conquista di nuove terre faceva immediatamente seguire la fase di colonizzazione, realizzando infrastrutture e città secondo la propria organizzazione sociale e politica.

Servizio essenziale di tale organizzazione territoriale era la comunicazione: strade e rotte marine, queste ultime rese sicure dalle flotte di agili e veloci galee da guerra. Nella costante comunicazione tra i diversi territori troviamo anche la ragione di una notevole omogeneità della cultura romana, che tendeva a realizzare, in ogni città ovunque essa fosse, modelli e strutture analoghi, per non dire identici. Non solo l'organizzazione degli spazi urbani o degli edifici pubblici, ma anche i servizi formavano lo stile di vita romano, in ogni parte dell'impero; tra i servizi più importanti non poteva non esserci l'approvvigionamento dell'acqua e lo smaltimento dei conseguenti liquami.

Poiché le nuove città romane erano edificate in luoghi strategici dal punto di vista militare e di controllo delle vie o rotte di comunicazione e dei traffici commerciali, non sempre si poteva conciliare la posizione ideale con un'altrettanto adeguata dotazione di acqua dolce.

I Romani, quindi, per ogni nuovo insediamento, del quale dovevano poi 'seguire' la crescita a volte neppure inizialmente prevedibile, impararono a risolvere il problema attingendo le acque ove esse erano disponibili, anche se a notevoli distanze dalla città, non trovando ostacolo alla realizzazione di acquedotti grandiosi lunghi molte decine di chilometri. L'acquedotto di Corinto, costruito sotto l'imperatore Adriano, misura centotrentadue chilometri, nonostante la sorgente, presso Stinfalo sui monti dell'Arcadia, distasse in linea retta 'soltanto' cinquantasei chilometri dalla città. Il suo percorso è dovuto alla propensione dei Romani, all'opposto dei greci, ad evitare, ove possibile, i percorsi in galleria preferendo gli scavi in superficie e gli acquedotti su arcate.



Ovviamente le più magnificenti opere di adduzione dell'acqua hanno trovato collocazione nella 'città eterna': Roma.

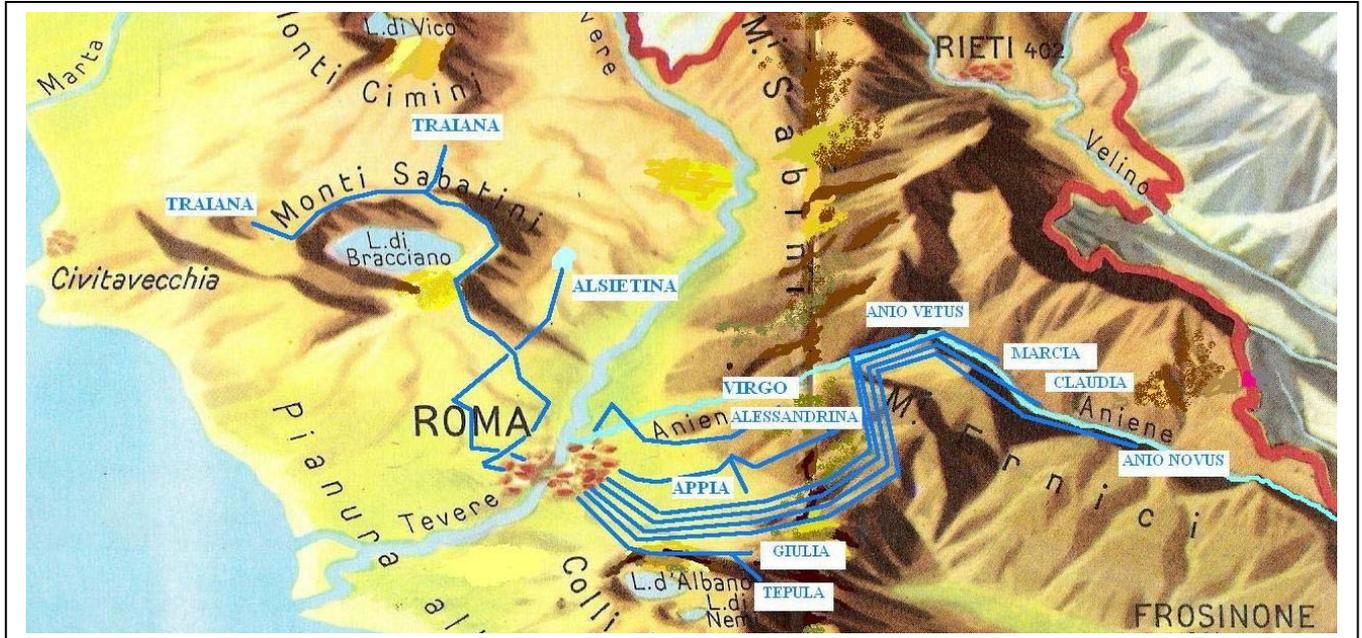
Lo storico e geògrafo greco Strabone (Amasia, Ponto ca 64 a.C. – 20 d.C.), nell'unica opera di lui rimasta "*Geografia*", osservò:

"La quantità di acqua che viene condotta nella città è talmente grande che attraverso la città e nei canali sotterranei scorrono veri e propri fiumi e quasi ogni casa ha condutture e serbatoi propri e possiede fontane che zampillano in abbondanza."

