



SCUOLA SUPERIORE PER MEDIATORI LINGUISTICI
(Decreto Ministero dell'Università 31/07/2003)

Via P. S. Mancini, 2 – 00196 - Roma

**TESI DI DIPLOMA
DI
MEDIATORE LINGUISTICO**

(Curriculum Interprete e Traduttore)

Equipollente ai Diplomi di Laurea rilasciati dalle Università al termine dei Corsi afferenti alla classe delle

**LAUREE UNIVERSITARIE
IN
SCIENZE DELLA MEDIAZIONE LINGUISTICA**

L'APPROVVIGIONAMENTO IDRICO DEI ROMANI

RELATORI:
prof.ssa Adriana Bisirri

CORRELATORI
Prof. P.N Farrell
Prof. M.F. Vaneecke
Prof. M. Paparusso

CANDIDATA:

Francesca Isacchi

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

Sommario

DEDICA	1
AUTORIZZAZIONI A TRADURRE	3
SEZIONE ITALIANA	5
INTRODUZIONE	5
<i>Analisi dei testi e revisione della traduzione</i>	6
<i>Roman Aqueducts and Water supply</i>	7
<i>Le pont du Gard. L'eau dans la ville antique</i>	10
<i>L'approvvigionamento idrico dei Romani</i>	13
Gli acquedotti romani e i loro predecessori	13
Gli acquedotti papali e le mostre d'acqua	18
Le Terme	19
Fulloniche e latrine	20
Conclusioni	21
ENGLISH SECTION	22
INTRODUCTION	22
<i>Roman water supply</i>	23
Roman aqueducts and their predecessors	23
Popes' aqueducts and their display fountains	27
The baths	28
Fullonicae and latrines	30
Conclusions	30
TRANSLATION ENGLISH > ITALIAN WITH TEXTS SIDE BY SIDE	32
<i>I PREDECESSORI DI ROMA</i>	35
Gli imperi orientali	35
I greci	49
Gli etruschi	81
<i>USI PARTICOLARI</i>	87
Irrigazione	87
Industria	107
Tempo libero	123
APPENDIX	140
GLOSSARY ENGLISH > ITALIAN	182
SECTION FRANÇAISE	200
INTRODUCTION	200
<i>Approvisionnement en eau des Romains</i>	201
Les aqueducs romains et leurs prédécesseurs	201
Aqueducs des papes et <i>expositions</i> de l'eau	206
Les thermes	207
Fullonicae et latrines	208
Conclusions	209
TRADUCTION FRANÇAIS > ITALIEN AVEC ORIGINAL À CÔTÉ	210
LA COSTRUZIONE DELL'ACQUEDOTTO	213
Il know-how antico e il programma di Nîmes	213
Il costo degli acquedotti	221
Il progetto di Nîmes e il suo contesto	229
Durata dei lavori	237
Tecniche di costruzione	239
Il canale	241

Muri di sostegno e arcate.....	247
Attraversamento delle valli	249
Condotte sotto pressione: i sifoni	253
Attraversamenti sotterranei: i tunnel	257
Il cantiere di Nîmes.....	261
<i>APPENDICE</i>	267
GLOSSAIRE FRANÇAIS > ITALIEN	296
RINGRAZIAMENTI	317
BIBLIOGRAFIA	318
TESTI E RIVISTE SPECIALIZZATE	318
ATLANTI	320
DIZIONARI, GUIDE ED ENCICLOPEDIA	321
SITOGRAFIA	323

DEDICA

Dedico questo traguardo a tutti coloro che mi hanno supportato e appoggiato in questa mia decisione di riprendere gli studi, parenti, amici e professori. A tutti coloro che mi spingono ad andare avanti e a non mollare anche quando sopravvengono i dubbi e avrei voglia di mollare. Un grazie speciale ad Arianna Ghisu che, avendo già percorso prima di me questo cammino verso l'equipollenza del nostro vecchio titolo, ha saputo infondermi tranquillità e fiducia in me stessa, nei momenti in cui ne avevo bisogno, capendo, avendolo vissuto prima di me, che dovevamo essere fiere di aver avuto il coraggio di rimetterci in gioco.

Grazie a tutti per credere in me!

Francesca

Autorizzazioni a tradurre

AUTORIZZAZIONI A TRADURRE

DUCKWORTH

General Publishers established in 1898

Gerald Duckworth and Company Ltd 61 Ffith Street London W1V 5TA

Tel: 0171 434 4242 Fax: 0171 434 4420 E-mail: info@duckworth-publishers.co.uk

Website: www.duckw.com Registered No. 202561

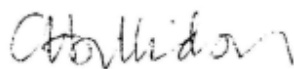
13 September 1999

00 390663 2853

Dear Francesca Isacchi

Thanks for your fax requesting permission to translate some chapters of A.T. Hodge's book ROMAN AQUEDUCTS & WATER SUPPLY into Italian for your academic studies. The permission is granted for the use as you describe it and I can confirm that there is no published edition of the book in the Italian language

Best wishes



Catherine Halliday (rights department).

Autorizzazioni a tradurre

3
pag. 19

201247 - 00100 - 00100
SOCIETA' ITALIANA DI SCIENZE
INTELLIGENTI E LETTERE
LA ORFODIDATTICA 100
ROMA
VIA CONDOTTI 100
TEL. 06/4782853

FRANCESCO
FRANCESCO
FRANCESCO

Roma, le 17 ottobre 1979

Messieurs,

Je suis Francesca Isacchi. Il y a deux semaines, le 21 octobre dans laquelle vous m'avez j'avais l'intention de publier ma thèse.

Je vous prie donc de me répondre dans le plus bref délai

Cela n'a pas été votre réponse je m'approche et j'ai vraiment besoin de votre aide.

La date de ma thèse est le 15 novembre. Sans votre autorisation je ne pourrais pas la publier.

Dans l'attente de votre confirmation je vous envoie le copie de la lettre que je vous ai envoyé avec tous les détails et je vous prie de croire à l'expression de mes sentiments distingués.

CNRS EDITIONS

FRANCESCA ISACCHI

15 - 00100 - ROMA

TEL. 06/4782853 - FAX 06/4782853
RCS PA - S. 1/3/79 - 1/27

chère Madame,

Etant très souvent absente du bureau, je prends la liberté de vous répondre de cette manière. Nous ne pouvons pas vous autoriser à traduire plus de 20/100 pages de l'ouvrage par le pont du Grand, car il s'agit d'un livre qui lève pour lequel nous n'avons que l'autorisation. Je vous remercie de me dire quelles pages vous avez choisies. Sentiments distingués. L'Isacchi

reçu de

000001320 - 16/10/99 10:01 Pa 1/2

introduzione

SEZIONE ITALIANA

INTRODUZIONE

Analisi dei testi e revisione della traduzione

Archeologia, più precisamente acquedotti romani e il loro approvvigionamento idrico, sarà l'argomento centrale di questa tesi.

Per completare questo percorso per l'ottenimento dell'equipollenza del mio vecchio titolo ottenuto nel 2001, proprio presso questa stessa scuola, ho deciso di riprendere, e quindi rivedere e aggiornare, la tesi presentata proprio in quell'anno al termine del percorso triennale. Le traduzioni sono state riviste e l'introduzione aggiornata, ampliata e tradotta anche in inglese e francese.

La tesi consisteva nella traduzione di un testo tecnico, di recente pubblicazione e mai tradotto, dall'inglese e francese verso l'italiano, con annesso glossario bilingue e commento linguistico di entrambi i testi. Il testo tradotto per la sezione inglese sono due capitoli tratti da *"Roman Aqueducts and Water Supply"* di A. Trevor Hodge, Edizioni Duckworth, mentre per la sezione francese è stato tradotto un capitolo tratto da *"Le Pont du Gard, l'eau dans la ville antique"* di Fabre, Fische, Leveau e Paillet.

La scelta dell'argomento è frutto di una passione personale, poi coltivata in ambito scolastico, per tutto ciò che è arte (architettura, scultura e pittura) ma soprattutto per l'arte antica: scoprire di chi siamo figli ma soprattutto conoscere e studiare quell'eredità fantastica che i Romani ci hanno lasciato, dalla quale siamo circondati e che molto spesso ignoriamo.

La tesi sarà quindi suddivisa in tre sezioni: la sezione italiana, che state leggendo, dove parlerò del lavoro svolto di revisione delle due traduzioni e presenterò brevemente l'argomento trattato; una sezione inglese e una francese con all'interno di ognuna l'introduzione all'argomento nella lingua di partenza, la traduzione in italiano con testo a fronte, l'appendice, sempre con testo a fronte, delle foto di cui troverete il richiamo all'interno del testo, seguito dal glossario terminologico con le definizioni in entrambe le lingue, dove la definizione in italiano non è una traduzione dall'inglese ma bensì una definizione tratta da un dizionario o un testo. Al termine troverete la bibliografia con citate tutte le fonti utilizzate per la redazione della tesi e soprattutto la traduzione dei testi.

introduzione

Il testo inglese parlerà dei predecessori degli acquedotti romani, ovvero gli acquedotti siriani, greci ed etruschi per poi passare ai diversi usi che i Romani facevano dell'acqua: con particolare attenzione ai mulini e alle terme. Il testo francese invece concentra l'attenzione su di un acquedotto specifico: il Pont du Gard in Francia, descrivendone i costi, materiali e tecniche di costruzione. Verrà anche descritta l'organizzazione di un cantiere nel mondo romano e la durata dei lavori di costruzione.

Roman Aqueducts and Water supply

All'epoca, con i miei relatori, arrivammo alla scelta del testo da tradurre solamente dopo svariate ricerche, effettuate presso la BNCR¹, la Biblioteca di Archeologia e Storia dell'Arte, sita in P.zza Venezia sempre a Roma e la Facoltà di Lettere e Archeologia dell'Università "La Sapienza" di Roma. Come accennato in precedenza, la difficoltà fu trovare un testo tecnico, che fosse recente e non ancora tradotto, per poi poter chiedere alla casa editrice Duckworth l'autorizzazione a tradurre. Il testo di A. Trevor Hodge affronta questo importante aspetto della vita romana da una nuova, perlomeno per l'epoca, angolazione. Il testo è molto tecnico e lo stesso autore ammette: «Ho abbastanza esperienza nella ricerca per sapere che raramente il mio libro verrà letto interamente e ininterrottamente. Verrà piuttosto usato per la ricerca di riferimenti riguardo argomenti specifici».

Si può affermare dunque, di avere davanti un testo di ingegneria civile, idraulica, con numerosi riferimenti storico-geografici, e allo stesso tempo di archeologia. Ovviamente si parla in questo contesto di ingegneria antica, persiana e romana, il che complicò moltissimo il lavoro di ricerca terminologica. Ricordo di aver consultato molti miei amici ingegneri civili ed edili, e non aver trovato neanche da loro una risposta ai miei dubbi.

Ricordo con esattezza le tante difficoltà in cui mi sono imbattuta più di 20 anni fa ma ora più che mai, a distanza di tempo, prendo coscienza delle reali difficoltà incontrate

¹ Biblioteca Nazionale Centrale di Roma

nel processo di traduzione. Ho deciso di riprendere e rivedere lo stesso lavoro proprio per capire l'evoluzione avvenuta in me, in termini di conoscenza linguistica e tecnica traduttiva, nel corso degli ultimi 20 anni.

L'inglese usato dall'autore è molto più enfatico rispetto a ciò che ci si aspetterebbe da un testo tecnico. Incisi, soprattutto ad inizio frase, scandiscono il ritmo delle frasi. Vi è un vasto uso di avverbi come 'however' e 'nevertheless' o 'yet', tipico della saggistica. Si tratta senza dubbio di un linguaggio estremamente tecnico ma che non rispecchia la linearità e la semplicità della struttura linguistica inglese. Vi sono periodi molto lunghi, con molte subordinate. Spesso il periodo, infatti, parte con un lungo inciso, per poi andare alla proposizione principale.

Leggendo il testo a distanza di molto tempo e con il percorso linguistico personale compiuto in questi anni, mi sono gradatamente resa conto di come le stesse strutture linguistiche che allora mi sembravano così difficili e complesse, ora lo sono molto meno. La terminologia rimane sempre estremamente complessa ma sono riuscita ora ad entrare molto più nella mente dell'autore e in quello che voleva esprimere con l'uso di una determinata struttura sintattica. Questo mi ha permesso di poter riprendere la traduzione in italiano effettuata più di 20 anni fa e poter staccarmi ancora di più dal testo originale, per rendere l'italiano più fluido e comprensibile. Un esempio di questo processo potrebbe essere la frase «*in manifest recognition of the inefficiency*», tradotta originariamente con «*dato che era apertamente riconosciuta l'inefficienza...*» è stata ora cambiata in «*riconoscendo apertamente l'inefficienza...*». Un altro esempio del lavoro di riformulazione effettuato in questo processo di revisione è la seguente frase: «*For the small, rural conduits running under gravity, however, that must have formed the great bulk of Roman irrigation, there is little direct evidence*». In fase di revisione ora la frase è stata resa così: «Esistono poche prove concrete del fatto che i piccoli condotti rurali, che correvano grazie alla forza di gravità, abbiano rappresentato una parte importante dell'irrigazione agricola romana».

Quanto appena detto ci porta alla problematica della traduzione terminologia. Vi sono ovviamente moltissimi termini tecnici appartenenti a più settori: dalla geografia (soprattutto antica), alla storia, dall'archeologia all'ingegneria. Questo ha

portato a molte ricerche differenti, che, soprattutto parlando del 2000/01, mi portarono allora a consultare molti testi specifici piuttosto che le risorse online o i dizionari. Per i molti termini geografici, per esempio, si trattava di aree geografiche spesso non più esistenti, consultai all'epoca molti atlanti storici e biblici, ma soprattutto testi specifici come, ad esempio, quello di J. P. Adam, *'L'arte di costruire presso i romani'*². Alcuni esempi sono il 'Crocodile river' o 'Laodicea'. Si aveva sempre il dubbio se l'autore stesse utilizzando il termine inglese o il termine originale. Un'altra fonte molto utilizzata allora per la ricerca e oggi per la verifica è il portale della Enciclopedia Britannica³. Il termine Crocodile river, per esempio, è la traduzione inglese di Krokodil, nome originale di questo fiume che nasce in Sud Africa. Allora nella traduzione italiana lasciai in italiano il termine originale, mentre ora, avendo accesso a molte più fonti online, ho riscontrato l'uso del termine inglese anziché dell'originale. Altro esempio è la parola *qanat*. Non ero sicura allora se il termine fosse una traduzione inglese o il termine originale. Ricordo quindi di aver richiesto alla redazione della rivista Archeo⁴ uno speciale da loro edito, concernente l'Iran (l'antica Persia), in cui si parlava dei canali sotterranei persiani: i 'qanat', appunto. Oggi, in fase di revisione, e grazie alle innumerevoli fonti online, ho potuto facilmente confermare l'esattezza della scelta fatta vent'anni fa.

Una correzione invece rispetto al termine scelto nella prima versione della traduzione riguarda i termini 'undershot waterwheel' e 'overshot waterwheel'. All'epoca non riuscendo a trovare una corrispondenza esatta dei termini, optai per una traduzione letterale del termine 'ruota idraulica azionata dal basso' e 'ruota idraulica azionata dall'alto'. Oggi, in vari portali come, ad esempio, quello dell'associazione italiana amici dei mulini storici⁵ ho potuto trovare sia i termini 'per di sopra' o 'da sopra'. Sempre con rispetto alla traduzione di termini tecnici, riscontrai molti problemi con 'sakia apparatus', una ruota idraulica persiana. Non trovando riscontro in testi o online,

² Jean Pierre Adam, *L'arte di costruire presso i Romani. Materiali e tecniche*. Edizione italiana, Longanesi. 9° edizione, 1994. Traduttore: M. P. Guidobaldi

³ Encyclopaedia Britannica, Inc. www.britannica.com

⁴ Archeo, attualità del passato. Timeline Publishing S.r.l. www.archeo.it

⁵ www.aiams.eu Associazione italiana amici mulini storici

introduzione

optai per mantenere il termine usato dall'autore, non sicura però se si trattasse del termine originale o la sua traduzione inglese. Ora proprio sul portale dell'enciclopedia Treccani, ho trovato il termine *saqiya* che ho quindi utilizzato in questa nuova versione.

Nel processo di revisione della traduzione, mi sono anche resa conto di come la lingua italiana possa aver evoluto, come è normale e fisiologico che sia. Questo mi ha portata a dover sostituire parole, pronomi o altro, che ora sono considerati arcaici o desueti, come per esempio l'uso del pronome personale *esso, essa, essi, esse*.

Anche la redazione del glossario terminologico non è stata esente da difficoltà. La maggiore era trovare le definizioni in entrambe le lingue e non fare una traduzione in una o nell'altra. Sono riuscita anche ad aggiornare qualche termine o definizione che con la revisione è stato modificato, come precedentemente menzionato.

Le pont du Gard. L'eau dans la ville antique

Le Pont du Gard – L'eau dans la ville antique, di Fabre, Fiches, Levau, Paillet, fa parte della collana 'Patrimoine au présent', edito Caisse Nationale des monuments historiques et des sites e Presse du CNRS. Parla della costruzione del famosissimo Acquedotto di Nîmes e l'ancor più famoso Pont du Gard, la sezione più monumentale e ancora visibile del suddetto acquedotto. Essendo un libro coedito, la casa editrice che mi rispose mi autorizzò la traduzione solamente di una parte delle pagine da me richieste. Si optò quindi, per compensare, di approfondire la parte del glossario terminologico. Si tratta, come per l'inglese, di un testo estremamente tecnico, che ha necessitato di una ricerca approfondita, fatta di consultazione di testi specifici più che di ricerca online.

Si tratta di un testo rivolto non al grande pubblico e questo si vede dalle tante citazioni di persone, luoghi e testi senza dilungarsi troppo nel dare spiegazioni sulle varie citazioni.

Tutt'oggi, a distanza di anni, molte delle riconferme che ho avuto sono derivate dalla consultazione di testi, magari disponibili online. In fase di revisione, ho cercato di confermare la correttezza delle scelte effettuate all'epoca, facendo anche spesso ulteriori ricerche tra il materiale disponibile online. Ho potuto constatare che molte soluzioni sono ancora valide, altre invece nel tempo sono cambiate come per esempio le molte località geografiche antiche che oggi si trovano anche con altri termini. I termini "avant-bec" e "arrière-bec" per esempio nella tesi originale furono resi con sperone anteriore e posteriore, avendo tramite altri testi capito a cosa questi termini facessero riferimento. Ora, in fase di ricerca, ho potuto constatare l'uso del termine antibecco e retrobecco.

Per altri termini invece ho deciso di lasciare il termine scelto originariamente, frutto di una lunga ricerca su testi anche antichi, come per esempio i termini 'grand appareil' e 'petit appareil'. Partendo dalla loro definizione in francese e tramite la consultazione di testi specifici si era deciso di rendere il termine con 'opera quadrata'. Per quanto riguarda il 'petit appareil' invece, non si trovò in italiano una classificazione costruttiva di questo tipo e in base anche alle scelte effettuate da altri autori si è optato per una perifrasi ossia 'struttura con materiali di piccole dimensioni'. Potrebbe trattarsi di una classificazione non adottata da noi in Italia, avendo potuto riscontrare anche l'uso da parte di un autore del termine francese, senza tradurlo. Questo, fortunatamente, ha chiarito anche il significato del termine 'voûte appareillée', stabilito il significato della parola 'appareil' (opera, struttura), che, come detto sopra, non ha corrispondenti precisi (forse 'opus'?). Da Questa ricerca capii però cosa volesse dire il termine 'voûte appareillée' ovvero una volta in muratura. Essendo descritte tecniche molto antiche, sono stati consultati manuali archeologico-architettonici e anche dizionari archeologico-artistici. Ma il testo comprende anche termini per i quali si è cercata una traduzione tecnica mentre invece tecnici non erano.

Altro termine che ho rimesso in dubbio a distanza di tanti anni è "ouvrage d'art", tradotto all'epoca con "opera d'arte". Ho potuto riscontrare la correttezza della scelta, in quanto è un termine che effettivamente viene usato per riferirsi ad opere come ponti, strade ecc. Questo è un testo dove si sono anche riscontrati termini con

introduzione

una doppia traduzione, come il termine *arche*, tradotto secondo il contesto, a volte con *fornice*, a volte con *arco*.

Esempi invece di termini geografici che ho modificato ora in fase di revisione, sono la località *Bougie* (Algeria), che allora lasciai con il nome francese, e che ora ho tradotto in italiano, *Bugia* (da cui poi deriva il termine usato per le candele), ma si è trovato anche *Bejaia*. Altre volte invece la scelta di lasciare il termine originale latino, si è rivelato ancora valido. Un esempio è *Lambèse*, in latino *Lambaesis*, località della Numidia. La Treccani riporta la traduzione italiana, *Lambesi*, ma molti testi continuano ad usare il termine latino, forse per distinguerla dall'attuale *Lambesi-Tizoult*. Ho quindi optato per tenere il termine latino.

Dal punto di vista storico-archeologico invece, molte delle professioni antiche citate nel testo, sono state lasciate in latino, scelta che ho mantenuto in quanto sono professioni antiche che non esistono più. Un *architectus* non era un architetto ma bensì quasi paragonabile ad un ingegnere di oggi.

In altri casi invece la consultazione del testo di Trevor Hodge tradotto dall'inglese, ha aiutato a trovare la traduzione di alcuni termini, per cui il contesto veniva dato nel libro di Hodge ma non in quello francese. Un esempio su tutti è "la meunerie de Barbegal" la cui traduzione letterale portava a "industria molitoria" ma che si è reso con "il complesso molitorio di Barbegal", proprio perché Hodge parla di questi mulini di Barbegal.

Dal punto di vista propriamente linguistico invece, mi sono resa conto che allora avevo adottato delle traduzioni con le quali perdevo alcuni giochi di parole. L'espressione "un dalage de poids", l'avevo tradotta "una pavimentazione pesante" perdendo forse il gioco di parole che l'autore voleva fare "una pavimentazione di peso", che invece ora mi è saltato all'occhio alla prima lettura. Curiosamente questa volta è proprio la sua traduzione letterale.

In conclusione, posso dire di essere contenta di aver fatto questo lavoro di revisione di entrambe le traduzioni. Mi ha permesso di misurare il tempo passato, in termini di miglioramento e crescita professionale.

L'approvvigionamento idrico dei Romani

Roma e il suo millenario rapporto con l'acqua: acquedotti, fontane, terme, latrine, per non parlare dei cosiddetti nasoni, sono alcuni dei simboli di Roma, chiamata nell'Antichità, la regina delle acque (*Regina Aquarum*); una storia che da millenni vede Roma e le sue acque come protagoniste e che ha ancora molto da insegnarci in termini di creatività, gestione e risparmio.

Gli acquedotti romani e i loro predecessori

Nulla di tutto ciò sarebbe esistito, senza uno dei monumenti simbolo della Roma Antica, gli acquedotti. Come vedremo più avanti, infatti, la vita di acquedotti, terme e fontane sono strettamente legate fra di loro. L'espansione sempre maggiore dell'Impero romano e l'aumentare della popolazione, spinse Roma a dover trovare sempre più sorgenti da cui attingere e definire un'attenta organizzazione dell'approvvigionamento idrico. In età imperiale, la gestione delle acque e la cura degli acquedotti era affidata direttamente al *princeps* affiancato da un apposito curatore delle acque (*curator aquarum*). Frontino⁶, *curator aquarum* ai tempi di Nerva, li definisce «la più alta manifestazione della grandezza romana⁷». Anche Dionigi d'Alicarnasso, famoso re-tore al tempo di Nerva e Traiano, si esprime così: «Mi sembra che la grandezza dell'Impero romano si riveli mirabilmente in tre cose: gli acquedotti, le strade e le cloache⁸». La Cloaca Massima a Roma (ancora visibile e percorribile) è una delle condotte fognarie più antiche.

Roma fu la città più ricca e meglio servita del prezioso elemento.

A testimonianza di questo speciale e peculiare aspetto della civiltà e dell'immagine di Roma, restano ancora nella campagna romana le rovine imponenti di quei caratteristici monumenti delle acque che Goethe definì «una successione di archi di trionfo». È il caso di ricordare che gli stessi acquedotti restano anche tra i documenti e le

⁶ Scrittore di cose tecniche, militari e magistrato romano. *Curator aquarum di Roma nel 97-98 d.C.*

⁷ *De Aquaeductu Urbis Romae*, Sesto Giulio Frontino, fine I secolo d.C.

⁸ *Antichità Romane*, III; 13. Dionigi di Alicarnasso, 7 a.C.

testimonianze più caratteristiche e spettacolari della presenza di Roma in tutte le antiche province dell'Impero, con esempi straordinari; da quello di Segovia, Merida, Tarragona, in Spagna, a quello di Nîmes (il famoso Pont du Gard di cui parleremo più avanti) in Francia; da quelli di Efeso e di Aspendos in Asia Minore a quello di Cartagine in Africa.

I Romani portarono sicuramente gli acquedotti alla monumentalità che tutti oggi conosciamo e ad un grado di perfezione che verrà eguagliato solo da quelli di epoca moderna. Tuttavia, esistono popolazioni che hanno costruito acquedotti molto prima dei Romani. A Trevor Hodge parlerà lungamente dei *qanat*, sistema di canali sotterranei nati nell'antica Persia per riuscire a portare acqua in una terra notoriamente arida. Grazie alla dominazione araba, si possono ancora ammirare a Palermo resti di *qanat*. Questa parola infatti sta proprio a significare 'canale'. Questo sistema era costituito da dei cunicoli verticali, tipo pozzetti, collegati da un canale sotterraneo avente una leggera pendenza. L'acqua viene quindi trasportata per gravità. In Medio Oriente i *qanat* sono tutt'oggi utilizzati. Si sono recentemente scoperte resti di *qanat* anche in Abruzzo e Calabria. La stessa Unesco ha previsto un accordo per la loro manutenzione e salvaguardia, nell'intento di esplorare nuove soluzioni o riutilizzare vecchi sistemi per mitigare gli effetti del cambiamento climatico, soprattutto nelle zone più aride del pianeta. Nonostante il declino degli ultimi decenni, il sistema dei *qanat* è tornato all'attenzione degli studiosi.

Anche i Greci costruirono acquedotti prima degli ingegneri romani. Basti ricordare l'acquedotto scavato nella roccia che alimentava Samo nel VI sec. a.C.; ma il primo acquedotto greco a canalizzazione stagna fu quello di Pergamo, con il notevole sifone di 190 metri, costruito sotto il regno di Eumene II.

Agli inizi della storia di Roma, la popolazione raccoglieva l'acqua necessaria alle attività giornaliere, attingendo dalle risorse idriche più prossime, come il Tevere e l'Aniene. Si conta che nel periodo di maggior espansione dell'Impero romano, in epoca Traiana, nel III sec. d.C., Roma contava con ben undici acquedotti. Gli acquedotti prendevano il nome dall'acqua che portavano o dall'imperatore o funzionario che aveva fatto realizzare l'opera.

introduzione

I principali acquedotti di Roma antica, in ordine di tempo di costruzione erano: l'*Appio*, l'*Ano Vetus*, il *Marcio*, il *Tepulo*, lo *Iulio*, il *Virgo*, l'*Alsietino*, il *Claudio*, l'*Anio Novus*, il *Traiano* e l'*Alessandrino*. L'acqua Appia deve il suo nome al magistrato che l'aveva fatta condurre captandone le sorgenti a poco più di 10 chilometri da Roma. L'*Anio Vetus* venne realizzato tra il 272 e il 269 a.C. e fu il primo a prendere origine nella valle dell'Aniene, che rimase per Roma il più grande serbatoio d'acqua. Nel 144 a.C., il Senato diede il compito al pretore Quinto Marcio Re di costruirne un terzo che prese il suo nome: *Aqua Marcia*. Con quest'acquedotto fu assicurata a Roma un'acqua celebre per la sua purezza e per la prima volta fu sopraelevato un percorso tramite arcate. L'acqua Tepula, proveniente dai Colli Albani, alimentò il quarto e ultimo acquedotto dell'età repubblicana, con una portata modesta e la particolarità di avere la temperatura "tiepida".

Durante l'età di Augusto, tre nuovi acquedotti vennero costruiti. Il primo fu costruito da Agrippa, braccio destro di Augusto, nel 33 a.C., l'acquedotto dell'acqua Giulia. Poi fu la volta dell'acquedotto Vergine, che è stato sempre in funzione, alimentando ancor oggi la Fontana di Trevi e la Fontana dei Quattro Fiumi a Piazza Navona, nonché quella della Barcaccia a Piazza di Spagna. L'acquedotto Vergine aveva lo scopo principale di alimentare le Terme di Agrippa. Nel 2 a.C., fu lo stesso Augusto a far costruire l'acquedotto Alsietino per le sue Naumachie. Nel 38 d.C., Caligola fece costruire altri due acquedotti la cui realizzazione però fu portata a termine da Claudio che diede il suo nome al più importante dei due. L'altro che prendeva l'acqua direttamente dal fiume Aniene prese il nome di *Anio Novus*. La spettacolare serie degli acquedotti di Roma fu completata da Alessandro Severo. Tutti questi acquedotti erano in grado di alimentare: 11 grandi terme, 856 stabilimenti balneari minori, 15 fontane monumentali, 2 naumachie⁹, 3 laghi artificiali o grandi piscine.

Si può immaginare come sia stata complessa l'amministrazione delle acque di Roma e Frontino informa ampiamente sull'organizzazione e il funzionamento di questo ufficio che era composto da personale tecnico, amministrativo ed esecutivo.

⁹ Nell'antichità classica, soprattutto presso i Romani, spettacolo che riproduceva, su uno specchio d'acqua naturale o artificiale, una battaglia navale. Il termine designava anche l'edificio adibito a questo tipo di spettacoli

introduzione

Particolarmente importante è il ruolo svolto dagli *architecti*, ingegneri idraulici; vi erano anche specialisti delle varie funzioni, dai *librator* 'misuratori', ai *plumbarii* 'posizionatori'. L'operazione veniva condotta attraverso la pratica degli "appalti" (*locationes*), che prevedeva particolari obblighi per gli impresari (*redemptores*) e comportava, alla fine dei lavori, un "collaudo" (*probatio*).

Alla base di ogni realizzazione fu, com'è ovvio, la ricerca delle sorgenti e delle vene acquifere da utilizzare. Essa doveva tener conto di requisiti diversi: la qualità dell'acqua, la sua abbondanza e la regolarità del flusso, le possibilità d'imbrigliamento e di captazione e la stessa quota altimetrica. Gli acquedotti presentavano al loro imbocco (*caput aquae*) bacini di raccolta che servivano regolare l'immissione delle acque. Nel caso di vene acquifere sotterranee, si ricorreva invece a un vero e proprio "sistema" articolato di pozzi e di cunicoli, con il quale ogni rivolo veniva raggiunto e imbrigliato. Da questo, o dal bacino di raccolta, l'acqua passava di solito in una vasca di decantazione (*piscina limaria*) nella quale venivano fatte depositare le impurità. Da qui aveva inizio il canale vero e proprio che aveva come peculiarità quella di avere una leggera pendenza, sempre costante, in maniera che le acque defluissero naturalmente, come si dice, 'a pelo libero'.

L'ingegneria antica, infatti, per ragioni di economia e di convenienza, preferiva non ricorrere al sistema dei sifoni e più esattamente ai sifoni rovesci, date le grandi pressioni che si sarebbero verificate nelle condotte forzate: i tubi dei diametri necessari per le grandi condutture sarebbero risultati troppo costosi e malsicuri. Le '*fistule*' erano generalmente di piombo, ma mentre si prestavano bene per la loro flessibilità, avevano il punto debole nelle saldature estremamente difettose. D'altro canto, non si sapeva ancora lavorare l'acciaio e il bronzo era troppo costoso. Il percorso dello speco era fin dove possibile sotterraneo (*rivus suhterraneus*). Nella fase di esecuzione dei lavori, il percorso veniva indicato sul terreno da una serie di pali, allineati con l'impiego di una sorta di Teodolite, la *dioptra*. Il percorso di ogni acquedotto era accompagnato in superficie da cippi che lo segnalavano e ne garantivano ai lati la fascia di rispetto. Lo affiancavano strade di servizio, generalmente lastricate. Il percorso sotterraneo era anche segnato, in superficie, da tombini di accesso: erano quelli

introduzione

serviti per lo scavo in gallerie del condotto stesso e poi rimasti in funzione per la manutenzione. Attraverso di essi si facevano infatti i controlli e gli espurghi.

L'abbondanza e la consistenza del materiale estratto divennero tali, che fu usato come pietra da costruzione per edifici sorti in età tardo-antica su tali percorsi. Il percorso d'un acquedotto finiva con un "castello" terminale o principale (*castellum aquae*), che era una costruzione massiccia, a torre, contenente una o più camere di decantazione e la vasca dalla quale l'acqua veniva ripartita e immessa nelle condutture urbane di adduzione alle utenze. Le prese dell'acqua erano costituite da tubi di bronzo (*calices*) con imboccature a forma di calice.

Come già accennato precedentemente, i Romani hanno lasciato grandiose tracce dei loro acquedotti in tutte le province dell'Impero. Un esempio importante di queste testimonianze è il Pont du Gard in Francia, voluto da Agrippa, genero di Augusto, nel 19 a.C., per rifornire di acqua potabile la città di Nîmes. Fu costruito dall'imperatore Claudio o forse Nerone intorno al 50-60 d.C. Nominato nel 1985 patrimonio dell'umanità dall'Unesco, è considerato oggi il monumento antico più visitato di Francia e uno dei luoghi più importanti d'Europa, tanto da apparire sulle banconote da € 5

La parte più monumentale di questo acquedotto lungo 50 km è costituita dal ponte che attraversa il fiume Gard, raggiungendo un'altezza di 40 metri sul livello dell'acqua. Costruito con un metodo di archi paralleli giustapposti, questo monumento ha un'importanza sia tecnica che estetica enorme. Il primo ordine di sei archi ha una lunghezza di 142 metri, il secondo composto da 11 archi, è lungo 242 metri ed il terzo di 35 archetti è lungo 275 metri. Questo metodo rappresenta una misura di contenimento dei costi, in quanto era necessaria soltanto un'impalcatura in legno per la costruzione di ogni volta, che poi andava a supportare ogni arco così come era costruita. Gli archi e le volte del Pont du Gard furono costruiti in muratura non cementata. Per la costruzione è stata utilizzata una pietra di colore giallo i cui blocchi, murati a secco, pesavano fino a sei tonnellate ciascuno. La grande invenzione dell'arco (appresa dagli etruschi) permise la costruzione di una simile opera d'arte. Il

Pont du Gard è il ponte-acquedotto più bello e meglio conservato di tutto il mondo romano ed è classificato infatti come facente parte del patrimonio dell'umanità.

Gli acquedotti papali e le mostre d'acqua

Dopo la caduta dell'Impero romano, vennero a decadere anche gli acquedotti che non vennero più utilizzati. Dovremmo aspettare il rinascimento e la decisione dei Papi di riutilizzare ed espandere le vecchie canalizzazioni. Questi lavori di restauro e ripristino hanno portato alla monumentalizzazione delle fontane poste come 'mostra' ovvero punto terminale dell'acquedotto. Alcune di esse sono oggi ammirate da turisti di tutto il mondo. Delle mostre-fontana di epoca romana purtroppo non resta molto, quelle che vediamo ora come dicevamo sono appunto risultato dei lavori svolti tra il XVI e il XVIII secolo. La più celebre di esse è la famosa fontana di Trevi che non è altro che la mostra terminale dell'acquedotto Vergine. I lavori di ripristino dell'acqua vergine furono avviati da Leon Battista Alberti tecnico di Nicolò V e poi secoli più tardi conclusi da Gregorio XVI. Nel XVI sec. invece papa Sisto V, Felice Peretti, costruì l'acquedotto Felice riutilizzando parti dell'antico acquedotto Alessandrino. La bellissima fontana del Mosè in P.zza San Bernardo ne è la mostra terminale. Paolo V Borghese invece incaricò Giovanni Fontana e Carlo Maderno di ripristinare l'antica acqua Paola e costruire la 'mostra' celebrativa, il Fontanone del Gianicolo. Il quarto acquedotto papale è il Pio-Antico Marcio, voluto da Pio IX che chiese il ripristino dell'acqua Marcia e che vede nella Fontana delle Najadi (ex piazza Esedra, ora Repubblica) la sua mostra terminale. Uno stretto legame quindi quello tra i celebri acquedotti romani e le fontane di Roma.

Per avere una prova di questo eterno legame tra Roma e l'acqua, basta fare un giro per il centro (e non solo) e notare una serie infinita di piccole fontanelle, che noi romani chiamiamo affettuosamente "nasoni" per la loro forma. Fino a poco tempo fa, l'acqua vi scorreva ininterrottamente, pronta a dare un po' di sollievo nelle calde giornate estive, proprio come accadeva sicuramente in epoca romana. Tutto questo

introduzione

necessitava di enormi quantitativi d'acqua di cui Roma fortunatamente era provvista. La tecnica di costruzione romana ha fatto il resto, lasciando a noi capolavori di ingegneria e di architettura meravigliosi.

Le Terme

L'importanza degli acquedotti è che senza questi non sarebbe esistite neanche le terme, altro grandioso simbolo della romanità, luogo preferito dai Romani per trascorrervi gran parte del giorno, dopo una mattinata passata nel foro. Nel 33 a.C. Agrippa, che era edile e aveva perciò il compito di sovrintendere ai bagni pubblici, rese celebre la sua magistratura con un atto di liberalità: garantì la gratuità dei bagni pubblici delle città, almeno nell'anno della sua edilizia. Sempre Agrippa fece costruire un nuovo tipo di edificio balneare che fu denominato con il nome *thermae*. Gli ambienti balneari erano disposti in successione funzionale: vicino all'entrata erano gli spogliatoi (*apodyteria*), poi c'erano camere riscaldate con alte temperature, circa 60 gradi, che provocavano una traspirazione da bagno turco (la *sudatoria*, *lconica*), poi la sala per il bagno caldo (il *calidarium*), quindi un ambiente intermedio di passaggio (il *tepidarium*), e infine la sala del bagno freddo (che veniva spesso sconsigliato alle donne), il *frigidarium*, completata dalla piscina, situata solitamente all'aperto, la *natatio*. La concezione del nuoto non era ancora conosciuta, quindi le *natatio* per esempio erano usate per rilassarsi e chiacchierare. Le Terme avevano anche un'importanza sociale. Era il posto dove tutti condividevano lo stesso spazio, ricchi, poveri o liberti. Sotto il livello del suolo c'era un'estesa rete di gallerie e di ambienti di servizio. Qui si trovavano i forni che scaldavano l'acqua calda, contenuta in cisterne metalliche, e contemporaneamente l'aria che veniva convogliata nelle intercapedini sotto i pavimenti (*hypocausta*). Agli ambienti propriamente balneari si aggiungevano palestre, biblioteche, giardini ecc.

introduzione

Alle terme si andava non solo per la cura del corpo ma anche per il piacere dello spirito e per soddisfare ogni desiderio di svago e di divertimento, «*mens sana in corpore sano*¹⁰».

Molti imperatori si cimentarono nella costruzione delle terme, essendo usate come strumento di propagande e simbolo del benessere della. Tra questi si annoverano Tito, Traiano, Caracalla, Costantino, ma di sicuro le più grandi sono state quelle di Diocleziano, di cui ancora oggi possiamo ammirare l'estensione.

Dopo l'abbandono degli acquedotti in seguito alla caduta dell'Impero romano, la vita stessa delle terme era in pericolo, venendo meno la loro fonte di approvvigionamento idrico. È qui che entra in gioco la creatività e praticità del popolo romano. Molte di queste strutture furono trasformate e adibite ad altro uso. Un esempio che tutti conosciamo è la chiesa di Santa Maria degli Angeli. Progettata da un Michelangelo di 86 anni su commissione di Papa Pio IV de' Medici. Chiesa che fu costruita lasciando inalterata la struttura delle terme romane, usando l'area adibita al *frigidarium* e alla *natatio*.

Fulloniche e latrine

Prima di concludere, meritano un accenno le fulloniche e le latrine, altri due servizi che necessitavano di enormi quantitativi d'acqua e che hanno contribuito alla ricerca costante di nuove sorgenti per soddisfare i bisogni della popolazione.

Le fulloniche erano le botteghe dove venivano lavati i tessuti. Ad Ostia Antica, si possono ancora ammirare i recipienti in terracotta e le tracce delle grandi tubazioni che alimentavano le vasche. Per il lavaggio veniva spesso usata l'urina che veniva raccolta in dei recipienti in terracotta che fungevano da orinatoi.

Le latrine erano i bagni pubblici dei Romani. Come già accennato, pochi romani potevano vantarsi di avere un bagno della propria residenza e le latrine, quindi, erano situato presso i più importanti luoghi pubblici, come teatri, terme ecc. Non erano solo un luogo per espletare un bisogno fisiologico ma anche un luogo di ritrovo non

¹⁰ Locuzione latina, tratta dalle Satire di Giovenale

introduzione

essendoci divisorii ma una lunga lastra di marmo dove erano situati dei fori. La carta igienica ancora non esisteva, quindi un Romano avrei usato al suo posto, un *tersorium*, una spugna infilata in un pastone e condivisa da tutti, dopo essere stata pulita con acqua e aceto. Alcuni resti di latrine sono ancora visibili al Gianicolo. Queste dimostrano ancora una volta quanto i Romani tenessero all'igiene personale.

Conclusioni

Altro elemento da sottolineare della gestione delle acque nell'antica Roma è il recupero e riutilizzo dell'acqua per evitare gli sprechi, (e non solo dell'acqua, come abbiamo accennato sopra), tema oggi di estrema attualità. All'ingresso delle residenze signorili romane, nell'atrio, venivano costruite delle vasche aperte, alimentate con acqua piovana. Il cui troppopieno era collegato con delle cisterne che permettevano di conservare l'acqua al fresco, al buio e protette da contaminazioni, delle vere e proprie riserve d'acqua.

I Romani avevano capito benissimo l'importanza dell'acqua e che aveva un valore inestimabile. Avevano anche capito che andava amministrata con sapienza e senza sprechi, per poter soddisfare le esigenze di una popolazione sempre in aumento.

A volte basterebbe guardarci un po' indietro, rileggere la storia, per poter andare verso il futuro.

introduzione

ENGLISH SECTION

INTRODUCTION

Roman water supply

Rome and its millenary relationship with water: aqueducts, fountains, baths, latrines, not to mention the so-called 'nasoni', are some of the symbols of Rome, known in antiquity as queen of waters (*Regina Aquarum*); a history that saw Rome and its waters playing a leading role for millennia and that has still so much to teach us in terms of creativity, management, and savings.

Roman aqueducts and their predecessors

None of this would have existed without one of the symbolic monuments of Ancient Rome, the aqueducts. As we shall see later, the life of aqueducts, baths and fountains are closely intertwined. The ever-increasing expansion of the Roman Empire and the increase in population pushed Rome to look for more and more springs to draw from and thoroughly organise the water supply. In the imperial age, water management and aqueduct maintenance were entrusted directly to the *princeps*, assisted by a water curator (*curator aquarum*). Frontinus¹¹, *curator aquarum* at the time of Nerva, describes them as 'the highest manifestation of Rome's greatness¹²'. Dionysius of Halicarnassus, a famous rhetorician at the time of Nerva and Trajan, also says: 'It seems to me that the greatness of the Roman Empire is admirably revealed in three things: aqueducts, roads and the cloacas¹³'. The Cloaca Maxima (greatest sewer) is one of the oldest existing sewer systems and is still visible today. Rome was by far the water-best-served city.

As evidence of this unique and peculiar aspect of Rome's civilisation and image, the imposing ruins of those characteristic water monuments that Goethe called '*a succession of triumphal arches*' is still visible in the Roman countryside. It is worth remembering that the same aqueducts also remain among the most characteristic and

¹¹ Writer of technical and military matters and Roman magistrate. *Curator aquarum of Rome in 97-98 AD*.

¹² *De Aquaeductu Urbis Romae*, Sextus Julius Frontinus, late 1st century AD.

¹³ *Roman Antiquities*, III; 13. Dionysius of Halicarnassus, 7 BC.

Introduction

impressive documents and witnesses of Rome's presence in all the ancient provinces of the Empire, with extraordinary examples; from Segovia, Merida, Tarragona, in Spain, to Nîmes (the famous Pont du Gard we will discuss later) in France; from Ephesus and Aspendos in Asia Minor to Carthage in Africa.

The Romans brought aqueducts to the monumentality we all know today and to a perfection that the modern ones will only equal. However, some populations built aqueducts long before the Romans. A. Trevor Hodge spoke at length about the *qanats*, a system of underground canals that originated in ancient Persia to bring water to a notoriously arid land. Thanks to Arab domination, the remains of *qanats* can still be admired in Palermo. This word means precisely 'canal'. This system consisted of vertical tunnels, like wells, connected by an underground canal with a slight slope. The water is thus transported by gravity. In the Middle East, *qanats* are still in use today. Remains of *qanats* have also recently been discovered in Abruzzo and Calabria. Unesco has applied a resolution for their maintenance and preservation, intending to explore new solutions or reuse old systems to mitigate the effects of climate change, especially in the driest areas of the planet. Despite its decline in recent decades, the *qanat* system has returned to scholars' attention.

Greeks as well, they built aqueducts before the Roman engineers. One only has to mention the rock-cut aqueduct that supplied Samos in the 6th century B.C., but the first Greek aqueduct with a watertight conduit was at Pergamon, with its remarkable 190-metre siphon, built during the reign of Eumenes II.

At the beginning of Rome's history, the population collected the water they needed for daily activities, drawing it from the nearest water resources, such as the Tiber and the Aniene. It is calculated that during the Roman Empire's greatest expansion, in the Trajan era, 3rd century A.D., Rome had as many as eleven aqueducts. The aqueducts were named after the water they carried or after the emperor or official who had the work carried out.

The main aqueducts of ancient Rome, listed by construction time, were: the Aqua Appia, the *Ano Vetus*, Aqua Marcia, Aqua Tepula, Aqua Julia, Aqua Virgo, Aqua Alsietina, Aqua Claudia, Anio Novus, Aqua Traiana and Aqua Alexandrina. Aqua Apia

Introduction

owes its name to the magistrate who had it conducted by capturing its source just over 10 kilometres from Rome. The *Anio Vetus* was built between 272 and 269 BC and was the first to originate in the Aniene valley, which remained Rome's largest water reservoir. In 144 B.C., the Senate gave the task to the praetor Quintus Marcius King to build a third one, which took its name: *Aqua Marcia*. With this aqueduct, Rome was assured of water famous for its purity and for the first time, a path was elevated using arches. The Aqua Tepula, coming from Colli Albani, supplied the fourth and last aqueduct of the Republican age, with a modest flow rate and the peculiarity of having a 'lukewarm' temperature.

During the Augustan age, three new aqueducts were built. Agrippa, Augustus's right-hand man, built the first in 33 BC, the Aqua Julia aqueduct. Then it was the turn of the Aqua Virgo aqueduct, which has always been running, still feeding the Trevi Fountain and the Fountain of the Four Rivers in Piazza Navona, as well as the Barcaccia fountain in Piazza di Spagna. The primary purpose of the Aqua Virgo aqueduct was to supply the Baths of Agrippa. In 2 BC, it was Augustus himself who had the Aqua Alsietina aqueduct built. In 38 A.D., Caligula had two more aqueducts built, but they were completed by Claudius, who gave his name to the more important of the two. The other, which took water directly from the river Aniene, was named *Anio Novus*. Alexander Severus completed the spectacular series of Rome's aqueducts. All these aqueducts were capable of supplying: 11 large baths, 856 minor bathing establishments, 15 monumental fountains, 2 naumachiae¹⁴, 3 artificial lakes or large pools.

One can imagine how complex Rome's water administration was, and Frontinus informs us extensively about the organisation and functioning of this office, which was composed of technical, administrative, and executive staff. Crucial is the role played by the *architecti*, hydraulic engineers; there were also specialists in various functions, from the *librator* 'measurers' to the *plumbarii* 'positioners'. The operation was carried out through the practice of 'tenders' (*locationes*), which included special

¹⁴ In classical antiquity, especially among the Romans, a show reproduced, on a natural or artificial stretch of water, a naval battle. The term also designated the building used for this type of show.

Introduction

obligations for the contractors (*redemptores*) and entailed a 'test' (*probatio*) at the end of the work.

The basis of any work was the search for springs and water veins to be used. Different requirements were considered: the water quality, its abundance and regularity of flow, the possibilities of bridling and capturing it, and the altitude itself. Aqueducts had catchment basins at their entrance (*caput aquae*) that regulated the water inflow. In the case of underground water veins, on the other hand, a real articulated 'system' of wells and tunnels was used, with which each rivulet was reached and harnessed. From this, or the collection basin, the water usually passed into a settling basin (*piscina limaria*) where the impurities were deposited. From here, the proper canal began, which had the peculiarity of having a slight slope, always constant, so that water flowed naturally, as they say, 'free-flowing'.

Ancient engineering, indeed, for reasons of economy and convenience, preferred not to resort to the siphon system, and more precisely to inverted siphons, given the significant pressures that would have occurred in penstocks: pipes with the required diameters for large pipelines would have been too expensive and unsafe. The '*fistulas*' were generally made of lead, but while they were well suited for their flexibility, they were vulnerable due to extremely defective soldering. On the other hand, steel could not yet be moulded, and bronze was too expensive. The course of the shaft was underground as far as possible (*rivus subterraneus*). During the construction phase, a series of poles on the ground, aligned using a kind of Theodolite, the *dioptra*, indicated the route. The route of each aqueduct was accompanied on the surface by boundary stones that marked it and ensured its buffer zone on the sides. Service roads, generally paved, flanked it. The underground route was also marked, on the surface, by maintenance holes: these were those used for tunnelling the pipeline itself and then remained in operation for maintenance. Inspections and purges were carried out through them.

The abundance and consistency of the material extracted became such that it was used as building stone for buildings constructed in late antiquity along these routes. The route of an aqueduct ended with a terminal or main 'castle' (*castellum aquae*),

Introduction

which was a massive, tower-like construction containing one or more settling chambers and the basin from which the water was distributed and fed into the urban conduits for the users supply. Water intakes consisted of bronze pipes (*calices*) with chalice-shaped mouths.

As mentioned earlier, Romans left significant traces of their aqueducts in all the provinces of the Empire. An important example of these testimonies is the aqueduct of Nîmes in France, the famous Pont du Gard, wanted by Agrippa, Augustus' son-in-law, in 19 BC to supply the city of Nîmes with drinking water. Emperor Claudius built it in 60 BC.

The most monumental part of this 50-km-long aqueduct is the bridge spanning the Gard River, reaching 40 metres above water level. This monument was built using a method of juxtaposed parallel arches, and it has both technical and aesthetic importance. The first order of six arches is 142 metres long, the second consisting of 11 arches is 242 metres long, and the third, 35 arches, is 275 metres long. This method was a cost-cutting measure, as only one wooden scaffolding was needed to construct each vault, supporting each arch as it was built. Pont du Gard arches and vaults were built of uncemented masonry. A yellow-coloured stone was used for the construction, whose blocks weighed up to six tonnes each when dry-walled. The great invention of the arch (learned from the Etruscans) enabled the construction of such a work of art. The Pont du Gard is the most beautiful and best-preserved aqueduct bridge in the entire Roman world and is classified as a World Heritage Site.

Popes' aqueducts and their display fountains

After the Roman Empire's downfall, the aqueducts declined and were no longer used. We had to wait for the Renaissance and the Popes' decision to reuse and expand the old canals. These restoration and renovation works led to the monumentalisation of the fountains placed as a 'mostra', i.e. the end part of the aqueduct. Some of them are today admired by tourists from all over the world. Unfortunately, not so much remains of the Roman era's display fountains; those we see now, as we said, are precisely the result of renovations carried out between the 16th and 18th

Introduction

centuries. The most famous of them is the Trevi Fountain, which is none other than the end part of the Aqua Virgo Aqueduct. The works to restore the Aqua Virgo were started by Leon Battista Alberti, and Nicholas V technicians and completed centuries later by Gregory XVI. In the 16th century, Pope Sixtus V, Felice Peretti built the aqueduct name after him by reusing parts of the ancient Alessandrino aqueduct. The beautiful Moses Fountain in Piazza San Bernardo is its 'mostra'. Paul V Borghese, instead, commissioned Giovanni Fontana and Carlo Maderno to restore the ancient Aqua Paola and build the celebratory 'display fountain', the so-called Fontanone located in Gianicolo. The fourth Pope's aqueduct is the Pio-Antico Marcio, commissioned by Pius IX, who asked to restore the Aqua Marcia aqueduct and which has the Fountain of the Naiads (former piazza Esedra, now Repubblica) as its display fountain. A very close connection, therefore, exists between the famous Roman aqueducts and the fountains of Rome.

As a proof of this eternal bond between Rome and water, take a walk around the centre (and beyond) and you will notice an endless series of small fountains, which we, Romans, kindly call 'nasoni' because of their shape. Until recently, water flowed there uninterruptedly, ready to provide relief on a hot summer day, just as it certainly did in Roman times. All this required enormous quantities of water, which Rome fortunately had. Roman construction techniques did the rest, leaving us with outstanding masterpieces of engineering and architecture.

The baths

Aqueducts' importance is that without them, the baths would not have existed either, another great symbol of the Romans, the favourite place for the Romans to spend much of the day after a morning spent in the forum. In 33 BC. Agrippa, who was an aedile and therefore had the task of overseeing the public baths, made his magistracy famous with an act of liberality: he guaranteed that the cities' public baths would be free of charge, at least in the year of his edict. Agrippa also had a new type of bathing building built, named *thermae*. The bathing rooms were arranged in a functional sequence. Near the entrance were the changing rooms (*apodyteria*). There

Introduction

were heated chambers with high temperatures of around 60 degrees that caused perspiration like a Turkish bath (the *sudatoria, laconica*), then the room for the hot bath (the *calidarium*), then an intermediate room (the *tepidarium*), and finally the room for the cold bath (which was often discouraged for women), the *frigidarium*, completed by the pool, usually located outdoors, the *natatio*. The concept of swimming was not yet known, so the *natatio*, for instance, was used for relaxing and chatting. The baths also were socially important. It was the place where everyone shared the same space, rich, poor or freedmen. Below ground level, there was an extensive network of tunnels and service rooms. Here were the ovens that heated the hot water contained in metal cisterns and, at the same time, the air that was channelled into the cavities under the floors (*hypocausta*). In addition to the bathing rooms, there were gymnasia, libraries, gardens, and others.

People went to the baths not only for their body's care but also to feed their spirit and to meet their need for recreation and entertainment, '*mens sana in corpore sano*¹⁵'.

Many emperors tried their hand at building baths, as they were used as an instrument of propaganda and a symbol of people's prosperity. These included Titus, Trajan, Caracalla and Constantine, but indeed, the largest were those of Diocletian, whose extension we can still admire today.

After the abandonment of the aqueducts following the fall of the Roman Empire, the very life of the baths was in jeopardy, as their source of water supply got lost. Here is where the creativity and practicality of the Roman people came into play. Many of these structures were transformed and put to other uses. One example we all know is the church of Santa Maria degli Angeli. It was designed by 86-year-old Michelangelo and commissioned by Pope Pius IV de' Medici. This church was built, leaving the structure of the Roman baths intact, using the area used for the *frigidarium* and *natatio*.

¹⁵ Latin locution from the Satires of Juvenal

Introduction

Fullonicae and latrines

Before concluding, it is worth mentioning the fullonicae and latrines, two other services that required huge amounts of water and contributed to the constant search for new sources to meet the population's needs.

The *fullonicae* were the workshops where fabrics were washed. At Ostia Antica, one can still admire the terracotta vessels and traces of the large pipes that fed the tubs. Urine was often used for washing and was collected in terracotta vessels that served as urinals.

Latrines were Romans' public baths. As already mentioned, few Romans could boast of having a bathroom in their own house, and latrines were next to the most important public places, such as theatres and baths, among others. They were not only a place to fulfil a physiological need but also a place to socialize as there were no dividers but a long marble slab where holes were located. Toilet paper did not exist then, so Romans used a *Tersorium* to wipe themselves. It consisted of a stick with a vinegar-water-soaked sponge. Some latrines' remains are still visible at the Janiculum Hill. These demonstrate once again how much the Romans valued personal hygiene.

Conclusions

A further element of Ancient Rome's water management to be highlighted is recycling and reusing water to avoid wastage (not only water, as we have seen above), an extremely topical issue today. Open tanks were built at the entrance to a Roman noble house in the atrium, fed with rainwater. Its overflow was connected to cisterns that allowed water to be kept cool in a dark and protected environment, away from contamination: some absolute water reserves.

Romans fully understood that water was essential and with priceless value. They also understood that it had to be wisely administered with no waste if they wanted to meet the needs of an ever-increasing population.

Introduction

Sometimes all we need to do is look back a little, reread history, and head towards the future.

Traduzione inglese > italiano

TRANSLATION ENGLISH > ITALIAN WITH TEXTS SIDE BY SIDE

TRADUZIONE INGLESE > ITALIANO CON TESTO A FRONTE

THE PREDECESSORS OF ROME

Rome stands founded on the men and manners of old

Ennius, Annals, lib. Inc., 37

When that stalwart conservative, the roman poet Ennius, insisted that the roman state was founded on the achievements of the men of old, he meant, of course, the early Romans. He was not thinking of Greeks or Etruscans. But in aqueducts it is different. One cannot embark on a work such as this without first taking a sideways glance at what the Romans owed to their non-roman predecessors. Another equally valid but less obvious distinction is that between local and transported water. By local I mean water that is tapped and used at its source, as opposed to water that is transported long distances; it is thus a distinction between, on the one hand, weels, cisterns, fountain houses and other installation designed to give access to water already locally present, and, on the other hand aqueducts. Both systems were in widespread and often complementary use in antiquity, but we will find it convenient here to concentrate only on transported water in pre-roman times, leaving local water, Roman and pre-roman alike, till the next chapter.

The eastern empires

Aqueducts and canals, usually for irrigation rather than urban supply, are found in several of the early eastern empires. Armenia (at this period known as Urartu) was an early leader in complex irrigation networks, followed closely by Assyria, where at a slightly later date Sennacherib (705-681 BC) canalized the waters of the Atrush and Kohsr rivers. The scheme was executed in three phases spread over a thirteen-year period (703-690), and the final phase was the most spectacular. This involved building a dam on the Atrush at Bavian and diverting its waters by canal to Nineveh, some 55 km to the south.

I PREDECESSORI DI ROMA

Roma si fonda sugli uomini e i costumi del passato

Ennio, Annali, lib. Inc., 37

Quando quel valoroso conservatore, il poeta romano Ennio, sosteneva che lo stato romano si fondava sulle conquiste degli uomini del passato, intendeva ovviamente, i primi romani. Non pensava ai greci né agli etruschi. Ma per gli acquedotti il discorso è diverso. Non si può affrontare un lavoro come questo senza prima dare uno sguardo a quello che i romani devono ai loro predecessori non romani. Un'altra distinzione ugualmente valida ma meno ovvia è quella tra acqua locale e trasportata. Per locale intendo l'acqua che viene attinta e usata alla sua sorgente, a differenza di quella che viene trasportata per lunghe distanze: si tratta pertanto di una distinzione tra, da una parte, pozzi, cisterne, fonti e altre installazioni concepite per dare accesso all'acqua già presente localmente e, dall'altra, gli acquedotti. Nell'era antica, erano diffusi entrambi i sistemi che spesso erano complementari, ma in questo capitolo, per comodità, ci concentreremo solamente sull'acqua trasportata in epoca preromana, per lasciare la trattazione sulle acque locali, sia romane che preromane, al prossimo capitolo.

Gli imperi orientali

Acquedotti e canali, in genere usati per l'irrigazione piuttosto che per il rifornimento idrico urbano, sono presenti in molti dei primi imperi orientali. L'Armenia (conosciuta in questo periodo come Urartu) è stata uno dei primi leader nella costruzione di reti d'irrigazione articolate, seguita subito dopo dall'Assiria, dove poco tempo dopo Sennacherib (705-681 a.C.) canalizzò le acque dei fiumi Atrush e Kohsr. Il progetto fu eseguito in tre fasi in un arco di tempo di tredici anni (703-690) e la fase finale fu la più spettacolare. Questo richiese la costruzione di una diga sull'Atrush a Bavian e, canalizzandole, la deviazione delle sue acque verso Ninive, circa 55 Km a sud.