Quando Strabone scriveva questo testo, Roma era servita da sette acquedotti, saliti a nove alla fine del primo secolo dopo Cristo, sino a giungere ad undici, con l'ultimo, terminato nel 226, quando la rete complessiva dei soli acquedotti principali misurava oltre cinquecento chilometri.

La portata d'acqua poteva superare, nella stagione più favorevole, i cinquecentomila metri cubi al giorno, poco meno di sei metri cubi al secondo. Poiché la popolazione della capitale imperiale giunse a superare il milione di abitanti, il sistema acquedottistico garantiva una dotazione, per ogni abitante, pari a cinquecento litri al giorno, che è il consumo medio *pro capite* delle più moderne civiltà di oggi, sebbene questo aspetto non sia per nulla un sintomo di modernità!

Dobbiamo però osservare che il flusso era continuo, giorno e notte, quindi gran parte dell'acqua 'passava in città' senza essere utilizzata, confluendo nei canali di scarico. Questo apparente ma inevitabile consumo assicurava, per contro, una continua pulizia di tubazioni, canali e fognature, forse il vero motivo di sicurezza di fronte alle epidemie che una così grande popolazione, raccolta in un'unica città, poteva subire in quei tempi.



Si conosce la data precisa nella quale Roma iniziò ad approvvigionarsi di acqua con il mezzo dell'acquedotto: Frontino, sovrintendente alle acque di Roma, che tra poco incontreremo, scriveva:

“441 anni dopo la fondazione della città i Romani si accontentavano di usare l'acqua che attingevano dal Tevere, da fonti o sorgenti”

Infatti è nel 312 a.C., per volontà del censore Appio Claudio Ceco, che venne realizzato il primo acquedotto della città *caput mundi*, l'*Aqua Appia*, completamente interrato; la sua vena di alimentazione fu individuata da un certo *Caio Plautio*, di professione *putearius* – cioè costruttore di pozzi; la scoperta gli valse l'appellativo di *venox*, il cacciatore di vene (. . . acquifere).

Il primo acquedotto che, a Roma, sfruttò la tecnica di scavalcare le valli con ponti ad arcate è l'*Anius Vetus*, (272 a.C.), alimentato dalle acque del fiume Aniene.

Nel 140 a.C. entra in servizio l'*Aqua Marcia*, condotta di oltre 90 chilometri voluta dal Pretore Quinto Marcio; l'*Aqua Iulia* nel 33 a.C.; l'*Aqua Claudia*, dell'omonimo imperatore, nel 52 d.C., per citare i maggiori.

Già in età repubblicana il sistema acquedottistico della città eterna aveva assunto proporzioni spettacolari. Nel 33 a.C., l'Edile Menenio Agrippa fece costruire l'acquedotto *Aqua Virgo* e “ . . . fece costruire settecento bacini [lacus], oltre a cinquecento fontane [salientes] e a centotrenta serbatoi [castella] e parecchie di queste opere furono molto lussuose. Su questi impianti eresse trecento statue di bronzo e di marmo e quattrocento colonne marmoree; tutto quanto in un solo anno.” (Plinio, *Naturalis Historia*, XXXVI – 121).

I tanti acquedotti realizzati in ogni parte dell'impero romano, alcuni parzialmente in esercizio ancor oggi, sarebbero tutti degni di essere citati per molti motivi: la magnificenza dei tratti a ponte-canale ad arcate sovrapposte; la lunghezza e complessità esecutiva; la precisione dei livelli;

.....

Qui citiamo soltanto, per alcune interessanti particolarità, l'acquedotto di *Saldæ*, in Numidia, realizzato, nel II secolo d.C. su progetto del *librator* (oggi diremmo ingegnere idraulico) Nonio Dato, in forza alla terza legione 'Augusta', acuartierata a *Gemellæ*, città fortificata nel deserto sahariano dell'*Africa Proconsularis*. È raro poter attribuire con certezza un acquedotto al suo progettista; quello di *Saldæ* è 'firmato'! Si può infatti ancor oggi vedere, in una nicchia all'inizio della condotta, l'iscrizione che cita l'autore dell'opera, Nonio Dato, sormontata da una piccola scultura raffigurante l'immagine di tre teste di donna a rappresentare le tre virtù che debbono accompagnare il tecnico idraulico:

PATIENTIA – VIRTUS – SPES

da tradursi in: costanza, abilità e fiducia.