The canal followed a winding course through the foothills, crossing several valleys by embankments and masonry structures rather after the fashion of a Roman aqueduct, the most imposing being at Jerwan, here the valley is spanned by a 300 m long dyke built of limestone blocks and carrying a conduit no less than 12 m wide. Another of Sennacherib's schemes was a 20 km aqueduct, largely in tunnel, to supply the town of Arbela, later to achieve fame as the site of possibly the greatest victory of Alexander. Like the Bavian project, it drew on water impounded by damming a river. At approximately the same date, in Judah, Hezekiah (727-669 BC) brought water supplies by an underground conduit 537 m long from the spring of Siloah to within the city of Jerusalem.

The qanat

In their essential, the aqueducts of Assyria do not perhaps differ too much from their classical Roman successors, but there was another hydraulic installation that was both highly characteristic of eastern water supply and unique in its principles. This was the *qanat*. Found throughout the Middle East, but particularly common in Iran, the *qanat* is a tunnel driven into a hillside to tap an aquiferous stratum deep inside it. The tunnel has just enough of a downward slope for the water tapped to run down it and into the open air by gravity and is punctuated at intervals of 20m or so by vertical shafts to the surface (Fig. 1, appendix). The *qanat* is important to our studies for three reasons. First, although not originally a Roman form of water supply or of Roman inspiration, a great many *qanats* remained in operation in lands occupied by the Romans, so that the *qanat* was in fact a common water source in the Roman empire. Second, although the natural home of the *qanat* is Iran, its use expanded at an early date far beyond the Iranian borders. It is possible that the Romans came in contact with it indirectly (through, say, the Etruscan, whose *cuniculi* may have been a form of *qanats*) and that they were influenced by it in the formative years of their own hydraulic skills. Third, the construction techniques of the *qanat* engineers may throw light upon the techniques of the Romans, particularly, in tunnelling and

Il canale seguiva un percorso tortuoso tra colline pedemontane, attraversando molte vallate mediante terrapieni e strutture in muratura molto alla maniera di un acquedotto romano; di questi il più imponente è a Erevan, dove la vallata è attraversata da una diga di 300 metri di lunghezza costruita con blocchi di pietra calcarea, recante un condotto di non meno di 12 metri di larghezza. Un altro dei progetti di Sennacherib era un acquedotto di Km 20, per la maggior parte sotterraneo, per rifornire la città di Arbela, che in seguito sarebbe stata famosa quale luogo della, probabilmente, più grande vittoria di Alessandro. Come per il progetto di Bavian, si attingeva l'acqua raccolta in un bacino arginando un fiume. Più o meno contemporaneamente, in Giudea, Hezekiah (727-669 a.C.) provvide al rifornimento idrico mediante un condotto sotterraneo di 537 metri dalla sorgente di silo, fin nel cuore della città di Gerusalemme.

Il qanat

Gli acquedotti dell'Assiria, nelle loro caratteristiche principali, forse non differiscono molto dai loro classici successori romani, tutta via esisteva un altro impianto idraulico, molto caratteristico del rifornimento idrico orientale e unico nei suoi principi. Questo era il *qanat*. Presente in tutto il Medio Oriente ma particolarmente comune in Iran, il *qanat* è un tunnel scavato nel pendio di una collina per attingere dalla falda acquifera al suo interno. Il tunnel ha appena la pendenza necessaria per permettere all'acqua raccolta di scorrere verso i piedi del pendio e uscire all'aperto grazie alla gravità, ed è intervallato ogni 20 metri da pozzi che si aprono verticalmente verso la superficie (Fig. 1, appendice). Il *qanat* è importante per i nostri studi per tre ragioni. Prima di tutto, sebbene originariamente non fosse un metodo romano o di ispirazione romana per il rifornimento idrico, una grande quantità di *qanat* rimasero attivi in territori occupati dai romani, cosicché il *qanat* era a tutti gli effetti una fonte idrica comune nell'Impero romano. In secondo luogo, sebbene la casa naturale del *qanat* sia l'Iran, il suo utilizzo si estese ben presto oltre i confini iraniani. È possibile che i romani ne siano venuti a contatto indirettamente (attraverso gli etruschi, ad esempio, i cui *cuniculi* possono essere stati una forma di *qanat*) e che ne siano stati influenzati negli anni di formazione delle loro abilità idrauliche. In terzo luogo, le tecniche di costruzione degli ingegneri del *qanat* possono fare luce sulle tecniche dei romani, in modo particolare per quanto riguarda i tunnel e i sopralluoghi. Il problema è che per le tecniche dei romani e per

surveying. The argument here is that for the roman' techniques and instruments used in such tasks as levelling and determining the aqueduct gradient, we depend almost entirely on literary sources. They describe the *chorobates*, and *diptra*, and the *groma*, and these accordingly bulk large in our accounts of romans aqueduct engineering. But there is also a range of simpler techniques employed by the *qanat* engineers, using simpler instruments, to achieve the same ends, which we know about not from written sources but because the same techniques are still in use building *qanats* in Iran today; they will be considered below, when we deal in details with the engineering of aqueducts. Though these techniques apparently date back to antiquity, there is no evidence as to whether the Romans did or did not use them. But, given that they were actually used by hydraulic engineers in the Mediterranean basin at the same time that the Romans were beginning to build aqueducts, one plainly cannot rule out the possibility that sometimes the Romans did the same thing the same way, even if it is not mentioned in the written sources.

The name *qanat* is derived from the Akkadian *qanu*, 'reed', and is cognate with the Greek *kanna* and Latin *canna*, from which in turn is derived *cannalis*, 'shaped like a reed, i.e. a pipe, thence canal'. The spelling *qanat* seems to be the commonest, but one also finds 'kanat', 'qhanats', and 'quanate', to say nothing of the Biblical city of Qanatha, named after its *qanats*. Other and quite different terms are also employed for *qanats*. Sometimes, especially in North Africa, the name is 'foggara', 'Kariz', often anglicized to 'karez', is also found, as is 'khattara': 'madjira' means the same thing, and, from the profusion of Saracen *qanats*, gave its name to the city of Madrid.

Geographically, *qanats* were and are most at home on the Iranian plateau, but at an early date they spread beyond its limits. Interpretation here seems normally to follow the diffusionist principle of archaeological evaluation – that is, where *qanats* are found outside Iran. It is assumed that this represents a transmission of ideas and not independent invention; an exception is made for Northern Europe, where *qanat*-like structures may have evolved locally. The dating of the various stages of transmission is difficult but it would seem certain that the *qanat* was already

le strumentazioni usate in operazioni quali la livellatura e la determinazione della pendenza dell'acquedotto, dipendiamo quasi completamente da fonti letterarie. Queste descrivono strumenti quali *chorobates*, *diptra* e *groma* e i quali ricorrono spessissimo nelle descrizioni a nostra disposizione della tecnica di costruzione degli acquedotti romani. Esiste però anche una serie di tecniche più semplici impiegate dai progettisti dei *qanat*, che prevedono l'utilizzo di strumenti più semplici, per il raggiungimento degli stessi scopi. Di queste siamo a conoscenza non tramite fonti scritte ma perché le stesse tecniche vengono utilizzate ancor oggi in Iran per la costruzione di *qanat*. Verranno descritte più avanti quando tratteremo in dettagli la progettazione degli acquedotti. Sebbene queste tecniche risalgano apparentemente all'Antichità, non c'è nessuna prova che stabilisca se i romani le abbiano usate o meno. Tuttavia, essendo effettivamente usate dagli ingegneri idraulici nel bacino del Mediterraneo nello stesso periodo in cui i romani cominciarono a costruire acquedotti, non si può semplicemente scartare la possibilità che a volte i romani possano aver svolto la stessa cosa allo stesso modo, anche se non è menzionato nelle fonti scritte.

Il nome *qanat* deriva dall'accadico *qanu*, 'canna palustre, giungo', ed è della stessa famiglia del greco *Kanna* e del latino *canna*, dal quale a sua volta deriva *cannalis* 'a forma di canna, ovvero, un condotto, da cui canale'. *Qanat* sembra essere la forma più comune ma si può anche trovare 'kanat', 'ghanat' 'quanate', per non parlare della città biblica di Kenat, che prese il nome dai suoi *qanat*. A volte, soprattutto in Nord Africa, il nome è 'foggara'. Esiste anche 'kariz' spesso anglicizzato in 'kareez'. Allo stesso modo esiste 'kettara': 'madjira' sta ad indicare la stessa cosa e, data l'abbondante presenza di *qanat* saraceni, si attribuì il suo nome alla città di Madrid.

Geograficamente l'altopiano iraniano era ed è l'ambiente naturale dei *qanat*, che tuttavia presto oltrepassarono i confini. In questo caso la spiegazione normalmente segue il principio del diffusionismo della valutazione archeologica: si presuppone che qualora i *qanat* vengano trovati oltre i confini dell'Iran, questo rappresenti una trasmissione di idee e non una libera invenzione. Un'eccezione è costituita dal Nord Europa, dove strutture simili ai *qanat* potrebbero essersi sviluppate localmente. È difficile datare le varie fasi di trasmissione, tuttavia sembra certo che dall'VIII secolo a.C., i *qanat* fossero già diffusi in Iran. Si crede siano arrivati in Arabia nel VI secolo e in questo modo poter venir citati da Erodoto, anche se questo non è

common in Iran by the eighth century BC. They are thought to have spread into Arabia in the sixth, and may be so recorded in Herodotus, though this is not clear. From Arabia they spread into Egypt, introduced by the Persians and probably by Darius I (around 500 BC). The best-known site is the oasis of Kargah, where some of the *qanats* are of very impressive size: one has no less than 700 vertical shafts. In Egypt, at least there seems to be no doubt that the *qanat* network was both maintained and expanded by the Romans. As for the Etruscan, it must remain unclear whether their *cuniculi* were derived from the *qanat* or an independent development, but if derived they were, then this is the era when it must have happened, around 500-500 BC. The transmission would presumably have come via the Phoenicians of Carthage, though it is not entirely sure that even they themselves knew about *qanats* in pre-Roman days. Continuing west, *qanats* existed in antiquity, built by, or at least under, the Roman in Algeria, though it is often difficult or impossible today to distinguish which actual installations are ancient. At Timgad the Roman aqueducts were actually fed by *qanats*, often not recognized as such, and it may also be that many of the tunnels in Algeria, classified as drainage works, should more accurately be categorized as *qanats*.

This is apparently as far west as the *qanat* went in antiquity. One naturally wonders about Morocco, where a large number of *qanats* of mediaeval, or Saracen date have been found. If the idea had got along the North African coast as far as Algeria, is it impossible that it made the last step and got to Morocco too?

The idea is tempting, but our chief authority regrettably rejects it, suggesting that it is more likely that the *qanat* was brought by Islam to Spain, where it enjoyed wide popularity, and was thence transferred south to Morocco only around the eleventh century AD. In Spain, it flourished, and Madrid, as noted, had a large number of them, some of which are still in use, servicing fountains. It will be fitting to close this geographical and historical survey by noting that when the *conquistadores* came from Spain to the New World, they brought with them the knowledge of this hydraulic technique and employed it in circumstances deemed suitable. Thus, it is that it was *qanats* that provided the first water supply to – of all unlikely places – the city of Los Angeles.

chiaro. Dall'Arabia si diffusero in Egitto, introdotti dai persiani e probabilmente da Dario I (intorno al 500 a.C.). Il sito più conosciuto è l'oasi di Khârga, dove alcuni qanat sono di dimensioni grandiose: uno ha non meno di 700 pozzi verticali. Almeno in Egitto sembrano non esserci dubbi sul fatto che i romani abbiano mantenuto ed espanso la rete dei qanat. Per quanto riguarda gli etruschi, non è chiaro se i loro cunicoli derivino dai qanat o se si svilupparono autonomamente, ma se rappresentano una derivazione, è proprio questa l'epoca in cui potrebbe essere avvenuto, intorno al 600-500 a.C. La trasmissione dovrebbe essere avvenuta, presumibilmente, attraverso i fenici di Cartagine, anche se non è del tutto sicuro nemmeno che questi ultimi fossero a conoscenza dei qanat in epoca pre-romana. Proseguendo verso ovest, nell'Antichità i qanat esistevano in Algeria, costruiti da, o almeno sotto, i romani, sebbene spesso oggi sia difficile o impossibile distinguere quali opere siano veramente antiche. A Tingad gli acquedotti romani venivano alimentati in pratica da qanat, spesso non riconosciuti come tali, ed è possibile anche che molti dei tunnel in Algeria, classificati come opere di drenaggio, debbano essere, più correttamente considerati qanat.

L'espansione dei qanat in Antichità non si spinse apparentemente più ad occidente di così. È naturale quindi interrogarsi sul Marocco dove sono stati trovati un gran numero di qanat di epoca medievale o saracena. Se quest'invenzione ha trovato spazio sulle coste del Nord Africa sino in Algeria, è proprio impossibile che abbia compiuto un ultimo passo per penetrare anche in Marocco?

L'idea è allettante ma le nostre fonti più autorevoli sfortunatamente la respingono, sostenendo che è più probabile che il qanat sia stato portato in Spagna dall'Islam, dove ebbe grande popolarità, e da lì portato a sud in marocco solamente intorno all'undicesimo secolo a.C. In Spagna fiorì e, come già sottolineato, Madrid ne aveva molti, alcuni dei quali sono ancora in uso e alimentano le fontane. Sarà opportuno chiudere questo studio geografico e storico notando che, quando i *Conquistadores*, approdarono nel Nuovo Mondo, portarono con sé le conoscenze di questa tecnica idraulica e la utilizzarono nelle circostanze ritenute appropriate. Pertanto, furono proprio i *qanat* a provvedere al primo rifornimento idrico, fra tutti i luoghi più impensati, della città di Los Angeles.

L'invenzione dei *qanat* è quasi sicuramente da considerarsi come un sottoprodotto dell'industria estrattiva, piuttosto che dell'agricoltura o dell'irrigazione. Il modo più facile

The invention of the *qanat* is almost certainly to be seen as a by-product of mining, rather than agriculture or irrigation. The easiest way of draining a mine, if the strata and topography are such as to permit it, is to cut a gallery from the inundated area running slightly downhill to the open air, so drawing off the water. Naturally, this will only work in special circumstances, such as when the mine has been driven into a mountainside, but it is commonly found in ancient workings. Moreover, mining produced another by-product useful to the *qanat* engineer: a study of strata and underground topography. It is not without significance that the oldest known drawn plan is not a plan of an architectural monument, but of a mine. For this combination of skills, to produce a *qanat*, all that was needed was an inversion of priorities. One dug a tunnel that, instead of getting rid of unwanted underground water and disposing of it no matter where, tapped underground sources and delivered the water where it was needed. The mines themselves go back to a very early date in Iran. The *qanat* was derived from them at some later period, but although the first *qanats* actually attested date only from the eighth century BC, one presumes that, given the early date of the mines, the derivation took place well before that.

The *qanat* is generally located in the foothills of a sizeable ridge or mountain, for two reasons, First, the sloping land surface makes possible a tunnel that sinks deeper underground while actually running uphill from the entrance. Second, such a ridge is liable to feed the aquiferous strata by forcing higher the rainbearing clouds and inducing precipitations. In theory, all that is then required is a sloping tunnel driven into the hillside to tap the water and bring it running by gravity to the outflow., to form an artificial spring. The slope of the tunnel is carefully surveyed to be constant throughout – unlike aqueducts, where this gradient often varies – and is at the shallowest gradient that will keep the water flowing: the greater the gradient, the greater the danger of damage from erosion and the stream eating

per prosciugare una miniera, se la falda e la topografia sono tali da permetterlo, è di scavare una galleria partendo dalla zona inondata e scendendo con una leggera pendenza verso l'aria aperta, in modo da succhiare via l'acqua. Ovviamente, questo funzionerà solo in situazioni particolari, come nel caso ad esempio di una miniera scavata sul versante di una montagna, ma è comunque abbastanza comune nelle opere antiche. Inoltre, l'industria mineraria produceva un altro derivato utile al costruttore dei *qanat*: uno studio delle falde e della topografia sotterranea. Non è un caso che il primo progetto realizzato, a noi pervenuto, non sia di un monumento architettonico ma di una miniera. Con questa combinazione di capacità, tutto quello che serviva per costruire un *qanat* era un'inversione delle priorità. Si scavava un tunnel che, invece di eliminare l'acqua sotterranea indesiderata che veniva poi smaltita in un posto qualunque, attingeva da sorgenti sotterranee e distribuiva l'acqua laddove necessario. In Iran, le miniere stesse risalgono ad un'epoca molto remota. La nascita dei *qanat* deriva da queste e risale ad un periodo più tardo, ma, sebbene i primi *qanat* realmente riconosciuti si attestino a partire solamente dall'ottavo secolo a.C., si suppone che, data la creazione molto antica delle miniere, la derivazione avvenne molto prima di questa data.

Generalmente il *qanat* è situato nelle colline pedemontane di un'imponente catena montuosa o di una montagna e questo per due ragioni. In primo luogo, la pendenza del terreno rende possibile la creazione di un tunnel che scenda in profondità mentre, in realtà, dall'entrata il percorso è in salita. In secondo luogo, questa catena montuosa è in grado di alimentare le falde acquifere spingendo più in alto le nuvole cariche d'acqua e causando precipitazioni. In teoria, tutto quello di cui si necessita, è un canale in pendenza, scavato nella montagna per attingere l'acqua e farla fluire per gravità verso il punto terminale, così da formare una sorgente artificiale. Si controlla attentamente che lungo tutto il percorso la pendenza del condotto rimanga stabile, a differenza degli acquedotti, nei quali spesso varia, e sarà sufficiente una leggerissima pendenza perché l'acqua continui a fluire: più la pendenza è forte e maggiore è il pericolo che il flusso dell'acqua corroda il suo letto e che vi siano danni causati dall'erosione. Normalmente si utilizza una pendenza dello 0,5‰, ovvero di 0,5 m. in 1 Km. A confronto con la maggior parte degli acquedotti romani, questa pendenza è lieve, sebbene rientri nella stessa scala di

into its bed. The gradient normally used is 0,5‰, or 0.5 m in 1 Km. As compared with most Roman aqueducts, this gradient is slight, though it is in the same range as those of Nîmes, Arles or the Aqua Appia in Rome. The water is usually carried in a gutter or channel in the floor of the tunnel, the tunnel itself being of dimensions determined by the need for human access, and usually about 0.5 x 1.2 m; we will again encounter this practice in Greek and roman aqueduct tunnelling. The tunnels were normally unlined, but, in modern work at least, are often reinforced when passing through strata where there is a danger of collapse by the insertion of large terracotta rings (*kaval*) of about 1.2 m diameter, which interlock with each other after the fashion of classical terracotta pipes, to form a continuous tube. It does not seem to be known whether this technique was used in antiquity.

However, although it is the tunnel that is the heart and *raison d'être* of the *qanat*, it is the vertical shafts that are its most outward and visible manifestation. These were dug chiefly for the evacuation of excavated spoil during the construction of the tunnel, and the spoil was then heaped up in a ring around the mouth of each shaft, forming a concave or saucer-shaped depression with the shaft in the middle. The course of the *qanat* is thus characteristically marked by a string of these rings across the land, like a line of stitching. In most handbooks, the *qanat* is shown diagrammatically, as in my Fig. 1 (appendix), so the number of shafts is small, only four or five. In reality, *qanats* can be very long indeed. An underground tunnel of 10 or 15 km, getting all the time gradually deeper below the surface, is not at all unusual, and in the largest known *qanat*, at Gonabad, the tunnel runs for no less than 35 km. Over this distance, the shafts will be spaced a mere 5-20 m apart – a wider spacing reflecting a greater skill on the part of the engineers – which means that even an ordinary average-sized *qanat* is liable to be marked by a string of over 500 of them. We may note that in aqueduct tunnels the superior skill of the Roman engineers enabled them to space their shafts much further apart – Vitruvius recommends a spacing of an *actus* (?) or 35m. In-depth, the shafts increased progressively as one

quelli di Nîmes, Arles e dell'Acqua Appia a Roma. Generalmente l'acqua viene trasportata in un condotto o canale sul fondo del cunicolo, le cui dimensioni sono in funzione della necessità d'accesso da parte dell'uomo e di solito è di m. 0,6 x 1,2; incontreremo ancora questa pratica nella canalizzazione degli acquedotti greci e romani. Normalmente i canali non venivano rivestiti, ma almeno nelle opere moderne, sono spesso rinforzati nei punti in cui esiste pericolo di crollo tramite l'inserimento di grandi anelli di terracotta (*Kaval*) di circa 1,2 m di diametro, che si univano tra loro secondo lo stile delle classiche condotte di terracotta per formare un canale continuo. Non siamo in grado di stabilire se questa tecnica sia stata usata anche in Antichità.

Tuttavia, sebbene il tunnel rappresenti il cuore e la *raison d'être* del *qanat*, i pozzetti verticali ne sono la manifestazione più esterna e visibile. Questi venivano scavati principalmente per l'espurgo dei materiali prodotti durante lo scavo, e venivano poi lasciati intorno all'apertura di ogni pozzo formando così una depressione concava o a forma di scodella con al centro il pozzo.

Il Corso del *qanat* è così caratteristicamente segnato da una serie di anelli che attraversano il terreno, come una cucitura. Nella maggior parte dei manuali, il *qanat* viene mostrato schematicamente come nella mia Fig. 1 (appendice), per cui il numero dei pozzetti è limitato, solo quattro o cinque. In realtà, invece, i *qanat* possono essere veramente molto lunghi. Un canale sotterraneo di 10 o 15 km, che scende sempre più in profondità, non è affatto raro e nel *qanat* più conosciuto, a Gonabad, il tunnel si estende per non meno di 30 km. Lungo questa distanza, i pozzetti saranno posti ad una distanza di 5-20 metri – dove a una distanza più ampia corrisponde una maggiore capacità da parte dell'ingegnere – il che significa che perfino un *qanat* di medie dimensioni può essere contraddistinto da una file di oltre 500 di questi pozzetti. Si deve constatare che nei tunnel degli acquedotti la maggior abilità degli ingegneri romani permise loro di posizionare i pozzetti ad una distanza molto maggiore – Vitruvio raccomanda una distanza di un *actus* (?) ossia 35 metri. In fatto di profondità, i pozzetti aumentavano progressivamente man mano che ci si allontanava dallo sblocco e pertanto l'ultimo (*le puits-mère* o, in arabo *gamaneh*) era il più profondo. Spesso era profondo 100 o 150 metri, sebbene nei grandi *qanat* di Gonabad era di almeno 300,

got further from the outflow, the last one (*le puits-mère* or, in Arabic, *gamaneh*) being the deepest. It was often 100 or 150 m. deep, though in the giant *qanats* of Gonabad, it was full 300 m and had to be broken up into three successive, staggered shafts of 100 m. each, with a landing between each pair. As well as for evacuating spoil, the shafts had other uses. Their close spacing made for rapidity of construction of the tunnel, through simultaneous access to a multiplicity of workforces. They also provided for ventilation of the tunnel and perhaps, to some extent, aerated the water as it flowed. Finally, they provided a convenient means of evacuating the silt, mud and other accumulated debris during cleaning operations.

On the volume of water produced by a *qanat*, it is obviously impossible to generalize, any more than one can set an average for a spring. In modern Iran, the overall average per *qanat* works out at somewhere around 1,300 m³ per day (15l/sec), or about half the discharge of the smallest of Roman aqueducts. The largest on the other hand, at Sarud, 400 km east of Theheran, produces 77,760 m³ (900l/sec), about the total of all four Lyon aqueducts combined, though here the very high output may come from an underground stream intersected by the *qanat* rather than water seeping from the aquifer into the catchment tunnel in the ordinary way. At the other extreme, in the arid climate of the Sahara and Morocco, some of the smaller *qanats* yield only 432 m³ (5 l/sec) daily, or even less, though this is still enough to provide a small village with a living. It must be emphasized, however, that unlike the Roman aqueducts, which carried large volumes of water to a town already established, and that largely for luxury uses such as the baths, the water from *qanats* was used locally for irrigation at whatever point the surveyor found it convenient for the delivery tunnel to come to the surface. Some *qanats* might serve orthodox aqueducts, as at Timgad, or be built to supplement an oasis, but mostly the village, and its irrigated land, sprang up around the *qanat* and its outflow. The situation was therefore the reverse of what happened with aqueducts. With *qanats*, it was the *qanat* that came first and the settlement it served grew up afterwards, while with aqueducts it was the other way round. It

e fu necessario suddividerlo in tre pozzetti, sflasati ed in successione, di circa 100 metri ognuno, con un passaggio tra ogni coppia. I pozzetti avevano anche altre funzioni, oltre a quella di eliminare il materiale estratto. La loro vicinanza contribuiva alla rapidità di costruzione, grazie all'accesso simultaneo a più pareti da lavorare. Essi fornivano anche la ventilazione del tunnel e forse, in qualche misura, all'ossigenazione dell'acqua durante il suo deflusso. Infine, fornivano un mezzo pratico per rimuovere il limo, il fango e gli altri detriti che si accumulavano durante le operazioni di espurgo.

Ovviamente, è impossibile generalizzare sul volume d'acqua prodotto da un *qanat*, così come non è possibile stabilire una media per una sorgente. Nell'odierno Iran la media complessiva di ogni *qanat* si aggira intorno ai 1300 m³ al giorno (15 l/sec), ossia circa metà dello scarico del più piccolo degli acquedotti romani.

Il più grande, invece, a Sarud, 400 km ad est di Teheran, produce 77.768 m³ (900 l/sec), circa il totale di tutti e quattro gli acquedotti di Lione messi insieme, sebbene in questo caso la portata così alta possa derivare da un corso d'acqua sotterraneo che attraversa il *qanat* piuttosto che, seguendo il metodo ordinario, dall'infiltrazione dell'acqua della vena acquifera nel tunnel di raccolta. All'altro estremo, nell'arido clima di Sahara e Marocco, alcuni dei *qanat* più piccoli erogano solamente 432 m³ (5 l/sec) giornalmente, o anche meno, sebbene questo sia comunque sufficiente per tenere in vita un piccolo villaggio. Va sottolineato, tuttavia, che a differenza degli acquedotti romani, che fornivano elevati volumi d'acqua a una città già sviluppata, e molto spesso per attività di svago come le terme, l'acqua proveniente dai *qanat* veniva usata localmente per l'irrigazione in qualsiasi punto il sovrintendente ritenesse utile far tornare alla superficie il tunnel. Alcuni *qanat* potevano servire un acquedotto ortodosso, come a Timgad, o esser costruiti per rifornire un'oasi, ma nella maggior parte dei casi erano il villaggio, e le terre irrigate, ad allargarsi intorno al *qanat* e al suo sbocco. La situazione, dunque, era opposta a quella degli acquedotti. Nel caso del *qanat*, è il *qanat* stesso a venire prima dell'insediamento che invece era successivo. Per gli acquedotti invece avveniva il contrario. Rimane da ribadire solamente che, mentre la maggior parte di questa vasta rete di *qanat* si trovava oltre i confini dell'Impero romano, una porzione considerevole era situata al loro interno e, in particolar

remains only to be repeated that while this vast *qanat* network was largely outside the boundaries of the Roman empire, a sizeable portion of it lay within them and, particularly for rural irrigation in North Africa, was an important part of ancient Roman water supply.

The Greeks

Archaic and classical

Water supply in ancient Greece can most conveniently be divided into two periods, for the coming of the Hellenistic age, with its siphons and other ambitious schemes, effectively changed the whole picture. In archaic and classical Greece, one seldom finds anything that, especially in comparison with the more grandiose roman projects, one can really call an aqueduct. Most cities had some sort of local spring at their centre, and probably grew up around it. In a major city they often achieved symbolic fame that far exceeded their actual utility, and Glauke and Peirene at Corinth, the Clepsydra on the Athenian Acropolis, to say nothing of Castalie at Delphi, were celebrated far and wide. Usually, these urban springs were, at one time or another, artificially systematised by the provision on the site of a fountain house, stone basins for filling water jars, and various architectural adornments. In particular, waterworks of this kind were a favourite project for tyrants. It might also be that, as the city grew the local spring had to be supplemented with additional supplies piped in from a distance. This happened with the best-known fountain in Athens, the Enneakrounos ('Nine-spouter'), which was fed not only from the local spring Kallirhoe ('Far-flowing') that preceded it on the site, but from a terracotta pipeline that brought supplies from somewhere in the direction of Hymettos, or possibly Pentelikos.

The terracotta pipeline seems to have been the normal method of conveying water in classical Greece. Often the pipes might be laid along the bottom of a large channel or tunnel, provided to facilitate access for maintenance, as on Samos, but

modo per l'irrigazione dei campi in Nord Africa, essa rappresentava una parte importante dell'antico rifornimento idrico romano.

I greci

Periodi arcaico e classico

L'approvvigionamento idrico nella Grecia antica può essere più convenientemente diviso in due periodi, in quanto l'arrivo dell'età Ellenistica, con i suoi sifoni e altri progetti ambiziosi, effettivamente modificò l'intero scenario. Nella Grecia antica e classica raramente si può trovare qualcosa che, specialmente se paragonata ai più grandiosi progetti romani, possa essere chiamata acquedotto. Al centro della maggior parte delle città esisteva una sorta di sorgente locale e, probabilmente intorno alla quale si sviluppava l'abitato. In una città importante queste fonti acquisivano una fama simbolica che andava ben oltre la loro effettiva utilità, e glauco e Pirene a Corinto, la Clessidra sull'acropoli di Atene, per non parlare di Castalia a Delfi, venivano ampiamente celebrate in tutto il mondo. Di solito queste fonti urbane, prima o poi, venivano attrezzate tramite la costruzione sul uogo di una fonte, di vasche in pietra da utilizzare per riempire le anfore e di vari ornamenti architettonici. Questo tipo di opere idrauliche, in particolare, rappresentava un progetto tipico di molti tiranni. È possibile anche che, con l'espandersi della città, fosse necessario integrare la sorgente locale con rifornimenti aggiuntivi che dovevano essere incanalati da zone lontane. Ciò accadde con la più famosa fontana di Atene, la Enneakrounos ('con nove getti'), la quale era alimentata, oltre che dalla fonte locale Kallirhoe ('dal limpido flusso') che la precedeva sul uogo, anche da una condotta di terracotta che raccoglieva l'acqua in un punto non precisato nella zona di Hymettos o forse di Pentelikos

Nella Grecia classica, il metodo più usato per convogliare l'acqua sembra essere stato quello della condotta di terracotta. Spesso le tubature venivano sistemate sul fondo di un grande canale o tunnel, al fine di facilitare l'accesso per le operazioni di manutenzione, come a Samo. Tuttavia, generalmente si noterà che questo canale non era pieno d'acqua, al contrario degli acquedotti romani. Ne consegue che gli

it will usually be found that this channel was not itself full of water, while in roman aqueducts it usually was. It follows that roman aqueducts normally carried a much greater volume of water than these Greek pipelines, though, as at Kuttolsheim, they too sometimes used pipes. The terracotta pipes, usually around 20-25 cm diameter, were designed to fit into each other, and sometimes had an opening in the top covered by a lid. Intended either for inspection and cleaning or to enable the workman to get his hand inside to plaster the joint during installation, these holes at least make it plain that the water inside was not running under pressure; in fact, on the Enneakrounos pipeline, 'inside the pipes is a hard lime deposit up to half an inch thick along the bottom and part way up the wall', making it plain that normally the pipes were not even full, but instead operated hydraulically like a gravity-flow open conduit. This was not invariable so. Where the terrain made it advisable, the pipeline ran full, and up and down minor irregularities in ground level. On these stretches, it was laid with pipe sections with no inspection holes, as the water ran under at least normal pressure. It is impossible to say whether such a system led to the inverted siphons that formed so prominent a feature of Hellenistic work, but it is undeniable that the principle is the same, and it is only a matter of degree.

To this simple system, more sophisticated modifications could be added. One way was to attach to the fountain house carrying the delivery spouts a large storage reservoir. Its purpose can only be guessed but the most obvious conjecture is that it was employed where daily needs were found to exceed the daily discharge by the spring or pipeline; a storage reservoir would enable surplus water to be accumulated and stored during the off-peak hours of darkness, and so help satisfy the increased demands of the coming day. The best-known is the so-called fountain house of Theagenes at Meagar (appendix, fig. 2), a late-sixth-century structure inaccurately ascribed to the tyrant by Pausanias. This was an oblong tank some 18 x 13,5 m, covered with a flat roof carried on five rows of seven octagonal pillars

acquedotti romani, normalmente, trasportavano un volume d'acqua molto maggiore rispetto a queste condutture greche, sebbene, come a Kuttolsheim, anche loro usassero le tubature. Le tubazioni di terracotta, generalmente di circa 20-25 cm. Di diametro, erano concepite per entrare una dentro l'altra, e a volte erano provviste di un'apertura nella parte superiore, coperta da un coperchio. Costruite per le operazioni di controllo e di espurgo o per permettere agli operai di inserire la mano per intonacare la congiunzione durante l'installazione, queste aperture rendono quanto meno evidente il fatto che l'acqua all'interno non scorresse sotto pressione; in effetti nella condotta della Enneakrounos, 'all'interno delle tubature, sul fondo e in parte sulle pareti, vi è un considerevole deposito di limo spesso fino a quasi mezzo pollice'. Questo chiarisce il fatto che di norma le condutture non erano nemmeno piene, ma che invece funzionavano idraulicamente come un condotto aperto con flusso a caduta. Tuttavia, non era sempre così. Nei punti in cui il terreno lo permetteva, la condotta era piena e seguiva le irregolarità minori del terreno. In questi tratti la condotta non veniva fornita di aperture per il controllo, dal momento che l'acqua scorreva ad una pressione almeno normale. Non siamo in grado di affermare se questo sistema abbia portato al sifone rovescio che rappresentò un importante aspetto delle opere ellenistiche. È innegabile però che il principio sia lo stesso ed è solo una questione di gradi.

A questo semplice sistema era possibile aggiungere variazioni più sofisticate. Una di queste consisteva nel collegare un grande serbatoio di raccolta alla fontana dotata di getti di distribuzione. Lo scopo può solo essere immaginato ma l'ipotesi più ovvia è che venisse usato laddove il fabbisogno giornaliero eccedeva il rifornimento giornaliero della fonte o della condotta; un serbatoio di raccolta avrebbe permesso di raccogliere e immagazzinare l'acqua durante le ore di minore richiesta della serata, in modo da soddisfare la crescente domanda del giorno dopo. La più conosciuta è la cosiddetta fontana di Theagenes a Megara (Fig. 2, appendice), una struttura della fine del sesto secolo che Pausania inaccuratamente ha ascritto al tiranno. Era un serbatoio rettangolare di circa 18 x 13,5 metri con una copertura piatta sostenuta da cinque file di sette pilastri ottagonali ciascuna e che portava direttamente ad una serie di vasche disposte su una delle estremità, dalle quali i cittadini riempivano le proprie anfore. La portata è

each and directly running into a line of dip basins across one end, from which the public filled their amphorae. The capacity is around 380 m³, and it has been calculated that, at a discharge of 15 l/sec, it would take the delivery pipe seven hours to fill it, which would confirm that the intention was for it to fill up by night and be used by day.

A separate and parallel refinement was to build a similar reservoir at the other end of the pipeline, into which the springs discharged directly and from which the water then entered the pipes for conveyance to the eventual deliver point in the city. The pipeline could thus be equipped with two reservoirs, one at each end, or with either one independently. A good example of the reservoir at the springs is that on the sixth-century BC aqueduct built by Eupalinos on Samos. It is roughly triangular in shape, as dictated by the natural rock formation upon which it is built, and covered by a roof carried on fifteen square limestone piers. On one side, two openings deliver the water from the springs in the rock facing them a third is the take-off point for the pipeline. It is noteworthy that this is not at floor level but some distance above it. The pipeline could thus run dry while there was still water in the reservoir. The purpose of this arrangement was evidently that the reservoir served not only as a collector to feed the pipeline, but also as a settling tank, allowing particles of earth and other sediment carried in by the water to sink to the bottom. For cleaning out, a drain hole at floor level was provided below the offtake pipe. It was probably not uncommon for such a settling tank to be provided on archaic Greek aqueducts at the point where the water left the spring and entered the pipeline, though not perhaps on the scale of the installations at Samos.

The fame of the Samos aqueducts, however, rests chiefly on another feature, itself perhaps the most striking single testimony to the hydraulic skill of the Greeks of the archaic age. This is the tunnel of Eupalinos. We are fortunate in having the clear statement of Herodotus that during the tyranny of

intorno ai 380m³, ed è stato calcolato che, con un'erogazione di 15 l/sec, la tubazione di rifornimento avrebbe impiegato sette ore per riempire il serbatoio. Questo confermerebbe che l'intenzione era quella di riempirlo durante la notte e usarlo durante il giorno.

Un accorgimento separato e parallelo era quello di costruire un serbatoio simile all'altro capo della condotta, nel quale le sorgenti defluissero direttamente e dal quale l'acqua venisse fatta entrare nelle tubature per poi essere convogliata verso l'eventuale punto di sbocco nella città. La condotta poteva, perciò, essere fornita di due serbatoi, uno ad ogni estremità, o anche di uno soltanto, indipendentemente. Un buon esempio di serbatoio costruito vicino alle sorgenti è quello presente sull'acquedotto del sesto secolo a.C., costruito da Eupalino a Samo. Ha pressappoco una forma triangolare, come imposto dalla naturale conformazione della roccia sulla quale è costruito, ed è coperto da un tetto sostenuto da quindici pilastri quadrati in pietra calcarea. Da una parte, due aperture conducono l'acqua dalle sorgenti nella roccia; sul lato opposti, una terza pietra ospita l'inizio della condotta. Vale la pena notare che questa non si trova sul livello del terreno ma è leggermente sopraelevata. In questo modo, la condotta poteva dunque prosciugarsi mentre nel serbatoio vi era ancora dell'acqua. Lo scopo di un tale sistemazione era evidentemente quello di far funzionare la cisterna sia come bacino di raccolta per alimentare il canale, che come vasca di decantazione, permettendo così alle particelle di terra e agli altri sedimenti portati dall'acqua di depositarsi sul fondo. Per le operazioni di espurgo, esisteva un foro di frenaggio posto all'altezza del pavimento, al di sotto della condotta di deviazione. Probabilmente non era insolito trovare negli acquedotti della Grecia antica, una vasca di decantazione, nel punto in cui l'acqua della sorgente entrava nella condotta, sebbene forse non negli impianti delle dimensioni di Samo.

Tuttavia, la fama dell'acquedotto di Samo è dovuta soprattutto a un altro aspetto, forse l'unica e più importante testimonianza della capacità idraulica dei greci dell'era antica: il Tunnel di Eupalino. Siamo fortunati ad avere una dichiarazione chiara di Erodoto riguardo la costruzione durante la tirannia di Policrate, ossia verso la fine del sesto secolo, da parte di Eupalino, figlio di Naustrophos, di Megara, di un tunnel

Polycrates, that is, in the late sixth century, Eupalinos, son of Naustrophos of Megara, built a 'double mouthed' (*amphistomon*) tunnel on the Samos aqueduct; he also gives full dimensions, which are more or less accurate. The fortune consists of the fact that without this firm dating, we would undoubtedly have ascribed the tunnel to the Hellenistic age in the full confidence that the archaic Greeks could never have managed so advanced a feature of engineering. Indeed, almost the greatest value of the Eupalinos tunnel is the salutary lesson it offers to modern scholars and their estimates of the technical capacity – or incapacity – of the ancients at any given period. The tunnel (appendix, Fig3, 4) was dug simultaneously from both ends and, running under the Kastro on Mt Ampelos, is just over 1 km long; in cross-section it is more or less square, 1.8 x 1.8 m. More remarkable was the fact, established only by careful measurement in 1960 by Kastenbein, that the main tunnel is actually 'horizontal, with a slight sag in the centre'; in spite of this, almost all the handbooks print drawings showing it, reasonably but wrongly, with a downhill slope. Along the floor of the main tunnel was dug a continuous trench, in the bottom of which ran the terracotta pipeline actually carrying the water. Instead of being in the centre of the tunnel, as was usual with such an arrangement, it ran along one side, close against the wall, and though the tunnel was horizontal, the bottom of the trench was not, getting progressively deeper below it and so giving the pipeline the necessary downward slope to carry the water – the gradient actually work out at 0,4%, dropping around some 5 m through the length of the tunnel. Even at the shallow end, this trench is remarkably deep, going down some 3.5 m below the floor, while at the lower, or southern end, it is 8,5 m, so that the pipes run at the bottom of a deep cleft or chasm. The top of the trench is often covered over with stone slabs, and it has been partly filled in; the fill, however, does not actually go right down to the bottom, so that the pipeline runs in an open space forming, in effect, a second tunnel underneath the main one (Fig. 4(b), appendix). The most reasonable explanation for this approach is probably that the problems in underground measurement and levelling precluded the driving

con doppia apertura (*amphistomon*) sull'acquedotti di Samo; lo storico ci fornisce anche, più o meno correttamente, tutte le dimensioni. La fortuna consiste nel fatto che senza questa precisa datazione, avremmo senza dubbio ascritto il tunnel all'età ellenistica, nella piena convinzione che i greci dell'età antica non avrebbero mai potuto essere gli artefici di una simile opera di ingegneria. Infatti, si potrebbe dire che il più grande valore del tunnel di Eupalino, invece, è la sana lezione che offre agli studiosi e alle loro valutazioni sulle capacità, o incapacità, tecniche degli antichi in un dato periodo. Il tunnel (Figg. 3, 4, appendice) venne scavato simultaneamente da ambo le parti e, correndo sotto il Castro sul monte Ampelos, per una lunghezza di oltre 1 km; visto in sezione è di forma più o meno quadrata, 1,8 x 1,8 metri. Più degno di nota è il fatto, stabilito da Kastenbein solo dopo attente misurazioni nel 1960, che il tunnel principale sia in realtà 'orizzontale, con un leggero avvallamento nel centro'. Nonostante questo, la maggior parte dei manuali pubblicano immagini in cui viene mostrato con una pendenza, ragionevolmente ma erroneamente, Sul fondo del tunnel principale venne scavata una trincea continua, sulla cui base correva la conduttura in terracotta che effettivamente portava l'acqua. Invece di trovarsi al centro del tunnel, come era tipico di questo tipo di opere, essa correva su un lato, vicina alla parete e, sebbene il tunnel fosse orizzontale, il fondo della trincea non lo era, scendendo sempre più in profondità sotto di essa in modo da dare alla conduttura la necessaria pendenza per trasportare l'acqua – il grado di pendenza si attesta a 0,4%, con un abbassamento di circa 5 metri su tutta la lunghezza del tunnel. Perfino nel punto più basso questa trincea è piuttosto profonda, scendendo a circa 3,5 metri sotto il livello del terreno, mentre nell'estremità più bassa, ovvero a sud, è di 8,5 metri, così che le tubazioni corrono sul fondo di una profonda spaccatura o voragine. La parte superior della trincea è spesso coperta da lastre di pietra ed è riempita in parte; il materiale di riempimento, in realtà, non arriva fino in fondo, così che la conduttura corre in uno spazio aperto formando, in effetti, un secondo tunnel sotto a quello principale (Fig. 4(b), appendice). La spiegazione più ragionevole per questo tipo di sistemazione è probabilmente che i problemi di misurazione e livellamento sotterranei impedirono di poter scavare un tunnel principale con la pendenza costante richiesta. Venne costruita, invece, una galleria orizzontale come

of a main tunnel at the steady downward slope required. Instead, a horizontal gallery was established as a base line from which the gradient of the pipeline could be set by frequent vertical measurement after the fashion in which the slope of the draining gallery in a qanat was fixed by measurement down the vertical shafts. No doubt it was also used as a service gallery for construction and maintenance and, since its southern mouth lay actually inside the walls of the ancient city, may have also provided a handy means of secret access or escape in time of military emergency. However, we must also note that in Greek water supply there are other cities that built tunnels in pairs, one on top of the other and connected by regular vertical shafts. Such an approach – it may be observed at Athens, Syracuse and Acragas – certainly recalls the qanats, and may be of relevance to a proper understanding of Samos, though the true answer remains problematic. The truth of it is that there is much here still to be understood, particularly on the whole question of levelling, how Eupalinos went about it, what his intentions were and, of the various features of the tunnel, which are accidental and which deliberate.

We now leave levelling and look at the tunnel in plan. The tunnel was built throughout without any vertical shafts, since the Kastro hills, rising to 230 m high, would presumably have made them too deep to be economically worth it. That work proceeded from both ends is nowhere stated in our sources (unless it is implicit in Herodotus' otherwise rather odd description of it as 'double mouthed'), but it is obvious when one look at the tunnel in plan (Fig. 4(a), appendix). From each end the tunnel runs straight for several hundred metres. Both alignments are correct, and if continued would have met to produce a completely straight tunnel. Unfortunately, this initial and well-placed confidence was not sustained, and in the middle third of the tunnel, there are several zig-zags as the two halves weave back and forth, apparently seeking each other. Nevertheless,

linea di base dalla quale poter stabilire, attraverso frequenti misurazioni verticali, il grado di pendenza da dare alla condotta, riprendendo la tecnica con la quale veniva stabilita la pendenza del canale di scolo di un *qanat*; ovvero, attraverso le misurazioni effettuate all'interno dei pozzetti verticali. Non vi è dubbio che il tunnel sia stato utilizzato anche come galleria di servizio per la costruzione e manutenzione e, visto che la sua apertura sud si trova praticamente all'interno delle mura della città vecchia, durante i periodi di emergenza militare potrebbe aver rappresentato un'agevole via di accesso o di fuga segreta. Tuttavia, dobbiamo notare che nel rifornimento idrico greco esistono altre città in cui sono stati costruiti tunnel uno sopra l'altro e uniti da pozzetti verticali a distanze regolari. Questo tipo di impostazione, che può essere osservato ad Atene, Siracusa e Agrigento, richiama certamente i *qanat*, e può essere rilevante per una giusta comprensione di Samo, anche se la vera risposta rimane problematica. La verità è che vi è ancora molto da capire, soprattutto per quanto riguarda l'intera questione del livellamento, come fu affrontata da Eupalino, quali erano le sue intenzioni e, a proposito delle varie caratteristiche del tunnel, quali sono quelle casuali e quali quelle calcolate.

Lasciamo da parte a questo punto il problema della livellazione e guardiamo il tunnel in pianta. Il tunnel fu costruito senza pozzi verticali, dato che la collina di Castro, che raggiunge un'altezza di 230 metri, li avrebbe resi, presumibilmente, troppo profondi per essere economicamente vantaggiosi. In nessuna delle nostre fonti vi è la prova che il lavoro fu svolto partendo da ambo i lati (a meno che non sia implicito nella altrimenti piuttosto strana descrizione che ne fa Erodoto, in cui definisce il tunnel "con doppia entrata", ma risulta ovvio nel momento in cui si guarda il tunnel in pianta. Partendo da entrambe le estremità, la galleria scorre diritta per molte centinaia di metri. Entrambi gli allineamenti sono corretti, e se si fosse continuato in questo modo, avrebbero finito per formare una galleria completamente diritta. Purtroppo, questa ben riposta fiducia iniziale non è stata assecondata dai fatti, e, nel segmento centrale, il tunnel descrive molti zig-zag, con le due metà che si inseguono avanti ed indietro, apparentemente per cercarsi. Tuttavia, alla fine si incontrarono in un punto vicino alla linea di metà percorso. Sicuramente a volte si sono persi in inutili

meet they eventually did, at a point near the halfway mark. Some time had certainly been wasted in unnecessary irregularities, but in all, one can only admire the care of the surveying, the success of the execution and the boldness of the enterprise. It ranked as a monumental wonder in the Greek world and may have been the model that Hero of Alexandria had in mind six centuries later when he described a hypothetical example for the use of his dioptra in laying out the orientation of a tunnel through a mountain. We can thus not rule out the possibility that it was also known to roman engineers and may have influenced some of them.

Aqueduct building in classical Greece showed no great difference from archaic practice. Most cities were served by fountains in some central location, drawing their water from a local source or supplied by a conduit. Such conduits were almost invariably of terracotta piping. The pipes, usually around 25 cm internal diameter, were laid along the bottom of a trench or tunnel, ensuring both access and protection, and there might be two or more pipes in parallel, depending on the volume of water to be carried. The water supply was always carried underground, just as reservoirs were always roofed, and it has sometimes been suggested that this was done for military reasons, to protect the supply from enemies. This does not seem to be the whole answer, however. At Acragas, the entire system was so protected even though it lay wholly within the city wall, and this must have been done as a protection from pollution. It was probably not just to prevent odd debris from falling into the channel. The Greek medical writers are very conscious of the importance of pure water, and it look as if they were reluctant for it to be exposed even to the open air.

The most remarkable and fully published work of classical Greek water supply is probably that of Perachora, but unfortunately, this no longer seems as clear-cut a case as it did upon excavation, and the picture is now very confused. The water source and the point of delivery are only 200m or so apart, and the most obvious anomaly is that while both feature elaborate

irregolarità ma nel complesso non si può che ammirare la cura dei sopralluoghi, il successo dell'esecuzione e l'audacia dell'impresa. Essa viene annoverata tra le meraviglie monumentali del mondo greco, e può aver costituito il modello che Erone di Alessandria aveva in mente sei secoli dopo, quando descrisse un esempio ipotetico per l'uso della sua dioptra, per il tracciamento dell'orientamento di una galleria attraverso una montagna. Non dobbiamo dunque escludere la possibilità che fosse conosciuto anche dagli ingegneri romani e che possa aver influenzato alcuni di loro.

La costruzione degli acquedotti nella Grecia classica non mostrava grandi differenze rispetto alla tecnica antica. Molte città venivano servite da fontane situate in punti centrali, le quali raccoglievano l'acqua da una sorgente locale o venivano alimentate da condutture. Queste erano costituite quasi sempre da tubazioni di terracotta. Le tubature, generalmente con un diametro interno di 25cm, venivano posizionate lungo il fondo di una trincea o tunnel, assicurando così, sia l'accesso che la protezione; potevano anche esserci due o più tubature parallele, a seconda del volume d'acqua da trasportare. Il rifornimento idrico era sempre sotterraneo, così come i bacini erano sempre coperti e a volte si è detto che fosse a scopo militare, per proteggerlo dai nemici. Tuttavia, questa non sembra essere una risposta esauriente. Ad Agrigento, l'intero Sistema era protetto in questo modo sebbene tutto fosse racchiuso all'interno delle mura della città, e questo deve essere stato fatto come protezione dall'inquinamento. Molto probabilmente, non era solo per evitare che detriti di varia natura cadessero nel canale. Gli autori greci di testi medici erano molto consapevoli dell'importanza di un'acqua pura e sembra che fossero riluttanti persino al fatto che veniva a contatto con l'aria aperta.

L'opera più significativa, e della quale esiste una documentazione completa, in fatto di rifornimento idrico nella Grecia classica, è probabilmente quello di Perachora, purtroppo sembra però non rappresentare più un esempio così inequivocabile, come invece sembrava durante gli scavi e ora la situazione è molto confusa. La sorgente e lo sbocco si trovano ad una distanza di solamente 200 metri circa e l'anomalia più evidente è che, mentre entrambi sono caratterizzati da strutture elaborate come se fossero destinati a grandi quantitativi d'acqua, sono collegati tra loro solamente da

arrangements that look as if they were meant to handle water in large quantities, they are connected only by a small surface tunnel or gutter of insignificant dimensions (11 x 10 cm), that seems to be conceived on quite a different scale. Indeed, it was so small that it was covered with roof tiles, and ridge tiles at that. The disparity in proportion is enough to make one wonder whether these three elements do, in fact, all belong together as parts of the same system, for at the other two, the concept is positively grandiose. The fountain house has the usual row of dip basins with an imposing Ionic façade, served by a set of three dead-end tunnels running back 29 m into the rock face. Although they look like catchment tunnels to collect seepage from an aquiferous stratum, the wall and even the ceiling were lined with waterproof plaster; no water could seep through in either direction, and they were, therefore, storage reservoirs pure and simple. Their capacity was 250 m³, and it would have taken the tunnel 97 hours to fill them.

The arrangements at the source were even more remarkable. The water had to be brought up from a depth of 30 m, and to do so there was sunk into the rock a complex of three deep 'shafts' served by an access staircase running down a long sloping tunnel to reach the shafts at their bottom. The 'shafts' might be more accurately described as long, deep slots, around 15.5 x 1.3 m, and the question is how the water was raised. The excavator proposed for each slot an endless bucket chain passing over a large wheel mounted in the slot and turned by oxen 'through a simple pair of cog-wheels engaging at 90°', the well-known Persian sakia apparatus. Unfortunately, there were not scratch marks on the sides of the slots made by the turning wheels, such as one often finds with water wheels, nor vertically, as might be expected from the buckets on their way up and down and further excavation around the slots showed no signs of the necessary foundation for the proposed installations. It would also mean the sakia turning up in use long before what is generally thought to be its first appearance, and accordingly,

un canale o da un condotto di superficie dalle dimensioni insignificanti (11 x 10 cm), il quale sembra essere stato concepito su una scala completamente diversa. Inoltre, era talmente piccolo che fu coperto con coppi e tegole di colmo. La diversità nelle proporzioni è tale da suscitare interrogativi sull'appartenenza di questi tre elementi allo stesso sistema, in quanto negli altri due elementi, l'idea è senza dubbio grandiosa. La fontana dispone della solita fila di vasche con un'imponente facciata ionica, servita da una serie di tre canali ciechi che penetrano nella roccia per 29 metri. Sebbene sembrino canali di raccolta in grado di raccogliere le infiltrazioni provenienti da una falda acquifera, le pareti e persino il soffitto erano rivestiti di intonaco impermeabile; l'acqua non poteva filtrare da alcuna direzione, ed erano quindi dei puri e semplici serbatoi di raccolti. La loro capacità era 250 m³ e il canale avrebbe impiegato 97 ore per riempirli.

Le strutture presenti alla sorgente erano perfino più imponenti. L'acqua doveva essere portata in superficie da una profondità di 30 metri e a questo scopo nella roccia era stato scavato un complesso di tre profondi 'pozzi' serviti da una scalinata di accesso che scendeva lungo una galleria in pendenza, al fine di raggiungerne il fondo. Più precisamente, i "pozzi" si potrebbero descrivere come lunghe e profonde fessure, circa 15,5 x 1,3 metri e il problema riguarda il modo in cui l'acqua veniva portata in superficie. In ogni fessura secondo il direttore degli scavi, era in funzione una catena infinita di benne che passava sopra una grande ruota posta nella fessura e fatta girare da buoi 'attraverso un semplice paio di ruote dentate che lavoravano a 90°', in base al già noto ingranaggio persiano detto saqiya. Purtroppo, le pareti delle fessure non presentavano graffi prodotti dalle ruote mentre giravano, come spesso avviene con le ruote idrauliche, e neanche verticalmente come ci si potrebbe aspettare dato il Sali e scendi delle benne; scavi successivi intorno alle aperture non hanno portato alla luce alcuna prova dell'esistenza delle fondamenta necessarie a simili strutture. Tutto ciò starebbe a significare che la saqiya cominciò ad essere usato molto prima della data a cui si fa generalmente risalire la sua prima apparizione e, di conseguenza, l'autorità più recente in materia, J.P. Oleson, respinge l'intera ipotesi della catena di benne. Tuttavia, non essendo in grado di proporre una sicura e ragionevole

the most recent authority, J.P. Oleson, rejects the whole bucket-chain hypothesis. He cannot, however, suggest a reasonable sure alternative, and Perachora remains a mystery. It is a notoriously arid region where no doubt special measures were called for to ensure a water supply, and the whole concept of a public fountain being fed, not by gravity from a spring, but by machines, is highly atypical of Greek hydraulic practice. For a general study such as this, we would therefore probably be wise to leave Perachora aside as uncharacteristic, however, it worked.

Hellenistic

It is with the Hellenistic age that a great breakthrough comes. It sprang from two sources. The political and economic situation in the Greek world was changed with the growth of the Hellenistic kingdoms of the east, under the rule of the monarchs usually compendiously known as 'The Successors', leading to an upsurge in architectural development and urban beautification. It was natural that aqueducts should play a prominent part in the new movement. Second, the progress in Hellenistic science gave to the hydraulic engineer a whole new dimension of technical expertise with which to confront his new responsibilities. The result is that aqueducts now achieve a new, almost roman, magnitude of conception. With some, indeed, the dating is disputed, and it is uncertain whether we are dealing with a Hellenistic or roman installation. Naturally, one expects to be able to date an aqueduct by its masonry or architectural elements (although current doubts about Patara make even that questionable); conversely, it would seem that in their absences uncertainty is to be expected, for there is little that is datable about a rock-cut channel. But that is not quite the point. When one compares, say, the Enneakrounos pipeline with the Anio Vetus, it is plain that quite apart from the archaeological datability of the individual component elements, we are dealing with two schemes of quite different design, scope, concept and execution. As one says nowadays,

alternativa, Perachora rimane un mistero. Si tratta notoriamente di una regione arida, in cui vennero senza dubbio disposte misure che assicurassero il rifornimento idrico e l'intera ipotesi di una fontana pubblica alimentata non per gravità partendo da una sorgente, ma da macchinari, è fortemente atipica in relazione alla pratica idraulica greca. Per uno studio generale di questo tipo, sarebbe auspicabile dunque tralasciare Perachora, in quanto esempio non caratteristico, qualsiasi fosse il suo funzionamento.

Periodo ellenistica

Fu con l'età ellenistica che si fece un grande passo in avanti. Ciò ebbe una duplice origine. In primo luogo, con l'espansione dei regni ellenistici dell'est, sotto il potere dei monarchi conosciuti generalmente in maniera sintetica come i "Successori", che condusse a livello socio-politico ad un cambio nel mondo greco, portando così una crescita dello sviluppo architettonico e un maggior abbellimento delle città. Era naturale che gli acquedotti avessero una parte rilevante nel nuovo movimento. In secondo luogo, il progresso della scienza ellenistica diede all'ingegnere idraulico una dimensione completamente nuova in fatto di abilità tecniche con le quali affrontare le sue nuove responsabilità. Il risultato è che gli acquedotti in questo periodo acquistano una nuova ampiezza di concezione, quasi romana. In alcuni casi, in effetti, la datazione è un argomento controverso e non si è certi se si tratti di un'opera ellenistica o romana. Naturalmente, si crede di poter datare un acquedotto dai suoi elementi architettonici o in muratura (nonostante recenti dubbi su Patara mettano in discussione anche questo); al contrario, sembrerebbe che in loro assenza, ci si debba aspettare dell'incertezza: vi è poco da datare in un canale scavato nella roccia. Tuttavia, non è questo il punto. Quando si mette a confronto, diciamo, la condotta della Enneakrounos con l'Anio Vetus è chiaro che, a parte la databilità archeologica dei singoli elementi che le compongono, si tratta di due schemi in cui disegno, dimensioni, idea ed esecuzione sono del tutto diversi. Come si dice oggi, non sono della stessa squadra e noi siamo in grado, in un certo senso, di identificare una squadra come tipicamente greca, l'altra come essenzialmente romana. Gli acquedotti

they are just not in the same league, and we can, in a general way, identify one league as typically Greek and the other as essentially Roman. And Hellenistic waterworks, on the whole, belong in the Roman league. This is not to say that they are the same. For one thing, Hellenistic aqueducts still usually used pipes, instead of the Roman masonry conduit, to carry the water and accordingly delivered it in much smaller quantities. For another, however ambitious the planning of the line, they lacked the Romans' practiced skill in civil engineering, particularly in bridging and the use of the arch.