Costretto ad attraversare un monte, Nonio Dato progettò una galleria lunga 482 metri, lasciando ai costruttori le istruzioni per eseguirne lo scavo partendo dagli opposti lati della montagna.

Eseguito il tracciato, il *librator* lasciò *Saldæ* per tornare al quartier generale della legione, a *Gemellæ*.

Ben dieci anni più tardi (156 d.C.), il Procuratore della Mauritania, Vario Clemente, lo richiamò: le due squadre di scavatori avevano sbagliato le traiettorie e le gallerie, iniziate dai due estremi, si erano spinte nella montagna superandone la mezzerrima senza incontrarsi.

Questo episodio ci permette due considerazioni: la prima sugli ancora primitivi mezzi di scavo che comportavano tempi lunghissimi per la realizzazione di opere che oggi ammiriamo senza poterne valutare appieno il costo in fatto di tempo, di enormi fatiche, di sofferenze e . . . certo anche di perdite di vite umane; la seconda: è evidente come l'esperienza pratica avesse il sopravvento anche nella progettazione, allora priva di un linguaggio tecnico universale ed univoco, tant'è che il solo autore dello studio era in grado di trarre dall'impiccio coloro che avessero imboccato una strada errata (nel caso citato il modo di dire è quantomai azzeccato!) nell'interpretazione dei documenti che egli stesso aveva lasciato e, è ragionevole presumere, quantomeno illustrato ai tecnici locali.

L'approvvigionamento d'acqua non si esauriva, come per quasi tutte le condotte greche, con l'arrivo dell'acquedotto in città. Soprattutto nel periodo imperiale, si sviluppò un diffuso sistema di tubazioni, generalmente in piombo, correnti sotto il piano stradale, ad alimentare le fontane pubbliche, i bagni e le terme pubbliche, le case patrizie.

La distribuzione avveniva attraverso torri idrauliche a vasche sfalsate (i *castella*) in grado di garantire, come vedremo più avanti, una prefissata gerarchia tra le differenti tipologie di utenza. Un parallelo e conseguente sistema di raccolta delle acque usate, la rete delle fognature, garantiva una buona tutela sanitaria. Al massimo sviluppo dell'impero, tutte le maggiori città disponevano di un sistema di approvvigionamento di acqua e di evacuazione dei liquami, ai quali si affiancava un ottimo servizio di manutenzione.

Per disporre di notizie dettagliate del livello di conoscenza dei Romani in Idraulica e quale sia stato il loro contributo originale ci si deve rivolgere ai lavori dei soli due ingegneri romani che scrissero diffusamente su tale argomento: Vitruvio e Frontino.

Il primo fu Marco Vitruvio Pollione, del quale sappiamo poco se non che visse durante l'epoca di Giulio Cesare e Ottaviano Augusto - quindi tra il primo secolo prima di Cristo ed il primo dopo Cristo - e che fu attivo nella costruzione e riparazione di macchine da guerra e di fortificazioni; ebbe anche un ruolo importante nella riedificazione di Roma sotto Ottaviano che si vantò, in questo, d'aver trovato una città di mattoni ed averne lasciata una di marmo. Nel trattato, di

dieci libri, “*De Architectura*”, dedicato a questo imperatore, Vitruvio non lo cita con il nome ufficiale di Augusto, che egli acquisì nell'anno 27 dopo Cristo, e questo ci fa concludere che il trattato fu redatto prima di quella data.

Vitruvio indagò ogni aspetto dell'ingegneria e dell'architettura romane: opere civili e militari; nel volume ottavo, affronta il tema delle fonti e della distribuzione dell'acqua, con numerose descrizioni ed indicazioni sulla localizzazione delle sorgenti, sullo scavo dei pozzi e sui differenti tipi e sapori dell'acqua.

Nell'ultima parte Vitruvio tratta degli acquedotti, delle tubazioni in piombo ed in terracotta, delle giunzioni dei tubi, degli ancoraggi delle curve, degli accorgimenti per far depositare le impurità, della gerarchia nella distribuzione, degli orologi ad acqua, degli organi ad acqua, delle pompe aspiranti e prementi, delle ruote idrauliche e dell'idrostatica.

La sua fu una crònaca delle cose realizzate, unita a raccomandazioni tecniche desunte dall'esperienza degli stessi realizzatori; nulla vi si trova in tema di sperimentazione e ricerca teorica:

“Quando si fa scorrere dell'acqua nelle tubature, si genera inizialmente una forte pressione dell'aria in grado addirittura di spaccare le pietre; è quindi opportuno che l'acqua della sorgente sia immessa gradualmente e senza impeto e che si abbia l'accortezza di fissare saldamente al suolo e di zavorrare i gomiti e le curvature. . . . Prima di introdurre per la prima volta l'acqua nelle tubature è anche bene introdurre una quantità di cenere sufficiente ad otturare eventuali fessure rimaste. . . . E' consigliabile inserire dei serbatoi [castella] ogni duecento acri [780 metri circa] in modo che in caso di guasti non venga compromesso l'intero acquedotto e si potranno facilmente individuare le rotture. I bacini, però, non devono esser costruiti né lungo i pendii, né in corrispondenza dei ventri, né in salita, se soprattutto a fondovalle, ma soltanto in zone pianeggianti.” (Vitruvio - Libro VIII , 6 – 8).