The Greeks did, of course, know how to construct an arch theoretically, and occasionally actually built one, as in the celebrated decorative arch at Priene, but this was rare. Whether the Hellenistic aqueduct builder lacked the theoretical knowledge to build arches or were simply inexperienced in it, it came to the same result. They were not used. This meant that the engineer was in serious difficulty when he wanted to raise his conduit above ground level. It was not just that he had no equivalent to the great Roman bridges and arcades, though if the reader can conceive in his imagination a Pont du Gard built entirely on the principles of trabeated architecture with Doric columns and architraves he will have a striking illustration of just where the problem lies. But, apart from the great bridges, a large proportion of Roman aqueducts are carried on arcades that are quite low, where it is necessary for the conduit to run 3 m or so above ground over perhaps quite a long distance. Faced with such a situation, the Hellenistic engineer could have recourse only to the precedents of embankments and causeways. Bridges did exist in the Hellenic world, going right back to the viaduct of Cnossos, but they were always a rarity, even in Hellenistic times. The truth was that in a Hellenistic city the engineer's whole training and experience was architectural rather than in civil engineering, and when it came to laying out an aqueduct and countering the irregularities of the natural terrain, the tunnel was almost the only weapon in his armoury of structural techniques. Indeed, it may be that the traditional Greek practice of running the channel continuously

ellenistici, nel loro insieme, appartengono alla squadra romana. Questo non significa che sono uguali. In primo luogo, gli acquedotti ellenistici, in generale, usavano ancora le condutture di terracotta per trasportare l'acqua, a differenza del condotto romano in muratura. Di conseguenza ne trasportavano minori quantità. Inoltre, nonostante il progetto del tracciato fosse ambizioso, gli acquedotti ellenistici erano privi della competenza tecnica dei romani in fatto di ingegneria civile, in particolare modo nel campo della costruzione di ponti e sull'uso dell'arco.

I greci sapevano certamente come costruire un arco, in linea teorica, e talvolta ne costruivano alcuni, come nel caso del celebrato arco decorativo a Priene, ma questo è un caso raro. Sia che ai costruttori degli acquedotti ellenistici mancassero le conoscenze teoriche per costruire archi o che non avessero semplicemente esperienza in questo campo, il risultato è lo stesso. Gli archi non venivano usati. Questo significa che l'ingegnere si trova in serie difficoltà quando voleva alzare il condotto sopra il livello del suolo. Il problema non era solo quello di non avere opere paragonabili ai grandi ponti e arcate romane. Se il lettore riesce a immaginare un Pont du Gard costruito interamente secondo i principi di un'architettura trabeata, con colonne doriche e architravi, avrà una chiara illustrazione di dove risiede il problema. A parte i grandi ponti, gran parte degli acquedotti romani poggia su arcate piuttosto basse dove è necessario che il condotto corra, per lunghe distanze, a 3 metri circa sopra il livello del suolo. Trovandosi di fronte a tale situazione, l'ingegnere ellenistico poteva solamente ricorrere ai casi precedenti di terrapieni e strade sopraelevate. Nel mondo ellenistico, i ponti esistevano; se torniamo indietro fino al viadotto di Cnosso, tuttavia, erano sempre una rarità, perfino nell'età ellenistica. La verità è che nella città ellenistica, tutta la preparazione e la pratica di un ingegnere erano spesi nell'architettura piuttosto che nell'ingegneria civile e quando era il momento di costruire un acquedotto e affrontare le irregolarità del terreno naturale, il tunnel rappresentava quasi l'unica arma presente nel suo arsenale di tecniche strutturali. Infatti, è possibile che la tradizionale usanza greca di far passare il canale, in modo continuo, sottoterra e con costanti pozzetti di accessos verticali, venisse preservata in quanto permetteva di mantenere più facilmente in piano il canale e di compensare

underground with regular vertical access shafts was retained because this made it easier to maintain a constant channel level and to compensate for surface irregularities: if there was a surface depression to be crossed, it was maybe easier to keep a subterranean channel level by digging shallower shafts than to elevate on an embankment one that was already at ground level. This, however, would reflect only the local picture. On a wider scale, Greek – and Hellenistic – aqueducts solved the problem by generally following the contour and so often managed to produce an entire aqueduct without any major engineering works.

But there is one striking exception to this generalization. This is the inverted siphon. It will be discussed in detail when we come to consider Roman Work. Here let us note simply that it involves crossing a valley or depression by running the water through a closed pipe that goes down one side, across the bottom, and up the other side, roughly in the form of a U. By convention, archaeologists refer to this as a siphon (as shall I also), although ‘inverted siphon’ is the more proper term; in American hydraulic engineering the term ‘sag pipe’ is recommended, precisely to avoid such confusion. In the absence of bridges, the siphon was the only way the Hellenistic engineer had of carrying his aqueduct across any valley that could not be avoided or contoured around, and our surprise must be directed not to the fact that they used siphons but that they did not use more of them. Statistically, one per aqueduct seems to be about the maximum frequency, and there are many aqueducts with none; there may also, of course, be many siphons as yet undiscovered, particularly small ones. The dating is intrinsically difficult, so some of those listed may be in fact, early Roman rather than Hellenistic, but the catalogue of sites in the east alone is nevertheless impressive: ephesos, Methymna, Magnesia ad Sipylum, Philadelphia, Antioch on the Meander, Blaundos, Patara, Smyrna, Prymnessos, Tralleis, Trapezepolis, Antioch in Pisidia, Apamea Kibotos, Akmonia, Laodicea and Pergamon.

There can be no doubt that these siphons provided a model for later roman work, but they did have certain

le irregolarità del terreno: se si doveva attraversare un avvallamento, era probabilmente più facile mantenere in piano un canale sotterraneo, scavando pozzetti meno profondi, che sopraelevarne, con un terrapieno, uno che si trovasse già al livello del suolo. Questo, comunque, rispecchia solo la situazione locale. Su più ampia scala, per gli acquedotti greci, ed ellenistici, il problema venne risolto seguendo generalmente le linee di contorno, riuscendo così a produrre spesso un intero acquedotto senza alcuna opera ingegneristica di rilievo.

Questa generalizzazione contiene tuttavia un'eccezione importante, ovvero il sifone rovescio. Tratteremo l'argomento in dettaglio quando parleremo delle opere romane. Permetteteci, in questa sede, di dire semplicemente che si tratta dell'attraversamento di una valle o depressione facendo scorrere l'acqua attraverso una condotta chiusa che va già da un lato, attraversa il fondo e poi risale su formando all'incirca una U. Convenzionalmente, gli archeologi lo chiamano sifone (me compreso), sebbene 'sifone rovescio' Sia il termine più appropriato; nell'ingegneria idraulica americana si consiglia il termine 'conduttura ricurva' ('sag pipe'), proprio per evitare questo tipo di confusione. In assenza di ponti, il sifone era l'unico sistema di cui disponeva l'ingegnere ellenistico per far attraversare all'acquedotto delle vallate che non potevano essere evitate o aggirate. La nostra sorpresa deve essere diretta non al fatto che utilizzavano i sifoni ma che non ne usassero molti. Statisticamente, la frequenza massima sembra essere all'incirca di uno per acquedotto e ce ne sono molti in cui non compare nemmeno; ovviamente è possibile che molti sifoni non siano stati ancora scoperti, soprattutto quelli di piccole dimensioni. La datazione è in sé difficile, per cui alcuni di quelli citati potrebbero risalire di fatto al primo periodo romano anziché a quello ellenistico ma il catalogo dei siti, solo nell'est, è tuttavia impressionante: Efeso, Methymna, Magnesia ad sipylum, filadelfia, Antiochia sul Meandro, Blaundos, Patara, Smirne, Prymnessos, tralleis, trapezopolis, antiochia in Pisidia, apamea Kibotos, akmonia, laodicea e Pergmo.

Non possono esserci dubbi sul fatto che questi sifoni fornirono un modello alle successive opere romane. Tuttavia, presentavano alcune caratteristiche che generalmente erano tipiche e che non furono copiate. In primo luogo, di solito erano sifoni

features that were generally typical and yet were not copied. First, they were generally single-pipe siphons, in distinction to the multi-pipe installations at such places as Lyon, where one finds batteries of nine pipes side by side. This was reasonable enough since they were built in ordinary pipelines, where the volume of water was nothing like that handled by a roman masonry conduit. Second, the pipes were not usually of lead, the normal roman material, but of terracotta or stone. Stone pipes were of a highly characteristic and easily recognized form for they normally consisted of a series of stone cubes, each perforated by a cylindrical hole which, when the blocks were laid end to end, like a continuous course of ashlar masonry, formed in effect a pipe inside it. The blocks also fitted together in a male/female joint, one contact face carrying a projecting circular flange around the end of the hole, and the other a circular recessed sinking to receive it (Figs. 5,6,7,11, appendix). As well as what we may call ordinary blocks, with the pipe (or hole) running straight through, several special ones have been found featuring elbow bends, vent holes, T-junctions, or even more complicated arrangements the interpretation of which challenges or even baffles our imagination skills. Smyrna and Oinoanda offer a particularly rich assortment of these; some are shown Figs 8 and 9 (see appendix). In this respect also the Hellenistic siphons significantly differ from the roman ones, and through light upon them. It is eminently probable that the average siphon did not consist simply of a plain pipe throughout its length, but must have occasionally been provided with fittings of some sort – no matter what. In Roman siphons, the pipes, being of lead, have entirely disappeared so that any special features, such as Vitruvius' enigmatic *colliviaris*, have to be imagined. The stone pipes of many Hellenistic siphons, more durable and less liable to looting, have often survived, and provide our best evidence for such features (as with those found at Smyrna), though interpreting it is a different matter. It must also be repeated that although most of these works have traditionally been dated to the Hellenistic period, a dating I

a condotto unico, a differenza delle strutture situate in luoghi come Lione, dove si trovano batterie da nove condotto, una accanto all'altra. Ciò è abbastanza comprensibile, dal momento che erano costruiti su condutture ordinarie, in cui il volume d'acqua non era paragonabile a quello gestito da un condotto romano in muratura. In secondo luogo, di solito le condotte non erano in piombo, il materiale usato di solito dai romani, bensì in terracotta o pietra. Alcune condotte avevano una forma molto caratteristica e facilmente riconoscibile, in quanto normalmente erano costituite da una serie di cubi in pietra, ognuno con un foro cilindrico: quando i blocchi venivano uniti alle estremità, in modo simile ad un corso continuo di muratura in conci, al suo interno si formava un condotto. Questi blocchi si concentravano anche l'un l'altro grazie ad un giunto maschio/femmina, con una parete di congiunzione che aveva una flangia circolare sporgente intorno al foro, e l'altra un incavo circolare per accogliere la flangia (Figg. 5, 6,, 7, 11, appendice). In aggiunta a quelli che possiamo definire blocchi ordinari, con il condotto (foro) che corre dritto al loro interno, ne sono stati rinvenuti alcuni tipi particolari con curve a gomito, fori di ventilazione, raccordi a T, o strutture perfino più complicate, la cui interpretazione sfida o addirittura confonde la nostra capacità di immaginazione. Smirne e Oinoanda offrono un assortimento particolarmente ricco di queste strutture; alcune sono illustrate nelle figure 8 e 9 (vedi appendice). In questo senso anche i sifoni ellenistici differiscono in maniera significativa da quelli romani, e fanno luce su questi. È altamente probabile che il sifone-tipo non consistesse solamente di un semplice condotto per tutta la sua lunghezza: di tanto in tanto deve essere stato provvisto di qualche raccordo, di un tipo qualsiasi, non importa quale. Nei sifoni romani le tubazioni, essendo di piombo, sono completamente scomparse, cosicché caratteristica particolare, quale l'enigmatica *collivari* di Vitruvio, può solo essere immaginata. Le condutture di pietra dei sifoni ellenistici, più durature e meno esposte a saccheggi, sono spesso sopravvissute e ci forniscono la prova di tali caratteristiche (come quelle ritrovate a Smirne), sebbene l'interpretazione di questa prova sia tutto in altro discorso. Deve essere anche ricordato che sebbene la maggior parte di queste opere vengano fatte tradizionalmente risalire al periodo ellenistico, una datazione che io rispetto al punto di includerle in questo

respect to the extent of including them in this chapter, there is a very serious possibility that they are really Roman and deserve a place instead in Chapter 6.

Nevertheless, one can clearly identify one major feature of ancient siphons upon which the Hellenistic stone pipes do provide evidence. One of the major problems to be faced in running a siphon is, or at least may be, air pockets. In theory, there should be none. A leading technical authority has insisted that in practice, during normal operation, there were none either (in filling and draining the siphon conditions are quite different); and in a long article published in 1983 I followed this view. I am now not so sure. Modern hydraulic engineers, in a very extensive correspondence, have stressed to me that in siphons today, for they are still used in modern installations, air getting into the pipes is, one way or another, a real and common problem.

A number of these stone pipes are fitted with small round vertical holes leading from the pipe inside to the upper surface of the stone block. One from Aspendos is published by Lanckoronski; it is actually on the joint between two blocks (Fig. 10 (a), appendix), and being cylindrical in bore (16 cm in diameter) could perhaps be interpreted as a T-junction supplying a pipe joined on to it. At Laodicea, however, we encounter the same phenomenon, except that here the holes are funnel-shaped (Fig. 10 (b) appendix). These must have been meant to be some kind of a vent, the tapered sides being probably to facilitate plugging. Indeed, Weber even mentions that at Pergamon a similar hole has found still plugged with a round stone sealed in place with plaster. Other similar holes have been found in a stone siphon at Susita (Israel) (Figs. 11, 12, appendix).

There are various possibilities for the purpose of these holes. They may have been intended for cleaning out the pipe, perhaps by some sort of pull-through device, a common way of cleaning out modern pipes. Alternatively, they may have been connected with the release of air pressure. This might have been

capitolo, tuttavia esiste una possibilità molto concreta che esse siano romane e che quindi debbano occupare un posto nel Capitolo 6.

Ciononostante, si può individuare distintamente una caratteristica importante dei sifoni antichi di cui le condutture di pietra ellenistiche forniscono la prova. Per il funzionamento di un sifone, uno dei maggiori problemi da affrontare è costituito, o almeno può esserlo, dalle sacche d'aria. In teoria non ce ne dovrebbero essere. Un autorevole esperto tecnico ha insistito che nella realtà, durante il normale funzionamento, non ce n'era nemmeno uno (nelle fasi di riempimento e drenaggio del sifone, le condizioni sono del tutto diverse); in un lungo articolo pubblicato nel 1983 ho abbracciato questa tesi. Oggi non sono più così sicuro. In un'ampia corrispondenza con degli ingegneri idraulici moderni hanno spesso messo l'accento sul fatto che oggi nei sifoni, dato che nelle strutture moderne sono ancora usati, l'aria che entra all'interno delle condotte è, in un modo o nell'altro, un problema reale e frequente.

Alcune di queste condutture in pietra sono provviste di piccoli fori circolari verticali, che portano dall'interno della condotta fino alla superficie dei blocchi di pietra. Uno proveniente da Aspendos è stato documentato da Lanckoronski; si trova esattamente sul giunto tra due blocchi (Fig. 10(a), appendice), ed essendo il foro cilindrico (16 cm di diametro) potrebbe forse venire interpretato come un raccordo a T al quale si unisce una tubatura. A Laodicea, comunque, registriamo lo stesso fenomeno, eccetto per il fatto che qui i fori sono a forma di imbuto (Fig. 10 (b), appendice). Devono essere stati concepiti per fornire un qualche tipo di ventilazione e le pareti a sezione conica servivano probabilmente a facilitare l'uso di tappi. In effetti, Weber fa persino presente che a Pergamo fu trovato un foro simile, ancor sigillato da una pietra rotonda bloccata con la malta. Altre aperture simili sono state trovate in un sifone di pietra a Susa (Israele) (Figg. 11, 12, appendice).

Quanto alla funzione di questi fori, esistono varie possibilità. Potevano essere destinati all'espurgo del condotto, forse tramite uno scovolo di qualche tipo, un sistema usato abitualmente per l'espurgo dei condotti moderni. In alternativa, potevano essere connessi al rilascio della pressione prodotta dall'aria. È possibile che questo venisse fatto tramite l'apertura periodica per permettere la fuoriuscita dell'aria

done by periodically opening them to allow the escape of air that had accumulated in pockets during normal operations. one, to keep pace with the mounting level of the water in both sides of the U as it filled up from the bottom; conversely, when the siphon was being emptied, the holes would be opened to admit air and let the water drain out. A further possibility is that the holes were stopped up with some sealing designed to blow off under a set pressure, in which case they are to be seen as an automatic protectin, like safety valves, against water hammer or excessive internal static pressure. We must also note (Fig. 8(a), appendix) that at both Laodicea and Smyrna blocks have been found carrying a small hole, much smaller than those hitherto considered, which from the narrowness of the aperture (1 cm in diameter), must surely have been intended for the passage of air, not water; though whether the purpose was to let air out to relieve excessive pressure within, or to let air in to equalize pressure by destroying an internal vacuum, I would not like to say. Again, the holes may be connected with efforts to clear the siphon pipe when it got blocked by an obstruction. In this case, they would have two possible functions. The first is to locate the obstruction. This would be done by opening the hole and seeing whether the pipe was, at this point, empty or full of water. Either set of holes, large or small, would be suitable for this. The second job is, having located the obstruction, to destroy or remove it. This means getting inside the pipe, and only the larger holes would give suitable access.

Whether their purpose – vent holes, access holes, *colliviaria*, safety valves, or anything else – these holes in the Hellenistic siphon pipes must surely offer valuable evidence for their Roman successors where the pipes have

accumulatasi in sacche nel corso del funzionamento normale. È anche possibile che fossero destinati all'eliminazione dell'aria intrappolata nel sifone nelle fasi del suo riempimento dopo il prosciugamento completo. In questo caso, potevano essere lasciati aperti e quindi chiusi in seguito uno per uno, per mantenere il passo con il livello crescente dell'acqua in entrambi i lati della U durante il suo riempimento a partire dal fondo. Al contrario, quando il sifone veniva svuotato, i fori venivano aperti per permettere all'aria di entrare e all'acqua di essere drenata. Un'ulteriore possibilità è che questi fori venissero chiusi con dei sigilli concepiti per saltare via se sottoposti ad una certa pressione. In questo caso devono essere considerati come una protezione automatica, come delle valvole di sicurezza, contro il cosiddetto colpo d'ariete dell'acqua o l'eccessiva pressione statica interna. Dobbiamo notare anche (Fig. 8 (a) appendice) che sia a Laodicea che a Smirne, sono stati rinvenuti blocchi con un foro molto più piccolo rispetto a quelli esaminati finora, il quale, date le ridotte dimensioni dell'apertura (1 cm di diametro), deve essere stato sicuramente concepito per il passaggio dell'aria e non dell'acqua. Tuttavia, preferirei non esprimere alcuna tesi finale per sostenere che la funzione sia stata quella di permettere all'aria d'uscire per diminuire l'eccessiva pressione interna, o quella di farla entrare, al fine di bilanciare il livello della pressione mediante l'annullamento di un vuoto interno. Vorrei ribadire che i fori potrebbero essere collegati agli sforzi necessari per pulire il tubo del sifone quando rimaneva bloccato a causa di un'ostruzione. In questo caso, le funzioni possibili sarebbero due. La prima è consentire di localizzare l'ostruzione. Questo poteva avvenire tramite l'apertura del foro per vedere se in quel punto il condotto fosse vuoto o pieno d'acqua. Entrambi i tipi di foro, grande o piccolo, erano adatti a questa funzione. La seconda è, dopo aver localizzato l'ostruzione, quella di distruggerla o rimuoverla. Ciò significa avere accesso alla tubazione e solo i fori più grandi darebbero un accesso adatto.

Qualunque sia la loro funzione, fori di ventilazione, fori di accesso, *colliviar*, valvole di sicurezza o qualcos'altro, questi fori nelle condutture dei sifoni ellenistici devono sicuramente costituire una testimonianza importante per i loro successori romani dove le tubazioni sono scomparse, anche se non possiamo affermarlo con

now disappeared, even if we cannot interpret it with certainty. The size of these Hellenistic siphons is variable, but in-depth, they are usually smaller than their Roman equivalents, which only begin at a depth of around 50 m. to list those already mentioned, the depths, where known, are: Magnesia ad Sipylum, 30 m; Philadelphia, 20 m; Antioch on the Meander, 15 m; Blaundos, 15 m; Patara, 20 m; Smyrna; 158 m; Prymnessos, 40 m; Tralleis, 75 m; Trapezepolis, 40 m; Antioch in Pisidia, 28 m; Apamea Kibotos, 28 m; Akmonia, 25 m; and Laodicea, 25 m. In many of these locations, a roman engineer would instead have used a bridge. Hellenistic siphons are relatively small because their engineers could not build bridges and when they came to a valley, even a small one, a siphon was the only way of crossing it, other than by contouring around, whereas the Romans had to fall back on siphons only when the valley was too big to be bridged.

But there is one further siphon that stands apart from all others, Greek and roman alike, by reason of its gigantic size. This is at Pergamon. Pergamon was remarkably well off for aqueducts, having a total of no less than eight of them (fig. 13, appendix), but it is the Madradag aqueducts, apparently built by Eumenes II (197-159 BC), that here concerns us. For most of the course, the aqueduct is relatively orthodox, running in a triple pipeline of three terracotta pipes side by side with a total daily discharge of 4,000 m³. For the last part of its run into the city, however, it ran in a siphon of dimensions without parallel in antiquity, either before or since: 3.2 km long and about 200 m deep (Fig, 14, appendix). The loss of height from beginning to end of the siphon is 41 m, giving an overall hydraulic gradient of 13.3 m per km, or 1.3%; this is four times as steep as the best-known Roman siphon, at Beaunant, on the Gier aqueduct at Lyon. The steepness of the drop in the hydraulic gradient accelerated the flow of water through the siphon, enabling its single pipe to carry the discharge of the three pipes of the aqueduct serving it. Unlike most siphons – unlike, indeed, the pipes of most aqueducts,

certezza. Le dimensioni dei sifoni ellenistici variano, ma per quanto concerne la loro profondità, sono generalmente più piccoli dei loro pari romani, che partono solamente da una profondità di circa 50 metri. Per elencare quelli già citati, le profondità note sono: Magnesia ad Sipylum, m. 30; Filadelfia, m. 20; Antiochia sul Meandro, m. 15; Blaudnos, m. 15; Patara, m. 20; Smirne, m. 158; Prymnessos, m. 40; tralleis, m. 75; Trapezepoli, m. 40; Antiochia in Pisidia, m. 28; Apamea Kibotos, m. 28; Akmonia, m. 25 e Laodicea, m. 25. Un ingegnere romano, in molti di questi siti, avrebbe usato invece un ponte. I sifoni ellenistici sono relativamente piccoli in quanto i loro ingegneri non erano in grado di costruire dei ponti e quando si incontrava una valle, anche spiccola, l'unico modo per attraversarla era il sifone, oltre che aggirarla, mentre i Romani ripiegavano sui sifoni solo quando la valle era troppo grande per gettarvi dei ponti.

Esiste un altro sifone però che si differenzia da tutti gli altri, sia greci che romani, a causa delle sue gigantesche dimensioni: quello di Pergamo. Pergamo era decisamente ben fornita di acquedotti, avendone in totale non meno di otto (fig. 13, appendice), quello che interessa in questo momento però, è l'acquedotto di Madradag, apparentemente costruito da eumene II (197-159 a.C.). Per gran parte del suo corso l'acquedotto era costruito in modo relativamente ortodosso, sviluppandosi in una tripla condotta formata da tre tubature di terracotta affiancate l'una all'altra con portata giornaliera di 4.000 m³. Nell'ultimo tratto del suo corso nella città, comunque, si gettava in un sifone di dimensioni senza eguali nell'Antichità, prima o dopo: km. 3,2 di lunghezza e circa 200 metri di profondità (Fig. 14, appendice). La perdita di altezza dall'inizio fino alla fine del sifone è di 41 metri, dando così una pendenza idraulica generale di 13,3 metri per km, ossia dell'1,3%; questo acquedotto ha quindi una pendenza quattro superiore a quella del più conosciuto sifone romano che si trova a Beaunant, sull'acquedotto di Gier a Lione. La ripidità della caduta nella pendenza idraulica accelerava il flusso dell'acqua nel sifone, in modo da permettere alla sua unica condotta di trasportare lo scarico delle tre condutture dell'acquedotto che lo serviva. A differenza della maggior parte dei sifoni - come in effetti delle tubature della maggior parte degli acquedotti, compresa la condotta precedente con flusso

including the earlier, gravity-flow piping of this aqueduct itself – the pipes were above ground. They were originally thought to have been of bronze (so R.J. Forbes) but since 1976 are now known to have been of lead, following chemical analysis of the soil along the line of the siphon which showed an average lead content some 56 times higher than samples taken a mere 8 m away to one side. The pipes apparently came in lengths of 1.2 – 1.8 m, with a known external diameter of around 30 cm and hence an estimated internal diameter of 17.5 cm. They were presumably joined by collars or sleeves of metal and were carried in round holes bored through a series of stone slabs set upright on the sloping hillside. Many of these slabs of a local stone, known as trachyte, are still in situ, and the preserved holes give the pipe diameter (Fig. 15, appendix).

The profile of the siphon is both interesting and impressive. The great pressures generated at the bottom of the valley are enough to impress even modern engineers; they came to around 18-20 atmospheres of 240lb/in² (18.5 kg/cm²), and were evidently successfully contained by those same ancient pipes that modern commentators so often maintain could not have handled any serious pressure. No doubt there was a lot of leaking, but that does not obscure the main point, that this was a project of monumental magnitude, recognized by its contemporaries as a wonder and that in practice it did actually work. But there was also a peculiarity about the profile that was perhaps, highly significant. Normally, ancient siphons, Greek and roman alike, are of a U-shape. However, the profile of the Madradag siphon at Pergamon shows (Fig. 14, appendix) two bumps in the middle, where the line first climbs over a small eminence known as Caputlu Tepe, descends again to the lowest point reached on the profile, climbs again to a second peak (Kaleardi Tepe) and runs down the far side of that before eventually climbing again to the end of the siphon in the city of Pergamon. This gives the siphon an irregular W-shape profile that is not only without parallel in the ancient world but productive of serious hydraulic problems. This occurs at two peaks,

a caduta di questo stesso acquedotto – le tubazioni erano sopra il livello del terreno. In un principio si è ritenuto fossero di bronzo (come sostiene R.J. Forbes), ma dal 1976 sappiamo che erano in piombo, in base ad analisi chimiche del suolo lungo la linea del sifone che mostravano una presenza media di piombo circa 56 volte maggiore rispetto a quella rilevata dai campioni prelevati a solo 8 metri di distanza su di un lato. Apparentemente le tubazioni erano di una lunghezza pari a 1,2 – 1,8 metri, con un diametro esterno conosciuto di circa 30 cm. E pertanto un diametro interno stimato di 17,5 cm. Probabilmente erano unite da anelli o manicotti di metallo, ed erano inserite in fori circolari scavati attraverso una serie di lastre di pietra posizionate verticalmente lungo il pendio. Molte di queste lastre, di una pietra locale nota come trachite, sono ancora *in situ* e i fori ancora esistenti mostrano il diametro della tubazione (fig. 15, appendice).

Il profilo del sifone è allo stesso tempo interessante e stupefacente. Le notevoli pressioni generate al fondo della valle sono sufficienti per colpire perfino gli ingegneri moderni; queste arrivavano a circa 18-20 atmosfere di 240 lb/in² (18,5 kg/cm²), ed erano evidentemente contenute con successo da queste stesse vecchie tubazioni che i commentatori moderni sostengono non possano aver sostenuto alcuna seria pressione. Certamente c'erano molte perdite, ma questo non getta ombra sull'aspetto principale, ossia, che questo era un progetto di portata monumentale, riconosciuto dai suoi contemporanei come una meraviglia e che nella pratica funzionava veramente. Tuttavia, c'era una caratteristica peculiare del profilo che era, forse, molto significativa. Normalmente i sifoni antichi, greci e romani, erano a forma di U. Ad ogni modo, il profilo del sifone del Madradag a Pergamo mostra (Fig. 14, appendice) due rilievi nel centro, dove la linea all'inizio sale su di un'altura nota come Caputlu Tepe, scende ancora raggiungendo il punto più basso del profilo, sale nuovamente ad un secondo picco (Kaleardi Tepe) e ne attraversa il versante più lontano prima di salire di nuovo, alla fine, verso la parte finale del sifone, nella città di Pergamo. Tutto ciò dà al sifone un profilo dall'irregolare forma a W, il che non è solo senza precedenti nel mondo antico, ma anche fonte di seri problemi idraulici. Questi producono all'altezza delle vette Caputlu Tepe e Kaleardi Tepe, sebbene in forma più accentuata nella

Caputlu Tepe and Kaleardi tepe, though in more acute form at the second. At each, the pipe has a bend (*geniculus*) in the vertical plane, where the inertial thrust of the water would exert considerable pressure on the upper surface of the pipe as it rounded the bend. Moreover, if there was any question of air in the pipeline, from whatever source, this is precisely where it would collect in a troublesome and potentially dangerous air pocket. It was probably to avoid exactly such a situation that at Les tourillons, on the La Craponne aqueduct at Lyon, an open tank was inserted between two valleys, thereby avoiding a peak in the pressure line and, in effect, breaking the W into two halves. In point of fact, the inertial thrust at Pergamon was supposedly contained by embedding the pipe at the critical points in heavy masses of masonry, as recommended by Vitruvius; the air pockets, if any, may have been accommodated by some kind of release vent, but there can of course be no evidence in the total absence of the pipes.

However, the true significance of the two bumps or peak only becomes apparent when one compares the siphon profile with the contours of the relief map. Why was the line of the siphon so laid out as to include these two peaks? Forbes echoes a common opinion when he says that it went 'over a ridge'; K.D. white calls it 'a saddle'. This is what one would expect, for a ridge could not be avoided and the hydraulic inconvenience would simply have to be accepted. But the map (Fig. 14, appendix) makes it plain that both peaks were more or less conical mounds and could easily be avoided by contouring around the base. The smaller peak, Caputlu Tepe, indeed, would be very easily eliminated. A close study shows that things are even worse. At both peaks, there is a slight but perceptible deviation from the natural existing line of the aqueduct to ensure that it went right up to the top of the peak. Far from any attempt to avoid these potentially difficult summits, the line has deliberately been laid out to include them and even maximise their effect. The irregular W-shape of the Pergamon siphon is the product of intentional choice. The only reason for it that I

seconda. Ad ognuna di queste la condotta produce un gomito (*geniculus*) nel piano verticale, nel punto in cui la forza di inerzia dell'acqua esercitava una considerevole pressione sulla superficie superiore della tubazione mentre questa aggira il gomito. In più, qualora si fosse verificato un problema d'aria nella condotta, qualunque ne fosse l'origine, è precisamente qui che si sarebbe accumulata una sacca d'aria fastidiosa e potenzialmente pericolosa. È probabile che sia proprio per evitare questo tipo di situazione che a Les tourillons, nell'acquedotto di La Craonne a Lione, fu inserito un serbatoio aperto tra due valli, in modo da evitare un rialzamento della linee di pressione e, praticamente, suddividere la W in due metà. Di fatto, a Pergamo la spinta d'inerzia fu contenuta, si suppone incassando la condotta nei punti critici in pesanti ammassi di muratura, come consigliato da Vitruvio; il problema delle sacche d'aria, in caso si fosse verificato, poteva essere risolto tramite delle specie di sfiatatoi, ma la totale assenza di condotte non consente di provare questa ipotesi.