Sesto Giulio Frontino (40 – 103 d. C.) iniziò la carriera, come molti tecnici romani, come ingegnere militare, prendendo parte a molte campagne. Il suo interesse, lasciato l'esercito, si rivolse all'amministrazione politica: ottenne l'incarico di Pretore e poi di Governatore della Britannia.

Nel 97, sotto l'imperatore Nerva, ottenne la nomina di *Curator aquarum* per la città di Roma, che potremmo oggi tradurre con ‘Sovrintendente al servizio idrico urbano’; per svolgere questa funzione egli ideò una Magistratura delle acque, gestendola con il denaro pubblico ricavato dalle tariffe dell'acquedotto.

Il grande mérito che riconosciamo a Frontino è di aver condotto uno studio accurato del sistema acquedottistico della capitale imperiale, contenuto nella sua opera più famosa “*De aquis Urbis Romae*”. E' la migliore testimonianza dello stato dell'Idraulica applicata in quei tempi; in esso è contenuta la completa descrizione delle tecniche e dei métodos romani nella distribuzione dell'acqua, dei quali egli dimostra grande orgoglio giungendo a scrivere:

“Nessuno comprenderà le inutili piramidi . . . né gli inutili pensieri o le opere famose dei Greci, in confronto a questi acquedotti, a queste indispensabili strutture”.

In queste affermazioni, l'eccesso di fierezza del *civis romanus* può essere visto come un'azione di omaggio al potere che gli aveva affidato tale prestigioso incarico, non certo nel rifiuto di civiltà passate che erano famose per saper gestire le acque in modo assai efficiente al tempo in cui Roma era un rozzo villaggio di capanne.

Dalle testimonianze di Vitruvio e di Frontino possiamo trarre interessanti informazioni.

La fonte di alimentazione di ogni acquedotto era abitualmente una sorgente, qualche volta le acque di un lago o di un corso d'acqua. Per i primi acquedotti, di ridotta lunghezza, l'alimentazione poteva avvenire anche a mezzo di pozzi; l'acqua, sollevata attraverso diversi metodi (di solito con un elevatore a secchi) poteva essere abbondante e di ottima qualità, ma la portata comunque assai inferiore a quella derivata da una fonte costante.

Come già si faceva in Grecia, spesso più sorgenti erano unite da gallerie drenanti che ne captavano e concentravano la massima portata traibile della zona acquifera.

Sia che l'alimentazione avvenisse da sorgenti, singole o raccolte in gruppi attraverso i drenaggi, sia che l'acqua fosse captata direttamente da fiumi o laghi, prima dell'imbocco della condotta principale l'acqua passava attraverso un serbatoio con funzione di sedimentazione delle sabbie e dei limi in essa contenuti: la *piscina limaria*.

La condotta per il trasporto a destinazione, cioè la parte della struttura dove scorreva l'acqua, era un canale, in muratura o scavato in roccia, rivestito da diversi strati di intonaco impermeabilizzante e accuratamente lisciato per facilitare lo scorrere dell'acqua (in questo intuendo l'importanza della resistenza al moto dovuta all'attrito con le pareti del condotto). L'intonaco era in *opus caementicium* (miscela di schegge di pietra e malta di calce) oppure in *opus signinum* (sabbia e calce). I canali erano coperti per impedire che l'acqua fosse contaminata da polvere, sporco ed altre impurità e perché il sole non la scaldasse né si formasse vegetazione acquatica, ostacolo intollerabile allo scorrere dell'acqua. C'erano passaggi di ventilazione e di ispezione, approssimativamente ogni 80 / 100 metri. A volte gli acquedotti erano costituiti da due o tre canali sovrapposti, il più alto dei quali destinato nel tempo a seguire l'aumento della richiesta. La sezione del condotto era normalmente rettangolare, dalle dimensioni tra i 0,5 e 1,8 metri in larghezza e dai 1,5 ai 2,4 metri in altezza. Ovviamente, ragioni strutturali piuttosto che requisiti idraulici determinavano le proporzioni delle sezioni.

Con la conoscenza di tali particolari, meglio si comprende il livello di conoscenza dei Romani in Idraulica, soprattutto applicata. Non è ozioso affermare che gli ingegneri romani conoscevano – come i loro predecessori egizi e greci – la proporzionalità tra quantità d'acqua che scorre e pendenza del canale che la trasporta; da ciò ne consegue che la costruzione di un acquedotto doveva partire 'dalla sua fine', cioè dall'altitudine della zona che si voleva servire. Per tale motivo, fissata la quota di arrivo del condotto, si doveva procedere a ritroso giungendo ad individuare un punto di captazione a quota tanto elevata da consentire la pendenza necessaria, a volte allontanandosi dalla città di decine se non centinaia di chilometri.

Frontino scrisse: *“I molti acquedotti che raggiungono la città hanno quote differenti. Da come ognuno di essi giunge, distribuisce acqua . . . ma non può servire zone a quote superiori a quelle raggiunte al suo arrivo.”*

Tuttavia, le pendenze degli acquedotti sembrano essere state fissate più da esigenze topografiche che idrauliche; l'*Aqua Virgo* ha il primato del valore minimo, in alcuni tratti, dello 0,0025%; in alcuni tratti urbani si giunge a massimi dell'ordine di qualche punto percentuale.

Vitruvio scrive di aver personalmente verificato pendenze da sette a quindici centimetri ogni trecento metri, paventando, per valori minori, una non costante alimentazione. La pendenza non era sempre la stessa lungo il percorso e numerose sono le tracce di correzioni portate durante o dopo la costruzione dell'acquedotto. Clementi Herschel, che realizzò un approfondito studio sugli acquedotti romani in connessione con la sua traduzione dell'opera di Frontino, giunse a questa conclusione: *“ mi chiedo se a Roma ‘mensor’ o ‘librator’ o ‘architecton’ avessero la conoscenza della scelta della sezione giustificata dalla pendenza . . . E' infatti probabile che, realizzato un tratto di acquedotto e verificato l'insufficiente fluire dell'acqua rispetto alle esigenze, si procedesse a stringere la sezione oppure ad incrementarne la pendenza . . . ”*

L'acquedotto, sia a pelo libero che, in alcune parti, in pressione, portava l'acqua in città, giungendo a numerosi punti di distribuzione, detti *castella*; da questi, tubazioni separate conducevano a reti di distribuzione per i diversi usi consentiti.

Vitruvio scrisse su tale argomento: “. . . tre tubazioni, di ugual misura, sono collegate, nel castello, a tre serbatoi; quando l'acqua è abbondante, l'esubero nei due contenitori esterni alimenta il contenitore centrale il primo contenitore è destinato alle fontane; il secondo contenitore porta acqua ai bagni del servizio pubblico; le case private vengono approvvigionate attraverso i contenitori della terza serie, che hanno acqua soltanto quando sono soddisfatti i due usi precedenti. La ragione per la quale ho operato questa divisione è che quelli che usufruiscono di un servizio privato all'interno delle loro case devono contribuire con una parte dell'acqua a mantenere gli [altri usi].”.

Per la distribuzione all'interno della città, ed occasionalmente su tratte degli stessi acquedotti, furono utilizzate condotte in pressione. Erano realizzate in materiali diversi, in funzione delle pressioni che dovevano sopportare. L'uso della terracotta era già frequente nella civiltà minoica (VI secolo a.C.) con produzione di pezzi con un sorprendente grado di standardizzazione. La giunzione 'maschio/femmina' a bicchiere comportava un notevole restringimento del diametro che, associato a lunghezze di ciascun pezzo mai superiori al metro, davano una scarsa efficienza del flusso, cioè una notevole riduzione della velocità e quindi della quantità d'acqua lungo il percorso. Vitruvio, però, ne riferisce la facilità di riparazione e la maggior salubrità (pensiamo al solo apprezzamento organolettico: il cotto non 'insaporiva' come il piombo o il rame).

L'utilizzo del piombo, episodico sino al tempo della civiltà greca, si sviluppò assai nell'impero romano. Tra i principali vantaggi vi era la facilità della produzione e dell'unione: i *plumbarii*, addetti alla produzione ed alla posa delle tubazioni, piegavano a freddo le lastre rettangolari sino a congiungerne i lembi più lunghi, ribattendoli per poi saldarli con piombo fuso che, unito allo stagno, era utilizzato anche per eseguire l'unione dei tubi, accostati senza restringimenti (unione 'testa a testa'). Moderne ricostruzioni hanno consentito di verificare la capacità di queste tubazioni di sopportare più di dieci atmosfere di carico idraulico, subendo la rottura intorno alle diciotto atmosfere per cedimento della parete, non della saldatura.



Più raramente, per i tubi della distribuzione urbana in pressione si utilizzava il rame o il bronzo: quest'ultimo, sebbene assai costoso, era preferito per la sua alta indeformabilità e resistenza ad eventuali forature ad opera di coloro che estraevano l'acqua abusivamente.