Tuttavia, il vero significato dei rilievi o picchi diventa evidente solamente nel momento in cui si mette a confronto il profilo del sifone con le linee di contorno presenti sulla mappa dei rilevamenti. Per quale motivo la linea del sifone fu progettata così, in modo da includere queste due vette? Forbes riprende un'opinione comune quando afferma che il sifone passava "sopra un rilievo"; K.D. White lo chiama "una sella". Questo è ciò che ci si aspetterebbe, poiché il rilievo non poteva essere evitato e gli inconvenienti idraulici dovevano semplicemente essere accettati. La mappa però (Fig. 14, appendice) mostra chiaramente che entrambe le vette erano più o meno delle collinette coniche che potevano essere facilmente evitate aggirando la base. La vetta più bassa, Caputlu Tepe, infatti, poteva essere facilmente eliminata. Studi approfonditi dimostrano che le cose sono addirittura peggiori. All'altezza di entrambe le vette, vi è una leggera ma percettibile deviazione dalla naturale linea esistente dell'acquedotto, per fare in modo che esso raggiunga la cima della vetta. Lungi da ogni tentativo di evitare cime potenzialmente difficili, la linea è stata deliberatamente progettata per includerle e perfino massimizzare i loro effetto. La forma irregolare a W del sifone di Pergamo è il frutto di una scelta intenzionale. La sola ragione a cui mi viene da pensare per spiegare tutto ciò, è un altro fattore idraulico: la pressione

can think of, is another hydraulic factor, static pressure. Static pressure is generated by the vertical column of water supported, so that when a siphon pipe runs up over a bump or peak, the static pressure is less there because, in effect, it is not so far below the natural water level, Running up to the summit of Kaleardi Tepe and down the other side, instead of circling around its base, did thus reduce the static pressure on a long section of the pipeline, in much the same way that a *venter* bridge does on an orthodox, U-shaped siphon, but it did so at the price of introducing a danger point vulnerable to inertial thrust and air pockets; and, of course, even so it could do nothing to reduce the static pressure at the point where it was greatest of all, crossing the middle between the two peaks at an altitude of m. 175. The inference surely must be that the builders of the Pergamon siphon were more worried about static pressure than inertial thrust on *geniculi* and that the alignment, in plan, that they chose reflects their relative scale of priorities.

The Etruscan

It is widely believed that the Romans inherited many characteristic features of their civilization from these neighbouring people. In temple design, gladiatorial shows and religious practices, Etruscan influence has been clearly identified, and though their waterworks had nothing near as sophisticated as the Hellenistic siphons, they may yet in some ways have inspired roman practice, being that much closer to home. In fact, the Etruscan seem to have been noted for drainage rather than water supply, and the form in which they excelled was the underground tunnel.

Much of Etruria was formed geologically of tufa rock, so soft that the simplest and easiest way of conveying water was by digging an underground conduit. It is sometimes suggested that the Cloaca Maxima at Rome owed something to their influence, and we have already noted the possibility that their tunnel may have been derived from the *qanat*. This is questionable, though the resemblances are considerable. The Etruscan tunnel resembles *qanats* in that they have frequent vertical

statica. La pressione statica è generata dalla colonna verticale d'acqua supportata, di modo che, quando la condotta di un sifone corre sopra un rilievo o vetta, la pressione statica è minore in quel punto in quanto, in effetti, non è di troppo al di sotto del livello naturale dell'acqua. Raggiungendo la cima del Kaleardi Tepe, e scendendo giù dall'altra parte, invece di aggirarne la base, si poteva ridurre la pressione statica su di un lungo tratto della condotta, in modo simile a quanto prodotto da un sifone tradizionale a forma di U. Questo, però, al prezzo di introdurre un punto pericoloso, vulnerabile per la spinta d'inerzia e le sacche d'aria; e, ovviamente, neanche in questo modo si è potuto fare qualcosa per ridurre la pressione statica nel punto in cui era maggiore, attraversando la sella tra le due vette ad un'altitudine di 175 metri. Si deve certamente dedurre che i costruttori del sifone di Pergamo erano più preoccupati per la pressione statica che per la spinta d'inerzia sui *geniculi*, e che l'allineamento che hanno scelto, in sezione, riflette la loro relativa gerarchia delle priorità.

Gli etruschi

È ampiamente sostenuto che i romani ereditarono molte delle caratteristiche salienti della loro civiltà da questa loro popolazione limitrofa. Nella progettazione dei templi, negli spettacoli gladiatorii e nelle pratiche religiose, è stata chiaramente individuata l'influenza etrusca, e sebbene i loro impianti idrici non avessero nulla di altrettanto sofisticato dei sifoni ellenistici, possono, malgrado ciò, aver ispirato in qualche modo la pratica romana, vivendo in un territorio confinante. Infatti, sembra che gli etruschi si siano distinti più per il drenaggio che per il rifornimento idrico, e la forma in cui eccellevano era il tunnel sotterraneo.

Gran parte dell'Etruria era geologicamente formata da roccia di tufo così morbida che il modo più semplice e veloce di convogliare l'acqua era quella di scavare una condotta sotterranea. Si pensa a volte che la Cloaca Massima a Roma debba qualcosa alla loro influenza, e abbiamo già accennato alla possibilità che i loro tunnel possano derivare dai *qanat*. Tutto ciò è discutibile, sebbene le somiglianze siano notevoli. I tunnel etruschi assomigliano ai *qanat* nel fatto di avere frequenti pozzi verticali. Generalmente però, sono destinati alla rimozione dell'acqua in eccesso, piuttosto che

shafts, but they are usually intended to remove unwanted water rather than provide a supply. Known as *cuniculi* ('rabbit burrows'), and dating from the fourth century BC, they have been found in particular abundance in the area around Veii, to the north of Rome, and around Ardea and Velletri south of it. The tunnel is usually around 1.75 m high and 0.5 m or so wide, and 'they are just large enough to allow the spright passage of a small man', though since most still have water running through them, they have been enlarged by erosion and no longer retain their original shape. The vertical shafts are usually about 33-34 m apart and are rectangular in section, around 1.2/1.6 m by 55/75 cm. The depth is usually four to six metres, for the tunnel normally runs not far below ground level, but where it turns to tunnel under a ridge the shafts may become up to 30 m deep. Because the tunnel is laid out to maintain a constant level below the surface of the ground, the gradient in it reflects that of the ground itself; usually, the tunnels are built running down along valleys, and the gradient in them varies from 1.2% or 12m/km to 2.6%, or 26 m/km. In other words, they are considerably steeper than Roman aqueducts. The longest one known is 4.5 km.

Cuniculi are found in various locations and for various purposes, but there is no doubt what their principal function is. The typical *cuniculus* is found out in the open country, running lengthways along a shallow valley. It is slightly off the central axis of the valley but parallel to it, usually on its right-hand side. In this position, it runs down to the mouth of the valley, where there is an outlet; sometimes, however, it turns sideways, burrows under a ridge and discharges into the next valley (Fig. 16, appendix). Its function is to drain land otherwise too waterlogged for agriculture, and it was highly effective. Usually such a valley will have a stream running along the bottom of it. This is diverted into the *cuniculus*, subsoil, which now drains into the subterranean gallery running through it, and it thus drains more effectively than would a surface channel. A third result is that, since the stream is diverted underground, surface erosion is virtually eliminated: it has

all'approvvigionamento idrico. Conosciuti come *cuniculi* ('tane per conigli'), e datati a partire dal quarto secolo a.C., sono stati ritrovati in particolare abbondanza nelle zone intorno a Veio, a nord di Roma, e intorno ad Ardea e a Velletri, a sud di Roma. Il tunnel è generalmente alto 1,75 metri e largo 0,5 metri circa, ed 'è di larghezza appena sufficiente a far passare un uomo basso in posizione eretta', sebbene, siano stati allargati dall'erosione e non abbiano più la loro forma originale, dal momento che la maggior parte di essi trasporta ancora dell'Acqua, i pozzetti verticali sono di solito ad una distanza di 55/75. La loro profondità è generalmente dai quattro ai sei metri, in quanto il tunnel, di norma, corre non molto al di sotto il livello del suolo, ma quando il tunnel è scavato sotto ad un rilievo i pozzetti possono essere profondi fino a 30 metri. Dato che il tunnel è progettato per mantenere un piano costante sotto la superficie del terreno e la sua pendenza riflette quella del terreno stesso; generalmente i tunnel sono costruiti scendendo giù lungo le valli, la loro pendenza varia dal 1,2 %, o 12 m/km, al 2,6 %, o 26m/km. In altre parole, la loro pendenza è notevolmente maggiore rispetto a quella degli acquedotti romani. Il più lungo conosciuto è di 4,5 km.

I *cuniculi* sono stati trovati in varie località e con funzioni diverse. Non vi è dubbio però riguardo la loro principale funzione. Il tipico *cuniculus* si trova in aperta campagna, dove corre parallelo ad una valle poco profonda. Si trova leggermente fuori dall'asse centrale della valle ma parallelo ad esso, generalmente sulla sua destra. In questa posizione corre giù verso l'imbocco della valle, dove si trova un canale di scarico; talvolta svia lateralmente, si nasconde sotto una dorsale e scarica nella valle successiva (Fig. 16, appendice). La sua funzione era di drenare il terreno. Altrimenti troppo intriso d'acqua per l'agricoltura, e rappresentava una soluzione molto efficace. Di solito in fondo a questa valle scorre un corso d'acqua che viene deviato nel *cuniculus*, lasciando così la valle asciutta. Un secondo effetto è quello di abbassare il livello freatico che drena più efficacemente di un canale in superficie. Un terzo risultato è che il corso d'acqua viene deviato sottoterra, poiché l'erosione della superficie viene quasi eliminata: è stato perfino notato che 'oggi, le curve di livello dell'intera area sono notevolmente diverse rispetto a quelle dell'area adiacente che non subì lo

even been noted that 'the contours adjoining area that did not receive the same treatment'. It should be noted that quite a number of these galleries are still in operation.

We may also note a further and quite separate function of the *cuniculus*, which is as road bridge. For a people who evidently found tunnelling relatively easy and bridge building difficult, the easiest way of bridging a stream was often to divert it through the tip of some conveniently projecting ridge via a *cuniculus*, and then run the road over the top of tunnel. Other possible uses are listed by the chief authorities, Judson and Kahane, such a domestic drainage, aqueducts irrigation, waterpower (mills) and mining, but these are either rare or hypothetical and bridge and agricultural drainage remain the *cuniculus* main raison d'être.

Nevertheless, although there is no evidence of Etruscan aqueducts or water supply systems of the type we have hitherto been studying, the skills and experience of their engineers at tunnelling must often have been a convenient and welcome resource for the Romans to draw upon. After all, the earliest aqueduct at Rome. The Aqua Appia, was itself entirely underground and in engineering, if not in purpose or function, can have differed but little from an Etruscan *cuniculus*. 'In hydraulic engineering, as in road building, it seems that Rome began where Etruria left off...; the roman systems of drainage and of water supply were founded on a solid basis of practical Etruscan experience.'

stesso trattamento'. Va sottolineato che un gran numero di queste gallerie sono tuttora in attività.

È possibile individuare anche un'ulteriore e ben distinta funzione del *cuniculus*: quella di ponte stradale. Per una popolazione che evidentemente trovava relativamente semplice scavare tunnel e difficile costruire ponti, la maniera più semplice per gettare dei ponti su un corso d'acqua era spesso quella di deviarlo attraverso la vetta di qualche utile rilievo aggettante per mezzo di un *cuniculus*, per poi portare la strada sopra la superficie del tunnel. Altre possibili funzioni elencate da fonti autorevoli, quali Judson e Kahane, sono il drenaggio a scopo domestico, acquedotti, irrigazione, energia idraulica (mulini) e miniere. Questi però, sono casi rari o ipotetici: i ponti e il drenaggio agricolo rimangono la principale *raison d'être* del *cuniculus*.

Tuttavia, sebbene non vi sia alcuna prova dell'esistenza degli acquedotti etruschi o del sistema di rifornimento idrico del tipo che abbiamo fin qui studiato, le capacità e l'esperienza degli ingegneri etruschi nello scavare tunnel devono aver rappresentato per i romani una fonte utile e ben accettata da cui attingere. Dopo tutto il primo acquedotto di Roma, quello dell'Acqua Appia, fu anch'esso interamente sotterraneo e dal punto di vista ingegneristico, se non nello scopo o nella funzione, non può essere stato troppo diverso da un *cuniculus* etrusco. 'Sembra che, nel campo dell'ingegneria idraulica, nonché nella costruzione di strade, Roma abbia cominciato dal punto in cui l'Etruria si è fermata...; i sistemi romani di drenaggio e rifornimento idrico vengono da una solida base costituita dall'esperienza pratica etrusca.

SPECIAL USES

WASHING IS GOOD FOR YOU

Mosaic floor inscription in the Baths at Sabratha, North Africa

Most people, when they think of water supply, instinctively conceive of it on the basis of their own personal experience, and envisage a sequence running: catchment, aqueduct, urban distribution, domestic use, drain. This familiar sequence has thus been adopted for the framework of the present book. And yet, after a moment's reflection, the reader will recall that there were also demands other than domestic on the water supply, demands that might require even more water, and themselves be even more important, or at least be adjudged so by contemporary society, than as now. These uses I am here treating as special cases. I do so as a matter of organizational convenience. The reader must not assume that the topic dealt with are exceptions, incidentals, or of minor importance. Depending on nowhere we are talking about, one of these special cases could provide an aqueduct's whole *raison d'être*. We may classify these uses as agricultural, industrial and recreational.

Irrigation

Irrigation must have consumed vast amounts of water and had an importance out of all proportion to what we actually know about it. The only study specifically devoted to it is a very minor four-page article dating to 1919 in which the author justly complains that he has no established corpus of data to work with, even the great German encyclopaedia, Pauly-Wissowa, being wholly deficient. True, much of ancient farming, especially Roman, seems to have been 'dry farming', a series of techniques designed to

USI PARTICOLARI

LAVARSI FA BENE

Iscrizione pavimentale di un mosaico nelle Terme di Sabratha, Nord Africa

Molte persone, quando pensano al rifornimento idrico, istintivamente se ne fanno un'idea basandosi sulla propria esperienza personale, immaginando una sequenza tipo: captazione, acquedotti, distribuzione urbana, uso domestico, scarichi. Per la struttura di questo libro è stata adottata, perciò, questa comune sequenza. Eppure, dopo un momento di riflessione, il lettore ricorderà che per il rifornimento idrico esistevano anche altri tipi di domanda, oltre a quella domestica, bisogni che potevano richiedere persino un maggior quantitativo d'acqua ed essere persino più importanti, o almeno essere considerati tali dalla società del tempo, allora come oggi. In questa sede, tratterò questi usi come casi speciali e la mia scelta è dettata soltanto da esigenze di organizzazione. Il lettore non deve credere che gli argomenti trattati siano eccezioni, casi marginali, o di minore importanza. Secondo il punto di vista da cui si parla, uno di questi casi speciali potrebbe fornire ad un acquedotto la sua intera *raison d'être*. Possiamo classificare questi usi in: agricolo, industriale e ricreativo.

Irrigazione

L'irrigazione deve aver consumato notevoli quantitativi d'acqua ed aveva un'importanza decisamente maggiore rispetto alle nostre reali conoscenze a riguardo. L'unico studio espressamente dedicato a questo argomento è un articolo di quattro pagine, di secondaria importanza, datato 1919 nel quale l'autore si lamenta giustamente di non avere una raccolta riconosciuta di dati con cui lavorare, poiché perfino la grande enciclopedia tedesca, Pauly-Wissowa, era totalmente deficitaria d'informazioni. A dire il vero, gran parte dell'agricoltura antica, in particolar modo quella romana, sembra essere costituita da 'aridocoltura', una serie di tecniche ideate

grow crops whenever possible *without* watering, thus making a virtue out of the arid necessities of the Mediterranean climate. But two factors argue persuasively for our consideration of agricultural irrigation as a major feature in water supply. One is that very dryness of the climate just mentioned. Where it was at all possible, irrigation, even locally, would make a very great difference. Dry farming was not a substitute for irrigation. It was merely the best you could do if you had no water anyway, and if it was a standard technique in Roman farming, the consequence is clearly seen in the judgment that the roman farm only just worked and was never far from fatal failure. It is plain, therefore, that anywhere irrigation could be provided, it would have been. One has only to look out of the train window practically anywhere in the Mediterranean today and note the ubiquity of irrigation channels, of one sort or another, in our more technically advanced age, for the point to be clearly made.

The second factor is that irrigation, in comparison with other forms of water use, requires water in quite enormous quantities, so that quite a modest local scheme would yet use as much as the whole city of Rome. A few modern figures will give an idea of the order of magnitude, though they must be used only subject to an important proviso. Modern irrigation schemes, unlike tap-regulated urban water supply, run continuously, twenty-four hours a day. This creates a very great disparity in the quantities of water used, making the irrigation figures seem to modern eyes correspondingly large. But ancient urban supplies also operated continuously, so that there the difference between urban and rural consumption must have been less marked. Likewise, if ancient urban and modern rural consumption both strike us as high, it may be because of the same reason, continuous running. With this in mind, it must yet be admitted that modern irrigation figures are high. North America is notorious for its rate of water consumption, and this is generally attributed to industry or sometimes to a wasteful domestic lifestyle. In fact, 'in the prairies, 72% of the water consumed is for irrigation,

per far crescere i raccolti quando possibile *senza* irrigare, facendo così delle aride necessità del clima mediterraneo una virtù. Due fattori però, ci convincono favorevolmente a vedere l'irrigazione agricola come un importante aspetto del rifornimento idrico. Uno di essi è l'elevata siccità del clima, appena menzionata. Laddove era possibile, l'irrigazione, anche a livello locale, faceva una grande differenza. L'aridocoltura non era un sostituto dell'irrigazione. Era semplicemente la cosa migliore che si potesse fare se, ad ogni modo, non si aveva acqua e se era una tecnica standard nell'agricoltura romana, le conseguenze si vedono chiaramente nel giudizio che si dà di essa, quello di appena funzionare e di non essere mai stata lontano dal totale fallimento. È chiaro, perciò, che laddove era possibile irrigare, si irrigava. Basta solamente guardare fuori dal finestrino del treno, praticamente ovunque oggi nel Mediterraneo e notare l'ubiquità dei canali d'irrigazione, di un tipo o di un altro, nella nostra epoca tecnicamente più avanzata per capire chiaramente la situazione.

Il secondo fattore è che l'irrigazione, rispetto alle altre forme di utilizzo dell'acqua, richiede quantitativi d'acqua davvero enormi, cosicché una rete locale modesta usava tanta acqua quanto tutta la città di Roma. Alcuni dati di oggi daranno un'idea dell'ordine di grandezza, anche se vanno usati solo se esaminati alla luce di un'importante condizione. Gli impianti d'irrigazione moderna, a differenza del rifornimento idrico urbano regolato da rubinetti, sono continuamente in funzione, ventiquattr'ore al giorno. Questo crea una grande disparità nella quantità d'acqua usata, facendo così sembrare, agli occhi moderni, i dati riguardo l'irrigazione relativamente alti. Ma anche il rifornimento urbano antico però era continuamente in funzione, cosicché le differenze tra consumo urbano e rurale devono essere state meno rilevanti. Allo stesso modo, se il consumo urbano antico e quello rurale moderno ci colpiscono in quanto elevati, la causa potrebbe essere la stessa, il funzionamento continuo. Sapendo questo, si deve ammettere che anche le cifre relative all'irrigazione moderna sono alte. Il Nord America è noto per il suo tasso di consumo idrico e questo generalmente viene imputato all'industria, o a volte ad uno stile di vita domestico in cui abbondano gli sprechi. Infatti, 'nelle praterie, il 72% dell'acqua consumata è destinata

and that goes to 1% of the land under cultivation'. A 1976 UNESCO study puts it in perspective:

Vast quantities of water are needed merely to supply, say, 20 mm to a field of one hectare: 20 mm on one hectare is 200 m³ of water, and a tanker can carry only a few cubic metres. A quantity of 200 m³ of water would last a family of five several years. Each individual needs an intake of no more than about 3 litres per day in addition to water for dishwashing, hygiene, and laundry. In the developing countries, 25 litres per person per day, i.e. 125 litres per day for a family of five, is usually enough. Thus, one cubic metre is enough for eight days, and 200 m³, the amount we need to irrigate one hectare of land, would last the family of five more than four years! Irrigation uses very large amounts of water.

And a field of one hectare is not very big. It is 10,000 m² or 2.47 acres. One hundred hectares is one square kilometre, not in itself a particularly large area as irrigated tracts of farmland go. The amount of water required to provide such an area with the 20 mm of the UNESCO study would thus be 20,000 m³, or the entire daily output of an average, medium-sized roman city aqueduct.

In hydraulic terms, therefore, irrigation was big business, Yet, very little archaeological evidence has been found, or at least published, as compared with the volumes on urban aqueducts. Indeed, the aspect of rural irrigation that has been most studied is the various water-lifting machines associated with it, rather than the actual conduits and functioning of the irrigation networks themselves. It is partly because the machines – the Archimedean screw, the noria, the compartmented wheel, the shaduf, and so on – are the greater interest, offer more evidence, and are perhaps more important, as playing an important role in the study of ancient technology, and partly because the simple ditches of farm irrigation usually leave no archaeological trace. But the volume of water such machines could handle was limited, and I doubt if they could ever have played more than a minor part in the irrigation pictures as a whole, though no doubt often

all'irrigazione e questa raggiunge l'1% della terra coltivata'. Uno studio del 1976 dell'UNESCO inserisce queste informazioni in una prospettiva più ampia:

Solo per fornire, diciamo, 20 mm d'acqua ad un ettaro di un ettaro, ne sono necessarie enormi quantità: 20 mm su un ettaro corrispondono a 200 m³ d'acqua, e una cisterna ne può trasportare solo pochi metri cubi. Circa 200 m³ d'acqua basterebbero per diversi anni ad una famiglia di cinque persone. Ogni individuo necessita di un rapporto giornaliero di non più di 3 litri, che vanno aggiunti all'acqua necessaria per lavare i piatti, l'igiene e poi il bucato. Nei paesi in via di sviluppo, generalmente sono sufficienti 25 litri pro capite al giorno, ovvero 125 litri giornalieri per una famiglia di cinque persone. Perciò, un metro cubo basta per otto giorni e 200m³, la quantità di cui abbiamo bisogno per irrigare un ettaro di terra, alla famiglia di cinque persone durerebbero più di quattro anni! L'irrigazione utilizza elevatissimi quantitativi d'acqua.

Un terreno di un ettaro non è molto grande: sono 10.000 m², ossia 2,47 acri. Cento ettari equivalgono ad un chilometro quadrato, in sé un'area non particolarmente grande rispetto alle dimensioni solite dei tratti di campagna irrigata. L'ammontare d'acqua necessario per fornire a quest'area i 20 mm riportati dallo studio dell'UNESCO sarebbe dunque di 20.000 m³, pari all'intera portata giornaliera di un normale acquedotto di medie dimensioni in una città romana.

In termini idraulici, perciò, l'irrigazione era un'attività importante. Malgrado ciò, sono state trovate, o almeno pubblicate, poche prove archeologiche se confrontate con i volumi relativi agli acquedotti urbani. Infatti l'aspetto più studiato dell'irrigazione rurale è rappresentato dalle varie macchine per il sollevamento dell'acqua ad essa associate, piuttosto che i condotti veri e propri e il funzionamento delle reti d'irrigazione stesse. In parte ciò è dovuto al fatto che le macchine, la vite di Archimede, la noria, la ruota a cassette, lo shaduf e così via, sono di maggiore interesse, forniscono più testimonianze e sono forme più importanti, in quanto giocano un ruolo rilevante nello studio della tecnologia antica; e in parte perché i semplici canali per l'irrigazione agricola di solito non lasciano alcuna traccia archeologica. Tuttavia, la quantità d'acqua che queste macchine potevano gestire era limitata e non credo abbiano mai giocato più di un ruolo secondario, sebbene spesso localmente

locally indispensable. The major moving power in Roman irrigation as a whole must surely have been natural gravity flow. In Egypt one sees many references to the shaduf and the Archimedean screw, but what really kept the country going was the Nile flooding, and the ancient agronomists – Varro, Columella, Cato – do not mention mechanical irrigation at all.

Mechanical irrigation suffered three drawbacks. First, there was expense – both the capital expense of building and installing the machinery and the running expense of operating it; some water-lifting wheels might themselves be turned by the current in a river if a suitable one was available nearby, but most devices such as the screw, the compartmented wheel and the sakia, had to be worked by slaves or animals which accordingly had to be bought and maintained. This made them uneconomic where the need for water was not truly pressing, or the average size of the farms too small to carry such costs. For this reason, there was no mechanical irrigation in Italy. Second, the height to which the water could be raised was very limited. Lifting wheels could raise water only to something rather less than their own diameter, after allowing for part of the wheel to be immersed in the river or other water source. Moreover, this assumes a wheel with the lifting receptacles, such as the pots on a Noria, mounted on the rim; with a tympanum or compartment wheels with its discharge apertures near the axle, the total lift was no more than the wheel's radius. The length of an Archimedean screw, and hence the height to which it could lift the water, was likewise limited both by the increasing friction and the increasing weight of water inside the device, which had to be moved at each revolution. Where the need was sufficient, this could be overcome by installing the device in successive relays, such as the sequence of eight pairs of wheels in the Rio Tinto gold mines in Roman Spain, which lifted the water 30 m, or the multiple shadufs. But this again only multiplied expenses, as is shown by the arrangements to irrigate a fertile ridge

indispensabile, nel panorama generale dell'irrigazione. La forza motrice più importante nell'irrigazione romana nel suo insieme deve essere stata sicuramente il flusso gravitazionale naturale. In Egitto si possono notare tanti riferimenti allo shaduf e alla vite di Archimede. Tuttavia, ciò che faceva andare avanti il paese era la piena del Nilo e gli agronomi antichi, Varo, Columella, Catone, non parlano affatto di irrigazione meccanica.

L'irrigazione meccanica ha risentito di tre aspetti negativi. In primo luogo, le spese, sia per il capitale destinato alla costruzione e all'installazione dei macchinari, sia per il loro funzionamento: alcune ruote per il sollevamento dell'acqua potevano essere fatte girare dalla corrente in un fiume, se una adatta era disponibile nelle vicinanze. Tuttavia, la maggior parte dei macchinari, come la coclea, la ruota a cassette e la saqiya, dovevano essere azionati da schiavi o animali, che di conseguenza dovevano essere comprati e mantenuti. Questo li rendeva non economici nei luoghi dove la necessità d'acqua non era veramente pressante o le dimensioni medie delle fattorie erano troppo piccole per sostenere simili costi. Per questa ragione non esisteva l'irrigazione meccanica in Italia. In secondo luogo, l'altezza alla quale l'acqua poteva essere sollevata era molto limitata. Le ruote che sollevavano l'acqua potevano farla arrivare solamente ad un'altezza inferiore al loro diametro, dopo aver permesso a parte della ruota di essere immersa nel fiume o in un'altra sorgente d'acqua. In più, ciò presuppone una ruota con i contenitori per sollevare l'acqua, come le tazze nella noria, montate sulla corona; con un timpano o ruota a cassette, con le sue aperture di scarico vicino l'asse, l'ammontare totale sollevato non era superiore al raggio della ruota. La lunghezza di una vite di Archimede, e di conseguenza l'altezza a cui essa poteva sollevare l'acqua, era anch'essa limitata sia dalla crescente frizione, che dal peso crescente dell'acqua all'interno della macchina, che doveva essere spostato ad ogni rivoluzione. Laddove vi era la necessità, si poteva superare il problema tramite l'installazione delle macchine in batterie disposte in successione, come la sequenza di otto coppie di ruote nelle miniere d'oro del Rio Tinto nella Spagna romana, che sollevavano l'acqua di 30 m, o come gli shaduf multipli. Tutto ciò moltiplicava ancora una volta le spese, come dimostrato dalle strutture poste ad irrigare una dorsale

in Egypt by a battery of wheels and screw that took a gang of 150 prisoners to operate it. Pumps, which would have been the real answer, existed but were apparently too unreliable or hard to construct to be seriously used in irrigation. Instead, we find them employed in situations where only intermittent use was required, such as fire-fighting or pumping drinking water. Third, the amount of water such devices could raise was also limited. A single shaduf could provide 2.7 m³ daily, enough to irrigate 0.4-1.5 hectares, an Archimedean screw, it has been calculated, can produce around 288 m³ daily (twenty-four hours), and a tympanum 1,152 m³; it must be noted that these estimates come from different sources and are therefore not necessarily even internally consistent, let alone accurate in any absolute sense, but they do give some idea of the order of magnitude we are dealing with. For a long time, it was thought there was also a further and conclusive testimony, now however challenged and apparently discredited. This was the famous inscription from Lamasba, near Lambaesis in Algeria, listing the regulations for rationing out the irrigation water among the local farmers. Rationing is on a time basis, each beneficiary having the right to open his sluices during set hours. It appeared that the text differentiated between 'lower' and 'upper' farmers, and the latter, whose lands lay uphill from the supply channel and had to use lifting machines, were granted longer hours, in manifest recognition of the inefficiency of the machines. It now seems that this is quite wrong, though it is still hard to say what the correct interpretation is.