In qual modo i Romani ritennero di comprendere alcuni basilari principi di Idraulica si può dedurre dallo stesso Frontino:

“Non dimentichiamoci che ogni corrente d'acqua, ogniquale volta viene da un punto più alto e fluisce in un serbatoio finale attraverso una tubazione di piccola lunghezza, non solo giunge alla sua altezza, ma concede di più, un eccesso; ma ogni volta che viene da un punto basso, cioè sotto poca pressione, ed è condotta per una apprezzabile distanza, si ridurrà nella

misura della resistenza del suo condotto, così che è necessario un controllo della perdita di carico.”

Da questa osservazione Frontino non elaborò alcuna teoria né condusse prove o misurazioni; possiamo concludere, da questo unica testimonianza da considerarsi comunque emblematica, che i Romani si accorsero di molti fenomeni idraulici senza approfondirli, senza fermarsi ad indagare, quasi travolti dalla frenesia del costruire: il loro sapere restò, pertanto, allo stadio della pratica esperienza in grado di soddisfare le esigenze della società di quel tempo.

Abbiamo detto che l'acquedotto, giunto in città, terminava in un *castellum*, o in più *castella* alla fine di ogni diramazione principale.

Dalla descrizione nel *'De Architectura'* di Vitruvio, sappiamo che ogni *castellum* assolveva la funzione di 'torre di distribuzione', attraverso vasche concentriche o 'a cascata': dalla prima vasca si dipartivano le tubazioni destinate alle fontane ed alle piscine pubbliche; la seconda collegava i teatri e le terme; la terza le case e le fontane private.

Quando l'acqua era scarsa, non potendosi assicurare tutte le utenze, era la terza vasca che, per prima, vedeva ridursi la portata, in modo automatico, poiché si riduceva l'acqua che usciva, per tracimazione, dalla precedente seconda vasca nel *castellum*. Se il flusso si riduceva ancor più, era la seconda vasca che cessava d'essere alimentata dall'acqua, perché la prima non scaricava più nulla.

Ecco quindi la gerarchia nell'alimentazione urbana: fontane pubbliche e piscine, bagni pubblici (terme) e teatri, case private – agli ultimi due gruppi di utenze era imposta una tariffa.

La tecnologia permetteva di disporre di efficienti valvole di intercettazione e di rubinetti, generalmente in bronzo o in lega di piombo, la cui malleabilità riduceva le perdite.

Poiché però il flusso era continuo, la corrente nelle tubazioni principali correva altrettanto costantemente. Ogni consumatore, soggetto alla tariffa, non pagava in proporzione all'acqua che consumava, ma un importo fisso in base al diametro della tubazione di allacciamento, che era considerato significativo per la valutazione della quantità (la portata) delle acque erogate.

Frontino, forse più entusiasta che pedante nello svolgimento del compito di *Curator aquarum*, volle effettuare i controlli tra le portate giunte in città e quelle effettivamente distribuite, allo scopo di individuare perdite e ruberie, queste ultime attribuibili, leggiamo nel trattato, a cittadini forestieri, non certo *cives romani!*

Al fine di garantire che le quantità di acqua distribuite ad ogni utente allacciato all'acquedotto fosse sempre la stessa, Frontino impose l'inserimento di un tratto di tubo in ottone, difficilmente deformabile, detto *fistula*, lungo venticinque centimetri ed inserito all'inizio di ogni tubazione di derivazione: a pari diametro, questo è il ragionamento, fluirà pari portata (Soltanto pochi decenni prima Erone – lo abbiamo ricordato nel Capitolo 2 – aveva dimostrato che la portata è determinata non solo dalla sezione ma anche dalla velocità dell'acqua che in essa scorre, quindi, nel caso della tubazione in pressione, anche dal valore raggiunto dalla stessa pressione all'imbocco di ogni *fistula*).

Con tale errata impostazione, non stupisce l'uso dell'unità di misura della portata detta *quinaria*, che era riferita, secondo tutte le possibili interpretazioni degli storici, all'area della sezione di passaggio, senza alcuna partecipazione della velocità del flusso o della pressione dell'acqua in quel punto.

Secondo la tesi più probabile, il termine *quinaria* è da riferirsi alla tubazione con un diametro interno di 5/4 di pollice, pari a circa 2,3 centimetri. Questa tesi è coerente con le altre misure in uso a quei tempi che differivano dalla *quinaria* perché di diametro maggiore per multipli di 1/4 di pollice: *senaria* – 1/6, *settenaria* – 7/4, e così via sino alla *ventenaria* – 20/4 di pollice.