For the small, rural conduits running under gravity, however, that must have formed the great bulk of Roman agricultural irrigation, there is little direct evidence. On the Mediterranean coast of Spain, some of the original Roman conduits may still be in use. Such, at least, has been stated and may well be true, though one would hesitate to place too much faith in a dating and identification that must be largely speculative. But if they are not original, the roman ones must have been very much

fertile in Egitto tramite una batteria di ruote e coclee che per funzionare richiedevano un gruppo di 150 prigionieri. Le pompe, che sarebbero state la vera risposta, esistevano ma erano apparentemente troppo inaffidabili o difficili da costruire per essere usate seriamente nell'irrigazione. Le vediamo usate invece in situazioni in cui veniva richiesto solo un uso intermittente, come lo spegnimento d'incendi o il pompaggio dell'acqua potabile. In terzo luogo, anche la quantità d'acqua che queste macchine potevano sollevare era limitata. Un solo shaduf era in grado di erogare 2,7 m³ al giorno, quantità sufficiente per irrigare 0,4-1,5 ettari; è stato calcolato che una vite di Archimede possa produrre intorno ai 288 m³ giornalieri (ventiquattr'ore) e un timpano 1.152 m³. Dobbiamo precisare che queste stime provengono da fonti diverse e perciò non sono necessariamente omogenee, persino a livello intrinseco, tantomeno accurate in senso assoluto. Tuttavia, danno una qualche idea riguardo l'ordine di grandezza di cui stiamo trattando. Per un lungo periodo, si è pensato che esistesse una testimonianza ulteriore e conclusiva, ora comunque messa in discussione e apparentemente screditata. Si tratta della famosa iscrizione di Lamasba, vicino Lambesi in Algeria, in cui vengono citate le regole per il razionamento dell'acqua per l'irrigazione tra gli agricoltori locali. Il razionamento è regolato in base al tempo, avendo ogni beneficiario il diritto di aprire i propri canali in determinate ore. Sembra che il testo operasse una differenziazione tra agricoltori 'bassi' e quelli 'alti' e a quest'ultimi, i cui terreni si trovavano in alto rispetto al canale di erogazione e dovevano usare macchine per il sollevamento, venivano garantite più ore, riconoscendo apertamente l'inefficienza delle macchine. Ora sembra che questa ipotesi sia errata, sebbene sia ancora difficile dire quale sia la corretta interpretazione.

Esistono tuttavia poche prove concrete sul fatto che i piccoli condotti rurali che correvano grazie alla forza di gravità, abbiano rappresentato una parte importante dell'irrigazione agricola romana. Sulla costa mediterranea della Spagna posso essere trovati ancora in funzione alcuni condotti originali dell'epoca romana. Questo è almeno quanto è stato affermato e può essere tranquillamente vero. Tuttavia, si dovrebbe esitare a porre tanta fiducia in una datazione o identificazione che deve essere perlopiù ipotetica. Se non sono originali però, quelli romani devono essere stati molto

the same thing, and so we can take their modern counterparts as reflecting ancient practice. To get their water, they may have tapped a local spring, drawn it from a convenient stream, or even from an established city aqueduct passing nearby. This last was no doubt unusual, but recent flow studies on the Gier aqueduct at Lyon show that at various places, notably just before the more important siphons located along its course, it might often be expected to overflow, the siphon being incapable of accommodating the amount of water the aqueduct could deliver when running full, and it is reasonable to assume that the surplus was diverted to agricultural use rather than simply wasted. At Rome, the Anio Vetus, because of the poor quality of its water, was extensively and officially used to irrigate gardens and vegetable plots.

A more usual situation was perhaps that of the Aqua Crabra, near Tusculum in the Alban Hills. Though it is something of a *cause célèbre*, our knowledge of it seems to be entirely literary, not archaeological, and it is not clear exactly what it was. It was certainly a local water channel used for irrigation, but whether a natural stream or, as White boldly states, 'an aqueduct which ran from Tusculum to Rome, a distance of fifteen miles, applying irrigation water', I would prefer not to say. Its waters were shared out among the local farmers, and a surviving inscription gives us the details of the rationing scheme, which operated on a basis both of set hours allowed to each landowner, and supply channels of specified (but varying) size, rather like the *calices* used to regulate domestic supply. Unlike the otherwise similar Lamasba inscription, there is no time differentiation between 'upper' and 'lower' landowners. Other inscriptions likewise record local rationing schemes for irrigation water, though, like the Crabra, one often cannot tell whether the '*aqua*' that provides the supply refers to a natural stream or an artificial irrigation conduit. But the main principle seems to be clear: in ancient irrigation, as in modern, all the outlets were never open at once, and fields were watered in rotation.

simili e così possiamo considerare che le loro copie moderne rispecchino una pratica antica. Per raccogliere l'acqua, possono aver attinto da una sorgente locale, da un utile corso d'acqua o persino dall'acquedotto di una determinata città che passava nelle vicinanze. Questa soluzione era senza dubbio insolita, ma recenti studi sul corso dell'acquedotto di Gier a Lione mostrano che in diversi punti, in modo particolare appena prima dei più importanti sifoni collocati lungo il suo percorso, spesso ci si aspettava traboccasse, non essendo i sifoni in grado di gestire la quantità d'acqua che l'acquedotto poteva erogare nei momenti in cui ne era pieno, ed è ragionevole supporre che l'acqua in eccesso venisse dirottata a fine agricoli piuttosto che venir semplicemente sprecata. A Roma, l'Anio Vetus, a cause della scarsa qualità della sua acqua, era in gran parte ed ufficialmente usato per irrigare giardini e orti.

Una situazione più comune era forse quella dell'Acqua Crabra, vicino il Tuscolo, sui Colli Albani. Sebbene sembri essere stata una *cause célèbre*, la nostra conoscenza a riguardo sembra essere interamente letteraria, non archeologica, e quindi non si sa chiaramente cosa fosse con esattezza. Era certamente un canale con acqua locale utilizzato per l'irrigazione, ma non mi sento di dire se era un corso d'acqua naturale o, come afferma coraggiosamente White, 'un acquedotto che corre da Tuscolo fino a Roma, per una distanza di quindici miglia, fornendo acqua per l'irrigazione'. Le sue acque venivano divise tra gli agricoltori locali ed un'iscrizione ancora esistente ci fornisce i dettagli dello schema di razionamento, che operava sia sulla base di un numero di ore stabilite concesse al proprietario terriero, che su dei canali di erogazione di determinate (ma non fisse) dimensioni, piuttosto simile ai *calices* usati per regolare il rifornimento domestico. A differenza delle iscrizioni di Lamasba, simili sotto altri aspetti, non c'è alcuna distinzione tra proprietari terrieri 'alti' e 'bassi' riguardo il tempo a loro disposizione. Anche altre iscrizioni citano schemi locali per il razionamento dell'acqua per l'irrigazione, sebbene, come la Crabra, non si è in grado di affermare se l' 'acqua' usata per il rifornimento provenisse da un corso d'acqua naturale o da un condotto d'irrigazione artificiale. Tuttavia, il principio essenziale sembra essere chiaro: nell'irrigazione antica, come in quella moderna, le bocche di irrigazione non venivano aperte tutte insieme, e i campi venivano irrigati a rotazione. Dove il

Where the water supply was continuous, rationing was normally by time. How the relevant hours were determined, given the general imprecision of ancient time-measuring equipment, we can only guess, but the obstacles cannot have been insuperable. A water clock of some sort could have served, and we may get some idea of the possibilities by observing the system employed in antiquity for water rationing at the Gadames oasis in North Africa, and still in use without modification. The time is determined by filling a pot with a small hole in the bottom to allow the contents to escape. Each owner is permitted to divert the entire flow of the nearest irrigation ditch on to his land for a time span measured by a given number of 'potfuls', on the principle of the hourglass or the ancient clepsydra. When the time has expired, into the channel is dropped a small bundle of straw, which, floating down with the current, arrives as a signal to the farmer that his turn is over; his sluice is closed, and that of the next participant opened. The complete cycle of all participants takes about twelve days to complete. There must have been many such primitive (but simple and efficient) systems of water rationing in use in antiquity, particularly in the remoter reaches of the empire.

However, if in general we know all too little of Roman irrigation, we also must note three exceptions, fields in which our knowledge is fuller than elsewhere. One is in the arid lands of the Middle East and North Africa, especially the latter. Here, we benefit from extensive French studies of the colonial era, dedicated to remains of Roman hydraulic works of every kind and motivated by the optimistic expectation that many of them could be put back into service. Upon this foundation of assembled factual evidence, modern studies have now built a more accurate comprehension of the principles of which they functioned and how they served the local community. The argument may be simply expressed. In North Africa, the picture has been clouded by the monumental Roman works devoted to urban supply – aqueducts, bridges, arcades and the like – which has obscured the importance to the regional economy of the more humdrum rural irrigation schemes.

rifornimento idrico era continuo, il razionamento avveniva generalmente su base temporale. Come venissero determinate queste ore, lo possiamo solamente immaginare, data la generale imprecisione dei sistemi antichi di misurazione del tempo: questi ostacoli, tuttavia, non possono essere stati insuperabili. Potrebbe essere stato utilizzato una specie di orologio ad acqua e possiamo avere un'idea delle varie possibilità osservando il sistema per il razionamento impiegato in Antichità, e tuttora in uso senza aver subito modifiche, nell'oasi di Gadames in Nord Africa. Il tempo viene determinato mediante il riempimento di un vaso con un foro sul fondo che permette al contenuto di fuoriuscire. Ad ogni proprietario terriero è permesso di deviare sul suo terreno l'intero flusso del canale d'irrigazione più vicino per un periodo di tempo misurato dal contenuto di un certo numero di vasi, secondo il principio dell'orologio a sabbia e dell'antica clessidra. Finito il tempo, viene fatta cadere nel canale una piccola palla di paglia che, trasportata giù dalla corrente, segnala all'agricoltore che il suo turno è finito; si chiude la sua chiusa e viene aperta quella del successivo partecipante. Si impiegano dodici giorni per completare il ciclo. In Antichità e specialmente nelle zone più remote dell'impero, devono esserci stati molti sistemi primitivi simili (semplici ma efficaci) utilizzati per il razionamento dell'acqua.

Tuttavia, se in linea generale conosciamo troppo poco dell'irrigazione romana, dobbiamo anche segnalare tre eccezioni, settori in cui le nostre conoscenze sono maggiori che altrove. Una è nelle aride terre del Medio Oriente e Nord Africa, in modo particolare in quest'ultima. Qui, beneficiamo degli ampi studi francesi sull'era coloniale, concentrati sui resti di opere idrauliche romane di ogni genere e motivati dall'aspettativa ottimistica che molte di esse potessero tornare in attività. Su queste basi, costituite da una serie di prove reali, gli studi moderni hanno sviluppato una conoscenza più attenta dei principi del loro funzionamento e del modo in cui servivano la comunità locale. L'argomento può essere spiegato facilmente. In Nord Africa, la scena veniva offuscata dalle monumentali opere romane destinate al rifornimento idrico urbano, acquedotti, ponti, arcate e simili, che hanno oscurato l'importanza dell'economia regionale rappresentata dagli schemi più monotoni dell'irrigazione

These, moreover, were built and operated on traditional lines not by the Romans but by the native Berber tribesmen, and the Roman, accustomed to a different set of principles formed in a land where water was more plentiful, often did not understand them. Finally, modern scholars have been so convinced of the superior efficiency and organization of the Romans over all who preceded or followed them in the occupation of these lands, that any structure or arrangement reflecting a modest level of competence is automatically described as Roman, on the grounds that there was never anybody else in the area who had enough brains, or at least organization, to build such a thing: thereby clinching the argument, even if it is only a circular one. A few fragments of conduit, or a row of rough foundation blocks, are not inherently easy to date, and it is quite possible that a number of works identified as Roman are not Roman at all, and some other people or society should get the credit. The same may also hold true of areas of the empire other than North Africa.

The actual principles of irrigation in the Magreb region of North Africa were also substantially different from what obtained elsewhere in the empire. Indeed, the distinction between drainage and irrigation almost breaks down in these arid lands. Instead, one finds an integrated attempt to capture and redirect what rainfall there is to where it will do most good, a procedure that one could perhaps better refer to by some term such as 'water management'. Even this does not tell the whole story, for it leaves out the vital factor of erosion. This is greatly misunderstood. To the general reader, all erosion is bad and should be prevented. The hydraulic engineers of the ancient Maghreb and the Negev knew better. Cloudbursts were going to wash away topsoil anyway, so the important thing was to choose and control where it was eventually deposited. Viewed thus constructively, the run-off became a convenient means of transporting soil, even of gathering it all together where it naturally lay too thin on the ground to be of any use and assembling it in land parcels of viable size located in suitable areas which could be adequately irrigated.

agricola. Per di più, questi schemi venivano costruiti e fatti funzionare su linee tradizionali non dai romani ma dalle tribù berbere native, e i romani, abituati ad altri principi sviluppati in una terra in cui l'acqua era più abbondante, spesso non li capivano. Alla fine, gli studiosi moderni si sono talmente persuasi della superiorità dell'efficienza e dell'organizzazione dei romani su tutti coloro che li precedettero o li seguirono nell'occupazione di queste terre, che qualsiasi struttura o complesso che riflettesse anche un modesto livello di competenza viene automaticamente descritto come romano, in quanto nella zona non c'era mai nessun altro che avesse la necessaria intelligenza o almeno organizzazione da costruire cose simili; chiudendo così la controversia, anche se è solo un giro vizioso. Alcuni frammenti di condotto o una fila di blocchi irregolari appartenenti alle fondamenta, non sono in sé facili da datare ed è più che probabile che un certo numero di opere classificate come romane non siano affatto tali e che altre popolazioni o società dovrebbero acquisirne il merito. Lo stesso vale per altre aree dell'impero oltre al Nord Africa.

I veri principi dell'irrigazione nella regione del Maghreb, in Nord Africa, erano anche sostanzialmente diversi da quello che si è ottenuto in altre parti dell'impero. Infatti, la distinzione tra drenaggio ed irrigazione è quasi inesistente in queste zone aride. In alternativa, si trova un tentativo integrato di raccogliere e ridirezionare tutta la pioggia esistente nei luoghi in cui farà più del bene, una procedura a cui ci si potrebbe forse meglio riferire con il termine di "gestione delle acque". Persino questo non completa il quadro della situazione, in quanto trascurava il fattore vitale che è l'erosione. Questo argomento viene notevolmente mal interpretato. Agli occhi del lettore comune, ogni tipo di erosione è nociva e dovrebbe essere prevenuta. Gli ingegneri idraulici dell'antico Maghreb e del Negev ne sapevano di più. I nubifragi avrebbero comunque spazzato via il soprassuolo, cosicché l'importante era scegliere e controllare dove alla fine si andava a depositare. Visto dunque in maniera costruttiva, il deflusso di questi materiali divenne un utile mezzo di trasporto della terra, utile anche a raccoglierla tutta insieme in luoghi dove il suo deposito sul terreno era troppo poco consistente per essere di utilità, che poi veniva assemblato in appezzamenti di dimensioni accettabili, collocati in aree adatte ad un'adeguata irrigazione.

It was not a question of stopping erosion, but of harnessing it. This was normally achieved by building a series of dams across the wadis, or gullies, that carried the runoff. Their purpose is often described as flood control, or even irrigation, but one might more appositely say it was 'to trap soil and water in compartments where it can be successfully cultivated'. Silting up is always a problem in reservoirs behind dams, an average figure being 4.5 cm yearly. In this case, it was the whole object of the exercise; a successful conclusion was reached when the reservoir was completely full of silt and so ceased to exist, turning instead into a terrace of new arable land. The wadis of the ancient Maghreb and the Negev were full of a whole series of these terraces, all formed in this manner. It was small wonder that the Romans, arriving from a land where water was more plentiful, did not grasp such subtleties. On a Roman farm, ditches and conduits were usually for drainage, not irrigation. Given the dry farming techniques, the problem was usually to get rid of water (i.e. at times of temporary flooding) rather than the reverse; Cato lists it as one of the emergencies liable to face a farmer, calling for prompt and vigorous action. Moreover, even dam construction has its own rules in the Maghreb, which the Romans seem not always to have understood. Used to build dams on the fixed watercourses of perennial streams, they were often confounded by the wadis, which not only delivered their water in seasonal torrents but were also liable to frequent changes of course and often, once a dam was built, outwitted it by a simple outflanking movement. This protean response usually proved more than a match for the Roman builder, and the best dams were simple earth dykes that, when the pressure got too great, were washed away and then cheaply and easily replaced by local farmers.

The end result of all these techniques seems to have been a level of agricultural production that has caused frequent astonishment in ancient times and modern alike. It should, however, be noted that we are here speaking of rural areas,

Il problema non era fermare l'erosione, bensì controllarla. Ciò generalmente veniva ottenuto mediante la costruzione di una serie di dighe negli uadi o gole, che portavano il materiale spazzato via. Spesso il loro scopo viene descritto come quello di controllare le inondazioni, o anche di irrigare, ma si dovrebbe dire più precisamente che era quello di 'intrappolare il terreno e l'acqua in aree dove potesse essere coltivato con successo'. L'aumento di livello del limo è sempre un problema nelle cisterne dietro le dighe, poiché la media annua è di 4,5 cm. In questo caso, invece, rappresentava l'oggetto di tutto l'esercizio; una conclusione positiva si aveva nel momento in cui la cisterna era completamente piena di limo e così cessava di esistere, trasformandosi invece in una terrazza di nuova terra arabile. Gli uadi dell'antico Maghreb e del Negev erano pieni di serie complete di queste terrazze, formate tutte in questa maniera. Non meravigliò molto che i Romani, arrivando da una terra in cui l'acqua era più abbondante, non capirono questo tipo di abilità. In una fattoria romana, i canali di scolo e i condotti di solito venivano usati per il drenaggio, non per l'irrigazione. Date le tecniche di aridocoltura, il problema generalmente era quello di eliminare l'acqua (come nei periodi di inondazioni temporanee) invece del contrario; Catone la cita come una delle emergenze a cui è possibile che un agricoltore debba far fronte, richiedendo un'azione forte e tempestiva. Inoltre, perfino la costruzione di dighe aveva le sue regole nel Maghreb, che i romani non sempre sembrano aver capito. Abituati a costruire dighe su determinati alvei di corsi d'acqua perenni, spesso venivano spiazzati dagli uadi, che non solo riversavano la propria acqua in terreni stagionali ma erano anche soggetti frequentemente a cambiamenti di percorso e, spesso, una volta che la diga era costruita, la superava con un semplice movimento laterale. Questa mutevole reazione di solito per i costruttori romani si rivelò più di una sfida, e le migliori dighe erano semplici sbarramenti di terra che, quando la pressione diventava eccessiva, venivano spazzati via per venire in seguito sostituiti facilmente e a basso prezzo dagli agricoltori locali.

Il risultato finale di tutte queste tecniche sembra esser stato quello di un livello di produzione agricola che ha spesso provocato stupore nell'età antica come in quella moderna. Dobbiamo comunque notare che in questa sede stiamo parlando di aree

on the evidence of known crop yields. The common belief in the prosperity of North Africa generally in roman days, on the evidence of urban archaeological remains (i.e. cities such as Timgad or Voubilis) is quite a different matter. The assumption that the land must have been prosperous since it maintained so many fine towns where none have existed since, has now often been contested on the grounds that these towns were for, in modern terminology, a foreign colonialist élite, while the Berber rural peasantry constituted the real economic backbone of the country. We do not here want to get into political theory, but I cannot help wondering what the Berbers thought and said when they saw the precious water that they depended on for their crops and livelihood being put into aqueducts and carried off to a new town for Roman army veterans to use for endless bathing. In this context, aqueducts and water use raise a serious social issue.

The second exception, an area where we know something of irrigation, is represented by the law. A study of the law hardly falls within the scope of this book, but we may offer one or two comments. First, the provision of roman law abundantly confirms our generalization about the inversion of priorities on North African and other roman farms. All are concerned about *aquae arcendae*, keeping rainwater under control and legal liability for flooding: that is, they are concerned, at time of cloudbursts, with getting rid of the water rather than gaining access to it. Conversely, the body of traditional North African law is concerned with disputes over a farmer *preventing* surface run-off on to a neighbour's property, and Roman *agrimensores* in North Africa found themselves in topsy-turvy world with which their law was out of step. For irrigation from a river or stream, rather than run-off or surface rainfall, Roman law held firm and clear to one simple principle. Once a right to the water was established, it was vested in the property and was inalienable. The Digest specifically lays down that '*hauriendi ius non hominis sed praedii est*, 'the water rights belong to the property, not the proprietor', and

rurali, sulla base dei dati conosciuti riguardanti le rese dei raccolti. La credenza comune nella prosperità del nord Africa, nell'era romana in linea generale, sulla base dei resti archeologici urbani (ovvero città come Timgad o Volubilis) è un'altra cosa. L'ipotesi che questa terra debba aver prosperato, in quanto conserva tante belle città in cui prima non esisteva nulla, è stata ora contestata a causa del fatto che le città erano riservate, usando la terminologia moderna, a un'élite coloniale straniera, mentre la classe rurale contadina berbera rappresentava la forza economica reale del paese. Ora non vogliamo entrare in ambito politico, ma non posso fare a meno di domandarmi che cosa pensassero e dicessero i berberi nel vedere la loro preziosa acqua, da cui dipendevano per i raccolti e la sopravvivenza, venir incanalata in acquedotti e portata in una nuova città destinata ai veterani dell'esercito romano, che l'avrebbero utilizzata per gli interminabili bagni. In questo contesto, gli acquedotti e l'uso dell'acqua sollevano una seria questione sociale.

La seconda eccezione, un'area di cui sappiamo qualcosa riguardo l'irrigazione è rappresentata dalla legge. Uno studio della legge rientra a stento all'interno della finalità di questo libro, tuttavia, possiamo offrire uno o due commenti. In primo luogo, le disposizioni della legge romana confermano abbondantemente la nostra generalizzazione a proposito dell'inversione di priorità nelle fattorie nord africane e altre romane. Tutte riguardano le *aque pluviae arcendae*, il mantenimento del controllo sull'acqua piovana e la responsabilità legale per le inondazioni: ovvero, queste disposizioni riguardano l'eliminazione dell'acqua durante i nubifragi, piuttosto che la conquista dell'accesso ad essa. Al contrario, il corpo delle tradizionali leggi consuetudinarie nord Africane riguarda le dispute su un agricoltore che impediva che il terreno si riversasse nella proprietà del vicino e gli *agrimensores* romani in Nord Africa si trovarono in un mondo disordinato non al passo con le loro leggi. In merito all'irrigazione da un fiume o torrente, piuttosto che dall'acqua di superficie o dalle piogge, la legge romana si atteneva ferma e chiara a un unico principio. Una volta stabilito il diritto all'acqua, esso veniva assegnato alla proprietà ed era inalienabile. Il Digesto recitava specificamente che *hauriendi ius non hominis sed praedii est*, "il diritto all'acqua appartiene alla proprietà, e non al proprietario", e in caso di vendita esso

in case of sale automatically went with it. Where water rationing was in force, the legal allocation was based on the area of the property to be watered and might be measured either in volume units or in hours of flow. It should be noted that this is the complete opposite of roman urban practice where, as recorded by Frontinus, a grant permitting a resident to tap into the water supply was personal and individual and did not pass on to anyone who bought the property, or even to the owner's heir after his death; at which point an application for renewal or transfer of right had to be made.

The third exception is referenced in literary sources. From these a certain amount of fragmentary information is forthcoming, but a disproportionate amount of it, at least for our purposes, relates to the early oriental empires, whose feats in irrigation and canalization of waters made a great impression on classical writers acquainted with them, especially Greek ones. For the rest, references in Latin writers to Roman irrigation form something of a rag-bag, contributing little to any coherent, overall picture. They have mostly been assembled in the article by Knapp.

Industry

The reader will look askance at this category, for the ancient world is not famous for its heavy industry. Yet there was a significant volume of water consumed for purpose to which, if we did not mentally affix the label 'industrial', we would be hard put to it to think of anything else. In towns the chief commercial users were probably the fullers, the ancient equivalent of laundrymen. Like most tradesmen, however, they operated out of small workshops which no doubt drew their water from the ordinary city network with no great need for special arrangement. In the country, some mining operations required an abundant water supply. We have already, when considering aqueduct conduits, noted the aqueduct serving the Dolaucothi gold mines in Wales, where a lot of water was needed for

accompagnava automaticamente la proprietà. Laddove era in vigore il razionamento dell'acqua, l'assegnazione legale era in base all'estensione della proprietà da irrigare e poteva essere misurata sia in unità di volume che in ore di flusso. Dobbiamo notare che questo è completamente l'opposto della pratica urbana romana dove, come registrato da Frontino, la concessione che permetteva ad un residente di attingere al rifornimento idrico era personale e individuale, e non passava a nessun eventuale compratore della proprietà o persino agli eredi del proprietario dopo la sua morte; a quel punto doveva essere presentata una domanda di rinnovo o passaggio dei diritti.

La terza eccezione riguarda i riferimenti nelle fonti letterarie. Da questi deriva una certa quantità di informazioni frammentarie, ma una quantità sproporzionata di esse, almeno per i nostri scopi, riguarda i primi imperi orientali, le cui opere d'irrigazione e canalizzazione delle acque fecero grande impressione sugli scrittori classici che ne erano a conoscenza, specialmente sui greci. Per il resto, i riferimenti all'irrigazione romana nelle opere di scrittori latini creano una specie di sacco per ritagli di stoffa, contribuendo poco a qualsiasi coerente visione d'insieme. Questi riferimenti sono stati raccolti perlopiù nell'articolo di Knapp.

Industria

Il lettore guarderà con sospetto questa categoria, in quanto il mondo antico non era famoso per la sua industria pesante. Eppure, vi era un significativo volume d'acqua consumato per scopi ai quali, se non attribuiamo mentalmente il marchio 'industriali' avremmo delle difficoltà a pensare a qualcosa di diverso. Nelle città, i principali utenti commerciali erano probabilmente i follatori, il corrispondente antico del lavandaio. Come molti commercianti, questi operavano in piccole botteghe che senza dubbio ricevevano l'acqua dalla rete cittadina ordinaria senza aver tanto bisogno di sistemi particolari. Nella campagna, alcune attività di carattere estrattivo richiedevano un rifornimento idrico abbondante. Quando abbiamo parlato dei condotti degli acquedotti, abbiamo già descritto l'acquedotto che serviva le miniere d'oro di Dolaucothi in Galles, dove era necessario un elevato quantitativo d'acqua per

'hushing', washing away the overburden to expose the lower auriferous deposits. In Las Medulas gold mines of Spain private aqueducts (which included tunnelling through a mountain ridge were likewise constructed to serve the miners' needs. In Greece of classical and later days, water was also needed in large quantities for silver refining in the areas around the Laurion mines, but this came from rainfall locally stored in cisterns.

Water-mill

However, the main industrial use to which water was put, apart from mining, must have been the provision of power – water mills, for grinding grain. How extensive, then, was the use of such mills? Until recently, this was a question that could have been, and generally was, confidently answered: 'Very little'. But this picture, even if it has not yet changed, is now being submitted to probing that calls much-established doctrine into question. The established doctrine rests on two points. The first concerns the type of mill. Two basic types are known, the vertical wheel (subdivided into undershot and overshot), and the horizontal, also known as the Norse or Greek mills.

The horizontal mills, which has a set of paddles or blades arranged horizontally and turned by a jet of water playing on to them on one side, is the most simple, primitive and inefficient type. Its simplicity and inefficiency both derive from the fact that the blades were mounted on the bottom end of a vertical shaft, the top end of which carried and rotated the millstone. There was no gearing, which simplified construction, but meant that the millstone turned at the same rate as the waterwheel below it. This was much too slow for efficient milling., though an inefficient mill can of course produce as much as an efficient one if its working hours are extended. Because of the superior efficiency of the vertical

il “lavaggio” necessario a togliere gli strati più esterni al fine di poter esporre i depositi auriferi posti ad un livello inferiore. Nelle miniere d’oro di Las Medulas in Spagna, gli acquedotti privati (che includevano dei tunnel scavati in una montagna) erano anch’essi costruiti per servire le necessità dei minatori. Anche nella Grecia dei periodi classico e tardo, erano necessari grandi quantitativi d’acqua per la rifinitura dell’argento nell’area intorno alle miniere di Laurion, questa però veniva ricavata dalle piogge raccolte localmente in cisterne.

I mulini ad acqua

Ad ogni modo, il principale uso industriale al quale l’acqua era destinata, a parte l’industria mineraria, deve essere stato quello della fornitura di energia – i mulini ad acqua per macinare il grano. Quanto era diffuso, dunque, l’uso di questi mulini? Fino a poco tempo fa, questa era una domanda la cui risposta poteva confidenzialmente essere stata, e in genere era: “Molto ridotta”. Ma questo scenario, sebbene non sia ancora cambiato, viene ora sottoposto ad uno studio accurato che mette in discussione gran parte del sapere acquisito, che si basa su due punti: il primo riguarda il tipo di mulino. Se ne conoscono due modelli base, la ruota verticale (con suddivisione tra quella per di sotto e quella per di sopra), e quella orizzontale, conosciuta come la norvegese o il mulino greco.

Il mulino orizzontale, che è dotato di una serie di pale o lame poste orizzontalmente e fatte girare da un getto d’acqua che agisce su di esse provenendo da un lato, è il modello più semplice, primitivo e inefficiente. La semplicità e l’inefficienza derivano entrambe dal fatto che le lame erano montate all’estremità inferiore di un pozzo verticale, la cui estremità superiore trasportava e faceva ruotare la macina. Non c’era nessun sistema d’ingranaggi, cosa che ne semplificava la costruzione, ma significava anche che la macina girava alla stessa velocità della ruota idraulica sotto di essa. Questa velocità era troppo bassa per un’efficace macinatura, anche se un mulino inefficiente è certamente in grado di produrre quanto un buon mulino, se le sue ore di funzionamento vengono aumentate. A causa della maggior efficienza della ruota

w h e e l , scholars have seen in the two a natural sequence of development from one to the other. This doctrine is clearly enunciated by, for example, R.J. Forbes, to whom it is clear that the primitive Greek mills 'inspired' Roman engineers to invent the vertical type, which then largely replaced it.