La *quinaria* prevalse quale unità di misura; gli orifizi e le tubazioni erano quindi misurati per multipli di *quinaria*, che corrispondeva ad un'area unitaria pari a circa 4,2 centimetri quadrati. La progressione era per quarti, ecco quindi misure espresse in: 'una *quinaria* ed un

quarto', 'tre *quinariae* e tre quarti', ecc . . . Così almeno deduciamo dai calcoli di Frontino che indica il calibro degli acquedotti romani dividendo le sezioni del flusso per la superficie di una *quinaria*: sappiamo così, dal suo trattato "*De aquis Urbis Romae*", quante *quinariae* misuravano i principali acquedotti di Roma: l'*Anio Vetus* – 2362 *quinariae*, il *Virgo* – 2504, l'*Aqua Marcia* – 2944, l'*Aqua Julia* - 1206, l'*Aqua Claudia* - 3312

A causa della grande differenza tra i diametri delle tubazioni principali e delle *fistulae* ad essi collegate, ed anche per le pressioni modeste degli acquedotti e quindi limitate velocità del flusso, l'utilizzo di questa unità di misura, esclusivamente geometrica perché riferita al solo diametro o alla sezione di passaggio, per quanto errata dal punto di vista concettuale non fu completamente irragionevole e quindi suscettibile di dare quantomeno risposte sull'ordine di grandezza delle diverse portate transitanti. Non solo: si poteva affermare, con buona approssimazione, che la quantità di acqua erogata, a parità di numero di *fistulae*, era equivalente per ogni utente. Non era grande l'errore del considerare che tubazioni di area corrispondente a due *quinariae* potevano erogare il doppio di acqua di un tubo che misurava una *quinaria*.

Per le applicazioni pratiche dei tecnici romani di allora, come abbiamo già detto, ciò bastava.

Utilizzare questa unità di misura per condurre il bilancio tra acqua entrata nell'acquedotto, alla sua origine, ed acqua distribuita a tutte le utenze allacciate portava però a pesanti approssimazioni.

Di questo si accorse Frontino, perché volle proprio condurre un bilancio tra entrate ed uscite dalla rete degli acquedotti di Roma, per contrastare, almeno nelle intenzioni, le numerose utenze abusive; ecco cosa scrive dell'acquedotto *Aqua Virgo*:

*La misura potrebbe non essere fatta alla presa, perché Virgo è costituita da numerosi tributari ed entra nel suo canale [principale] con una velocità troppo bassa. Vicino alla città, tuttavia, alla pietra del settimo miglio, sui terreni che appartengono a Cajonis Commodus, e dove Virgo ha una grande velocità, feci la misura [dell'area di passaggio del flusso] ed essa ammonta a 2504 *quinariae* essendo 1752 *quinariae* in più rispetto a quanto scritto nei registri. Ma la prova della correttezza della nostra misura è evidente: le distribuzioni [complessive] dell' *Aqua Virgo* sono pari a tutte le *quinariae* che trovai al punto di misura: 2504.*

Secondo Frontino, che non aveva a disposizione che l'unità di misura *quinaria*, confrontare la somma delle aree di tutte le tubazioni, alimentate dall' *Aqua Virgo*, con l'area trasversale della sezione della corrente dell'acquedotto al '*settimo miglio*', corrispondeva alla misura effettiva dell'acqua entrante ed erogata.

Ancor più chiaro l'errore parlando dell'*Aqua Appia*:

*"L' *Aqua Appia* è accreditato nei registri di 841 *quinariae*. L'acquedotto non può essere misurato alla presa perché colà è formato da due canali, ma alle Torri, dove sottopassa lo *Spes Vetus* ed incontra il braccio di *Augusta*, io trovai una profondità di acqua di cinque piedi e una profondità di un piede e 3/4 per un'area di 8 e 3/4 piedi quadrati; i tubi alimentati assommano a 1825 *quinariae*, cioè ben 984 in più di quelle dei registri,"*

L'incomprimibilità dell'acqua, ovviamente, comporta il fatto che tutta l'acqua che entra in un sistema sia pari a quella che dallo stesso se ne esce, ma ogni singola uscita non estrae la stessa quantità di acqua, a pari sezione, eppertanto non è possibile – senza tener conto della velocità – valutare la presenza di perdite, di allacciamenti abusivi, né considerare la distribuzione assolutamente equanime.

A dispetto dei grandi progressi dei Romani nell'arte della distribuzione dell'acqua si può concludere, dall'evidenza, che essi non indagarono i principi dell'Idraulica, ignorando addirittura le scoperte fatte dai più prossimi ed esemplari vicini Greci.

Ma in realtà la cultura idraulica greca fu un'avanguardia di pochi, nella marcia del progresso scientifico, che non riverberò né sulla propria civiltà né su quella che poi, seguendo, li superò nelle realizzazioni ma non nel progresso della conoscenza dei principi.

Il pensiero greco fu cioè una 'fuga in avanti', che si arrestò nella civiltà romana impegnata nella costruzione dell'impero, fatto di opere colossali ma realizzate secondo il livello culturale già raggiunto e, evidentemente, in quel tempo sufficiente.

Se nel campo della scienza Idraulica ed in quelle ad essa strettamente correlate (soprattutto la Geometria, la Matematica e la Fisica) Roma appare 'statica', altrettanto non fu in molti campi: l'Architettura; la Scultura; la Letteratura; . . . il Diritto.

Ancòr oggi, il *Diritto Romano* costituisce il presupposto ed il riferimento del quadro normativo di quasi tutti i paesi del mondo.

Nel *corpus* dei principî romani troviamo una prima codifica sistematica del '*Diritto delle acque*', che pare aver poco o nulla a che fare con la scienza Idraulica, ma che alla stessa è strettamente collegata. Ogni azione o struttura, che le conoscenze idrauliche permettono di concepire, ha necessariamente bisogno di una codifica normativa che ne consenta la realizzazione e l'esercizio.

Molti concetti propri delle leggi odierne risalgono a Roma: la classificazione delle acque in pubbliche e private; i beni patrimoniali dello Stato e quelli destinati ad *usus publicus*, cioè disponibili a tutti i cittadini; il diritto all'uso delle acque private e la servitù di acquedotto; la demanialità delle acque sorgenti se destinate ad alimentare l'acquedotto pubblico; la concessione alla derivazione (*ductio*) delle acque dai fiumi pubblici, subordinata agli usi di generale utilità come, ad esempio, la navigabilità: "*si flumen navigabile sit, non oportere praetorem concedere ductionem ex eo fieri quae flumen minus navigabile efficiat*", oppure: "*ne derivationibus minus flumina exarescant*", prima formulazione di Deflusso Minimo Vitale!

Non mancano norme che regolavano i diritti ed i doveri di chi possedeva le terre prossime all'acqua pubblica (*circumlentes*).

Per vigilare, dirimere le liti e sanzionare gli abusi esisteva una magistratura specializzata, individuata nella figura dei *Censores*, anche se, nel corso del tempo, si ha testimonianza di interventi condotti da *Edili*, da *Quaestores*, se non addirittura dallo stesso imperatore.

Il primo imperatore, Cesare Ottaviano, nel 10 a.C. istituì uno speciale ufficio per l'amministrazione delle acque pubbliche, la *Statio aquarum*, affidata ad una nuova figura di magistrato: il *Curator aquarum*. Con tale organizzazione si poté, come abbiamo visto nel caso di Frontino, gestire in modo sistematico le acque di Roma e, analogamente, delle altre città dell'impero, e riscuotere, aspetto non certo irrilevante, il tributo degli utenti soggetti a questa tassa.

Il *Diritto Romano*, quindi, ha dato un contributo anche alla cultura dell'acqua, a quei tempi unico fluido oggetto di attenzione, e, a nostro avviso, merita questa breve citazione: il progresso della civiltà avanza soltanto laddove esistano regole certe . . . e le regole certe di Roma danno un po' di certezza anche a quelle di oggi, per quanta certezza queste, ahinoi, possano avere!

I Romani, con Vitruvio e Frontino, ebbero il merito, dal nostro punto di vista, di scrivere 'della tecnologia dell'acqua', lasciandoci il motivo di ricordarne le opere in questa Storia, non solo come progresso della tecnica ma anche per aver raccontato della capacità della mente umana di concepire e realizzare strabilianti progetti.

Nel normale corso dello sviluppo scientifico la scoperta dei principi di base è seguito dalle osservazioni empiriche. Molti principi di Idraulica sembrano invece aver preceduto la pratica ma senza trovare in essa applicazione, ricadendo nell'oblio per secoli e secoli.

Il grande impero romano, spezzato in due tronconi nel V secolo, nella sua parte occidentale seguì una veloce dissoluzione; convenzionalmente essa cessò di esistere nel 476 d.C. quando Odoacre, re barbaro, inviò a Costantinopoli i vessilli dell'ultimo imperatore d'Occidente che ancora si proclamava 'romano'.

Iniziò così, il Medio Evo, epoca convenzionale nella quale è identificato il periodo successivo alla distruzione di un'organizzazione sociale, economica e politica che durava da dodici secoli. Gioco forza, ridare alle comunità un'organizzazione stabile richiese lo scorrere di altri secoli, nei quali da un unico impero nacque l'Europa degli Stati.

Inevitabile riconoscere al Medio Evo il carattere di periodo di transizione, di travaglio, di faticosa e lenta ricostruzione, nel quale l'assenza di organizzazioni sociali in territori ampi portò ad una chiusura culturale e ad un rallentamento della ricerca che per progredire già allora aveva bisogno di comunicazione e contatti.

Mentre 'in Occidente tutto crollava' e doveva essere ricostruito dalle fondamenta, nel deserto arábico si assisteva alla nascita di una civiltà in tutto nuova, alla quale la cultura del mondo, ed in particolare dell'Europa, deve moltissimo: l'Islam.

* * *

L'immagine degli acquedotti di Roma è stata prodotta dall'autore sulla base di una carta fisica tratta da 'CONOSCERE', enciclopedia, edita dalla 'Fratelli Fabbri Editori' nel 1963, che ha accompagnato tante generazioni di studenti italiani che la ricordano compagna fedele ed esauriente della propria giovinezza.