However, mechanical or even economic efficiency was seldom a major goal in the ancient world, and this argument neglects one of the great advantages of the horizontal mill, its simplicity and ease of construction. It now appears more likely that the two types, instead of being successive, co-existed contemporaneously throughout the Roman world, with perhaps a slight predominance of the horizontal mill in Northern Europe. As for its efficiency, we may note that the horizontal wheel has always been the standard form of water mill preferred by the Chinese, not a people historically noted for their technical backwardness; it is still in use down to the present day.

The essential difference with the vertical wheel, the form of waterwheel now generally familiar, is that this is mounted on a horizontal axle that then employs gearing to transmit the drive through a right-angle up to the millstone above. The gearing is also a convenient means of increasing the speed of rotation, usually in roman mills, by a factor of five. The actual wheel can be built with its lower edge dipping into the river and rotated by the natural current pushing past it. This 'undershot' type (Fig.17 (left), appendix) is the easiest to build since it involves no special hydraulic arrangements, but it does need a strong and rapid stream, and is in any case of low efficiency, about 22%. The 'overshot' wheel (fig 17 (right), appendix) is turned by water delivered from a chute to its upper rim and is turned not merely by the horizontal impulse of the onrushing water, as is the undershot, but also by gravity as the water cascades down to a lower level – that is, harnessing both the water's momentum and its weight; it operates at higher efficiency, around 65-70%. The actual power output depends on the rate and volume of flow of

verticale, gli studiosi hanno visto nei due modelli una sequenza naturale di sviluppo da uno all'altro. Questa tesi viene chiaramente enunciata, per esempio, da R.J. Forbes, secondo il quale è chiaro che il mulino greco primitivo 'diede l'ispirazione' agli ingegneri romani per inventare il modello verticale, che in seguito lo sostituì ampiamente.

Tuttavia, l'efficienza meccanica o persino economica raramente nel mondo antico rappresentava un obiettivo importante, e questa tesi trascura uno dei grandi vantaggi del mulino orizzontale, la sua semplicità e facilità di costruzione. Ora appare più probabile che i due tipi, invece di essere uno successivo all'altro, coesistessero nel mondo romano, forse con una leggera predominanza del mulino orizzontale nel nord Europa. Per quanto riguarda la sua efficacia, possiamo notare che la ruota orizzontale è sempre stata la forma standard di mulino preferita dai cinesi, un popolo storicamente non noto per la sua arretratezza tecnica; tuttavia, esso è tuttora in uso.

La differenza sostanziale con la ruota verticale, la forma ora più familiare di ruota idraulica, è che quest'ultima è montata su di un asse orizzontale che poi usa un sistema d'ingranaggi per trasmettere, attraverso un angolo retto, il moto fino su alla macina. Il sistema d'ingranaggi è anche un mezzo utile per aumentare la velocità di rotazione, di solito nei mulini romani, di un fattore pari a cinque. La ruota vera e propria può essere costruita con il bordo inferiore immerso nel fiume e fatta ruotare dalla naturale corrente dell'acqua che l'attraversa. Questo modello 'per di sotto' (Fig. 17 (sinistra), appendice) è il più facile da costruire, dal momento che non richiede sistemi idraulici particolari, tuttavia, necessita di una corrente forte e rapida, e in ogni caso, ha una scarsa efficienza, circa il 22%. La ruota 'per di sopra' (Fig. 17 (destra), appendice) viene fatta girare da acqua che proviene da uno scivolo posto sulla sua corona superiore e non viene fatta girare puramente da un impulso orizzontale dell'acqua corrente, come in quella per di sotto, ma anche dalla gravità, in quanto l'acqua precipita giù ad un livello inferiore, in altre parole sfrutta sia la velocità di accelerazione dell'acqua che il suo peso; ha un'efficienza maggiore, intorno al 65-70%. La reale produzione di energia dipende dalla velocità e dal volume del flusso del

the river or water channel, but in average circumstances, it still calculates out to a depressingly low figure – around 1/20 hp for an undershot, and 2-2½ hp for an overshot wheel. For comparison, we may note that the power output of one man, on a treadmill, is around 1/10 hp.

The second pillar of conventional doctrine is that though the ancients, especially the Romans, understood waterwheels and knew how to build them, yet they hardly ever did, and a good deal of thought has gone into explaining why not. Of the fact of their existence, there can be no doubt. The earliest reference in literature seems to be a Greek poem in the Palatine Anthology (9,418), attributed to one Antipater of Thessalonika and dating to the late first century BC. Vitruvius clearly describes the vertical wheel (so clearly that it is sometimes referred to as the Vitruvian mill), and, from a much later viewpoint, in the fourth century AD, Ausonius equally clearly (if poetically) describes a waterwheel-powered marble-sawing work on the river Moselle, which can only be called an impressive achievement. Archaeological remains of several watermills have also been found, notably in the Atenian agora (but of late Roman date, in the fifth century AD) and at Venafrum, near Cassino, between Rome and Naples. They are also attested in the multi-wheel installation at Barbegal, near Arles (a special case, to be considered below), and in installations of various kinds, known to us by varying evidence, notably at Rome on the Janiculum and in the basement of the Baths of Caracalla. A remarkably high number of small mills also seems to be attested in Britain. Yet, goes the argument, for a total throughout the Roman empire, this is a remarkably low figure, and waterwheels must have been correspondingly scarce. The scarcity is most usually explained away by the hypothesis that rivers suitable to the undershot wheel were few in the Mediterranean area, and that the overshot wheel required hydraulic arrangements that were expensive and technically difficult, namely a mill-pond and mill-race to ensure a regular, controlled supply of fast-running water.

fiume o del canale, in media però si attesta su dei valori bassi, scoraggianti, intorno a 1/20 CV per una ruota per di sotto, e 2-2 ½ CV per una per di sopra. A titolo di paragone, possiamo notare che la produzione energetica di un uomo, su una ruota a pale, si aggira intorno a 1/10 CV.

Il secondo pilastro della dottrina convenzionale è che sebbene gli antichi, in particolare i Romani, capirono l'uso delle ruote idrauliche e sapevano come costruirle, difficilmente lo fecero, e si è riflettuto molto per spiegarne il motivo. Sulla loro esistenza non vi è dubbio. Il primo riferimento nella letteratura sembra essere un poema greco nell'Antologia Palantina (9.418), attribuito ad Antipatro di Tessalonica e risalente alla fine del primo secolo a.C. Vitruvio descrive chiaramente la ruota verticale (così chiaramente che a volte viene chiamata «mulino vitruviano»), e, da un punto di vista più recente, nel quarto secolo d.C., anche Ausonio descrive altrettanto chiaramente (anche se poeticamente) un congegno per il taglio del marmo azionato da una ruota idraulica sul fiume Mosella, che non può essere considerato altro che una realizzazione stupefacente. Sono stati rinvenuti anche resti archeologici di molti mulini ad acqua, in particolar modo nell'agora ateniese (ma di epoca tardo-romana, nel quinto secolo d.C.) e a Venafrò, vicino Cassino, tra Roma e Napoli. Resti vengono anche attestati nella struttura a ruote multiple a Barbegal, vicino Arles (un caso particolare, che verrà trattato in seguito), e in strutture di vario tipo, note a noi attraverso varie testimonianze, specialmente a Roma, sul Gianicolo e nel sotterraneo delle Terme di Caracalla. Anche in Gran Bretagna sembra essere stato trovato un numero molto alto di piccoli mulini. Proseguendo nella discussione, tuttavia, per fare un totale di tutto l'Impero romano, questi dati sono molto bassi, e le ruote idrauliche devono essere state un numero ugualmente ridotto. Molto spesso questa scarsità continua ad essere spiegata con l'ipotesi che, nell'area del Mediterraneo, i fiumi adatti alla ruota per di sotto erano pochi, e che la ruota per di sopra richiedeva strutture idrauliche costose e tecnicamente difficili, più precisamente un bottaccio o una gora al fine di assicurare un rifornimento regolare e controllato di acque che scorressero veloci.

This is very unconvincing, though still widely believed. The requirement of a steady continuous stream of water artificially delivered, for operating an overshot mill, is one that Roman engineering could readily fill. Indeed, it sounds like a dictionary definition of an aqueduct, a branch of hydraulics in which the Romans have always been thought, rightly, to excel; certainly, there is something very incongruous about reading, as one does in so many handbooks, of how the Romans had no mills because of a lack of exactly the hydraulic facilities that the same book goes on to explain existed (for other purposes) in vast numbers throughout the empire. Aqueducts ought to have been ideal for water-mills, and it was aqueducts, bringing the water from afar, rather than a nearby millpond or reservoir, that supplied most of the Roman mills we know about – Janiculus, Barbegal, Venafrum, the Agora. It might be an individual aqueduct expressly used to drive the mill and for no other purposes (as at Barbegal), or, as at the Janiculum, the supply could come from an urban aqueduct. By the fifth century AD, this was evidently a common enough solution to require legislation to stop millers doing it. With the technical difficulties thus disposed of, the next point to be faced is, why then were there so few mills? This argument is met head-on by questioning its truth. The only reason that we think water-mills were rare is that we have not found many, and this may reflect simply a failure either of archaeological evidence or of our interpretation of it. A parallel from mediaeval England, indeed, argues compellingly that it is so. The Domesday Book lists the existence in England of 5,624 mills (though of all types, not only watermills); in Norfolk and Suffolk alone there were 500 of them; ‘Yet’, it has pointedly been asked, ‘how many of these are attested archaeologically?’. The answer is, scarcely a dozen. The implication is plain, and the conclusion at present justified. In antiquity, water-mills were far more numerous than is now generally believed. We cannot tell what their distribution was among the various types, but some at least must have been overshot and supplied by aqueducts. These may have been individual aqueducts

Questa teoria non è affatto convincente, sebbene ampiamente accettata. La richiesta di un flusso d'acqua regolare e continuo, erogato artificialmente per il funzionamento di un mulino per di sopra, è qualcosa che l'ingegneria romana poteva prontamente soddisfare. In effetti, sembra essere la definizione di acquedotto data da un dizionario, una branca dell'idraulica in cui si è sempre ritenuto, a ragione, che i Romani eccellessero; di sicuro c'è qualcosa di molto incoerente in quello che si legge in molti manuali, sulla ragione per la quale i Romani non avessero mulini a causa della mancanza proprio delle attrezzature idrauliche che lo stesso libro andando avanti spiega esistessero (per altri scopi) in gran numero in tutto l'impero. Gli acquedotti avrebbero dovuto essere l'ideale per i mulini ad acqua, ed erano gli acquedotti, portando l'acqua da lontano piuttosto che da un vicino bottaccio o bacino, che rifornivano la maggior parte dei mulini romani che conosciamo – Gianicolo, Barbegal, Venafro, L'Agora. Poteva essere un singolo acquedotto usato espressamente per azionare il mulino e per nessun altro scopo (come a Barbegal), o, come al Gianicolo, il rifornimento poteva arrivare da un acquedotto urbano. Fino al quinto secolo d.C. questa era evidentemente una soluzione abbastanza comune, tale da richiedere una legislazione che impedisse ai mugnai d'impiegarla. Eliminate in questo modo le difficoltà tecniche, il prossimo punto da affrontare è: perché dunque c'erano così pochi mulini? Questo tema viene affrontato apertamente mettendo in dubbio la sua veridicità. L'unico motivo per cui si pensa che i mulini ad acqua fossero rari, è che non ne abbiamo trovati molti, e ciò può semplicemente riflettere un fallimento delle testimonianze archeologiche o della nostra interpretazione di esse. Un confronto con l'Inghilterra medievale, infatti, convince che sia così. Il Domesday Book cita l'esistenza, in Inghilterra, di 5.624 mulini (anche se di vario tipo, non solo ad acqua); solo nel Norfolk e Suffolk ve n'erano 500; 'Però', è stato chiesto molto argutamente, 'quanti di questi mulini hanno testimonianze archeologiche?'. La risposta è: appena una dozzina. La conseguenza è chiara e la conclusione al momento giustificata. Nell'Antichità, i mulini erano di gran lunga più numerosi di quanto ora generalmente si creda. Non siamo in grado di affermare quale fosse la loro distribuzione tra i vari tipi, almeno alcuni però devono essere stati azionati dall'alto e alimentati da acquedotti. Possono

to supply the mills, or water may have been taken from existing urban aqueducts. Since water is not really 'used' by water mills, in the sense that it is not consumed or polluted but passes on and is available for further use downstream, one would like to think that sometimes a mill may have been set into the middle of an aqueduct course, where it would not interfere with the flow or total discharge. It would be particularly appropriate in the hills, where aqueducts were in any case often obliged to lose height and often had recourse to cascades in achieving it. What would have been simpler, or more economical, than to drive a mill while doing so? However, it must be made clear that this is pure speculation, and no evidence for such an installation has to my knowledge yet been found. The general, overall picture of course remains both conjectural and far from plain. The great majority of references to mills are of late date, and one might well suspect that mills were relatively rare in, say, the first century BC, becoming increasingly common in the first four centuries AD to an extent not hitherto appreciated. If we grant this, we must then also assume in the Roman empire a whole network of small aqueducts specifically serving mills, or other analogous arrangements. It postulates a whole field of water-supply that we have not yet covered and can only guess at.

Multiple mills

A special case must be made for what we may call multiple mills, where a number of wheels are arranged to turn either in series or in parallel. Considering that it seems such a simple and obvious development, very few examples are known. One is on the Crocodile River, at Naha Tanninim (near Caesarea) north of Tel Aviv, in Israel. The installation consists of a dam built to create a reservoir to supply the 'low-level-aqueduct' to Caesarea, in which housed a number of horizontal (Norse) mills, set in parallel, side by side. Some of

essere stati singoli acquedotti ad alimentare i mulini o l'acqua può essere stata presa da acquedotti urbani esistenti. Dal momento che l'acqua non viene veramente 'usata' da un mulino ad acqua, nel senso che non viene consumata o inquinata, ma scorre e può essere utilizzata per altri scopi a valle, verrebbe da pensare che qualche volta un mulino può essere stato posto al centro del corso di un acquedotto, dove non avrebbe interferito né con il flusso né con l'intera portata. Ciò sarebbe stato particolarmente adatto su colline, dove in ogni caso gli acquedotti erano spesso obbligati a perdere quota e per far ciò si ricorreva spesso a delle cascate. Cosa sarebbe stato più semplice ed economico fare invece di azionare un mulino mentre si faceva tutto ciò? Ad ogni modo va chiarito che tutto questo è pura speculazione e, per quanto io sappia, finora non è stata trovata alcuna prova dell'esistenza di tali opere. Certamente la visione generale e complessiva della situazione resta ipotetica e non chiara. La maggior parte dei riferimenti ai mulini è di epoca tarda, e si potrebbe benissimo credere che nel diciannovesimo secolo, primo secolo a.C., i mulini fossero relativamente rari, diventando sempre più comuni nei primi quattro secoli d.C., fino ad assumere una portata finora non valutata. Se accettiamo ciò, dobbiamo dunque ipotizzare anche l'esistenza, nell'Impero romano, dobbiamo dunque ipotizzare anche l'esistenza, nell'Impero romano, di una rete completa di piccoli acquedotti che servivano espressamente i mulini o altre strutture analoghe. Ciò presuppone l'esistenza di un intero assetto dell'approvvigionamento idrico che non è stato ancora affrontato e sul quale possiamo solo avanzare ipotesi.

Mulini multipli

Un'attenzione speciale va rivolta a quelli che possiamo definire mulini multipli, in cui vengono sistemate più ruote che girano o in serie o in parallelo. Considerando che sembra un'evoluzione così semplice e ovvia, se ne conoscono pochissimi esemplari. Uno si trova sul torrente dei coccodrilli, a Nahal Tananim (vicino Cesarea), nord di Tel Aviv, in Israele. L'opera è composta da una diga costruita per creare un bacino al fine di rifornire l'acquedotto "a basso livello" che portava a Cesarea, in cui era situata una serie di mulini orizzontali (tipo scandinavo), paralleli, uno di fianco all'altro.

these were Turkish, but two have been identified as Roman. Each was in a penstock (aruba), a round, vertical shaft; the horizontal wheel, with blades, slanted like a turbine, is mounted at the bottom, and the water admitted at the top so that it strikes the wheel with its momentum increased by the fall. The second site of a multiple mill to concern us is at Chemtou (ancient Simitthus), on the river Medjerda, in western Tunisia. Here it was three horizontal mills set side by side in the abutment of the Trajanic bridge/dam crossing the river (Fig.18, appendix); though they have not been properly published, they were again apparently housed in penstocks, and have consequently been described as 'turbine'.

But the outstanding example of a multiple mill – indeed, the only other one known – is Barbegal. Barbegal is 2 km south of Fontvieille, north-east of Arles. Probably of fourth-century date, the mill complex is served by its own 9 km aqueduct, running parallel to a second one that continues on to supply the city of Arles. The actual mills are laid out in two parallel rows (Figs 19,20, 21, appendix) on a hillside, with a service road running up between them. In each row there are eight millhouses, to a total of sixteen, each fitted with a single vertical wheel, probably overshot, though undershot has also been suggested. The water, arriving by cutting some 3 m deep through the crest of the ridge, divides into two streams, each then descending the slope along one row of millhouses and turning all eight wheels on the way. There has been a good deal of discussion about the power output of the wheels, how much grain they could grind, and where the population was to eat it all. The water discharged by the aqueduct has been calculated at around 7,000 m³ daily and is believed to have driven wheels of 2.1 m diameter and 0.7 m width, at 10 rpm. The chief points of controversy are whether the wheels were undershot or, as the excavator believed, and probably rightly, overshot; and whether at the top of the complex the aqueduct fall into a large triangular reservoir that in turn fed the two rows of wheels, or whether, as is

Alcuni di questi erano turchi ma due sono stati identificati come romani. Ognuno di essi si trovava in una chiusa, (aruba), un pozzetto circolare verticale; sul fondo era montata la ruota orizzontale, con le pale inclinate come una turbina, e l'acqua entrava dall'alto in modo da colpire la ruota con il momento aumentato dalla caduta. Il secondo sito con mulini multipli che ci riguarda si trova a Chemtou (l'antica Simitto), sul fiume Megerda, nella Tunisia occidentale. Qui si trovavano tre mulini orizzontali, posti uno di fianco all'altro, sulla spalla del ponte/diga traiano che attraversava il fiume (Fig. 18, appendice); anche se non sono stati adeguatamente documentati, apparentemente, anche questi erano sistemati all'interno di chiuse, e sono stati di conseguenza descritti come 'turbine'.

Tuttavia, l'esempio più imponente di mulino multiplo, in effetti l'unico altro esempio conosciuto, è Barbegal. Barbegal è 2 chilometri a sud di Fontveille, a nord-est di Arles. Risalente probabilmente al quarto secolo, questo complesso di mulini è servito dal proprio acquedotto lungo 9 chilometri, che corre parallelo ad un altro che continua a rifornire la città di Arles. I mulini veri e propri sono disposti in due file parallele (Fig. 19-20-21, appendice) lungo un pendio, con una strada di servizio che sale tra di essi. In ogni fila vi sono otto mulini, per un totale di sedici, ognuno dei quali provvisto di una singola ruota verticale, probabilmente azionata dall'alto, anche se è stata suggerito anche un azionamento dal basso. L'acqua, che arriva tramite una spaccatura profonda 3 metri nella cresta della montagna, si divide in due corsi, ognuno dei quali discende poi il pendio lungo una fila di mulini, facendo girare durante il percorso tutte e otto le ruote. Si è molto discusso riguardo la potenzialità produttiva delle ruote, quanto grano erano in grado di macinare e dove fosse la popolazione che avrebbe dovuto consumarlo tutto. Si è calcolato che l'acqua erogata dall'acquedotto si aggirasse intorno ai m³ 7000 giornalieri e si ritiene che essa abbia azionato ruote di m 2,1 di diametro e m 0,7 di larghezza ad una velocità di 10 rpm. I nodi più importanti della discussione tendono a stabilire se le ruote fossero azionate dal basso o dall'alto, come probabilmente e giustamente il responsabile degli scavi riteneva, azionate dall'alto; e se alla sommità di questo complesso, l'acquedotto entrasse in un ampio bacino triangolare che a turno alimentava le due file di ruote o se,

more likely, it simply split, in a Y-junction, to serve the wheels directly, with no intervening reservoir.

By a happy coincidence, an inscription is preserved in the Alyscamps cemetery at Arles on the gravestone of a certain Quintus Candidus Benignus, a famous local engineer who was 'clever like none other, and none surpassed him in the construction of machines and the building of water-conduits'. The excavator of Barbegal, F. Benoît, maintained that this was more than mere coincidence, that Benignus was actually the engineer who built Barbegal, and this was the fact that gave him the reputation for hydraulic skills celebrated in his epitaph. There is no evidence at all to support the identification, but it is so attractive an idea one would like to think it was true just the same. If it were so, Benignus would deserve to be celebrated for more than an outstanding feature of engineering. The true significance of Barbegal is much greater. It is the only example known from the ancient world of a power-driven mass-production factory and is hence of great importance to the ancient economy and our understanding of it. The whole economy of Greece and Rome was based on small-scale industrial production, the back-street workshop being the norm. This was due largely to difficulties of distribution and the possible inefficiency of the harnessing of draft animals, which increased transport costs to a level that outweighed any economies of scale of mass-production at a central location. But as for the feasibility of building and operating a big central factory, Barbegal shows that it could be done. It is a feature both of technology and psychology. In a world not noted for innovative thinking, this revolutionary new concept was here accepted and embraced. It was two-fold in scope, seeking productivity both from centralization of the work force and their efforts, and from economy in the use and provision of power – one aqueduct driving sixteen mills. Above all, if this was a technical triumph, it was a practical, not a theoretical one. One cannot but compare the ingenious but impractical devices created in the equally gifted brains of the scholars of the Museum of Alexandria.

come è più probabile, semplicemente si dividesse formando un raccordo ad Y, per rifornire direttamente le ruote, senza l'aiuto di un bacino.

Grazie ad una piacevole coincidenza, nel cimitero di Alysamps ad Arles, è rimasta intatta un'iscrizione sulla lapide di un certo Quintus Candidus Benignus, un famoso ingegnere locale che era «abile come nessun altro, nessuno lo superò in quanto a costruzione di macchine e condotti idrici». Il direttore degli scavi di Barbegal, Benoit, sosteneva che questo era qualcosa di più che pura coincidenza, che Benignus fosse in realtà l'ingegnere che costruì Barbegal e questo lo fece conoscere per le sue capacità idrauliche, celebrate nell'epitaffio. Non esiste nessuna prova che supporti questa identificazione, ma è un'idea così allettante che a chiunque piacerebbe pensare che fosse comunque vero. Se fosse così, Benignus meriterebbe di essere celebrato per aver compiuto molto di più di un'eccezionale prodezza ingegneristica. La vera importanza di Barbegal è molto più grande. Questo è l'unico esempio, che proviene dal mondo antico e che si conosce, di una fabbrica con produzione di massa, azionata meccanicamente ed è quindi di notevole importanza per l'economia antica e la nostra comprensione di essa. L'intera economia della Grecia e di Roma si basava su una produzione industriale su piccola scala con botteghe situate su stradine laterali. Ciò era dovuto in gran parte alle difficoltà di distribuzione e al possibile inefficiente sfruttamento degli animali da tiro, il che portava i costi di trasporto ad un livello tale da gravare su qualsiasi economia di scala basata sulla produzione di massa concentrata in un punto centrale. Per quanto riguarda però la possibilità di costruire e far funzionare una grande fabbrica centrale, Barbegal dimostra quanto ciò sia possibile. È un'impresa sia tecnologica che psicologica. In un mondo non conosciuto per le sue idee innovative, questo nuovo concetto e rivoluzionario fu accettato e adottato. Ebbe un duplice impatto, ricercando la produttività sia nella centralizzazione della forza lavoro e dei suoi sforzi, che nell'economia, con l'uso e il rifornimento della forza motrice: un acquedotto azionante sedici mulini. Soprattutto, rappresentava un trionfo tecnico, pratico e non teorico. Non si può fare a meno di confrontare le apparecchiature ingegnose ma poco pratiche nate dalle menti altrettanto dotate degli studiosi del Museo di Alessandria.

Half the time we are not even sure if these devices actually worked, let alone doing any good to anyone. There can be no doubt about Barbegal, on either score.

But this in turn brings up another question. As an example of a power-driven factory, Barbegal is unique (if one excepts the small installations at Chemtou and Crocodile river). It is located in a densely populated area of a modern, developed country. It was not buried, and did not need to be excavated, other than a minor clean-up. It is a large, imposing site that cannot easily be overlooked. Yet, with all these advantages, it was only with Benoit's investigation and publication in 1940 that anyone recognized what it was. The lesson is obvious. If prominent and unmistakable a site, in the heart of France, can go unrecognized for so long, how many more Barbegals are there still awaiting discovery in the more remote and less studied regions of the Roman empire? Barbegal may be not nearly as unique as it currently appears, and this may be a form of industrial water use much more prevalent than we at present think. Future study will tell, but in the meantime, we may note that, with all its implications for mass production, technological history and ancient economics, this may well be the largest and most important question raised by this book.

Recreation

For all practical purposes, recreational water use in the Roman world means baths. As sober a work as the *Princeton Encyclopedia of Classical sites* can speak of 'the Roman passion for bathing establishments', and it is no exaggeration. Roman baths can be divided into two categories. The first is those establishments which were patronized because of the medicinal qualities of the local water, baths served by hot springs or waters with some mineral content. The vital difference is that here we are dealing with a spa, where one came, as later ages put it, 'to take the waters', or even 'to take the cure', as opposed to the second category, an ordinary bath where one bathed in

Molto spesso non siamo nemmeno sicuri che questi sistemi funzionassero veramente, tantomeno che fossero utili a qualcuno. In entrambi i casi, su Barbegal non vi sono dubbi.

A sua volta però, questo solleva un altro problema. In quanto esempio di fabbrica azionata meccanicamente, Barbegal è unico (fatta eccezione per le piccole strutture a Chemtou e sul fiume dei Coccodrilli). Esso è situato in un'area densamente popolata, in un paese moderno e sviluppato; non era sepolto e non è stato necessario scavare, a parte un piccolo intervento di pulitura. È un sito grande, imponente, che difficilmente può passare inosservato. Malgrado ciò, con tutti questi punti a favore, è stato solo grazie alla ricerca e alla pubblicazione nel 1949 di Benoît che tutti riconobbero cosa esso fosse. La lezione è ovvia. Se un sito così evidente e inconfondibile, nel cuore della Francia, può rimanere un mistero per così tanto tempo, quanti altri Barbegal saranno ancora lì, che aspettando di essere scoperti, nelle regioni più remote e meno studiate dell'Impero romano? Barbegal potrebbe non essere affatto così unico come si crede oggi e potrebbe rappresentare una forma di sfruttamento idrico industriale molto più diffusa di quanto attualmente si pensi. Gli studi futuri che lo diranno ma nel frattempo possiamo notare che, con tutte le sue implicazioni sulla produzione di massa, la storia tecnologica e l'economia antica, possono tranquillamente considerarsi il quesito più grande e importante sollevato da questo libro.

Tempo libero

A tutti i fini pratici, nel mondo romano, l'uso dell'acqua a scopo ricreativo significava terme. Un'opera seria come la *Princeton Encyclopedia of Classical Sites*, può parlare della passione dei Romani per gli impianti termali, e non è una esagerazione. Le terme romane possono essere suddivise in due categorie. Alla prima appartengono quegli stabilimenti che venivano frequentati per le qualità medicinali dell'acqua locale, terme servite da sorgenti calde o acque con qualche proprietà minerale. La differenza sostanziale è che qui si parla di una stazione termale dove ci si recava, come si è affermato nelle epoche successive, "per fare le acque", o anche "per curarsi"; contrariamente alla seconda categoria, le terme classiche dove ci si bagnava

ordinary water, purely as a matter of comfort, pleasure and relaxation. The differentiation was never absolute, in that in a spa, baths of traditional Roman type were often built and the water was not necessarily drunk, but a differentiation there nevertheless was. For one thing, such a spa was built wherever the spring was, and there was therefore normally no aqueduct or other means of supply from a distance. With hot springs, indeed, it had to be. If the heat of the water, which constituted its major attraction, was to be enjoyed, it had to be consumed locally, for running through a long conduit it would have been lost. As in subsequent ages, therefore, the existence of such springs was often enough to cause a town to grow up, or even be founded, at that spot. When the first Roman town in Gaul was founded in 122 BC, at *Aquae Sextiae* (Aix-en-Provence), it owed its foundation and no doubt much of its location to political and military motives. But though these might account for locating it somewhere down in the plain below Entremont, the *oopidum* of the Gallic tribes that it replaced, the precise position chosen must have owed something to the existence of the hot springs, since the town was named after them – *Aquae*. Indeed, the very name tells us something of the Romans and their priorities. One could well imagine a fortified guardpost, opening up the border territory, being given some such name as Fort Julius, or even New Rome. But ‘Sextius’ Spa’? There is a lesson in the name itself, yet even a cursory search will show that this case was far from unique. In the *Princeton Encyclopedia* already mentioned, there are listed some seventeen towns or cities in the Roman empire all named *Aqua* this-or-that. Hammond’s *Atlas of the Greek and Roman World in Antiquity*, in its index, lists twenty-nine of them. These, of course, are only such cities as laid claim to repute as spas by actually including the word in their official name; the count does not cover the many others, no doubts much more numerous, where mineral springs of similar beneficence of similar beneficence were yet held to exist. Many of these cities, named by the Romans after their waters, subsequently enjoyed a prosperous history based on their spa. Many

in acque normali, semplicemente per una questione di comodità, piacere e relax. La differenza non è stata mai assoluta, in quanto in una stazione termale, spesso venivano costruite terme di tipo romano tradizionale e l'acqua non veniva necessariamente bevuta. Tuttavia, una differenza c'era. In primo luogo, questo tipo di terme veniva costruito là dove c'era la sorgente. Perciò, solitamente non vi era nessun acquedotto o altro mezzo di approvvigionamento a distanza. Parlando di sorgente calde invece, doveva essere così. Se si doveva godere del calore dell'acqua, che rappresentava la maggior attrattiva, l'acqua doveva essere consumata localmente poiché, scorrendo lungo un condotto, il calore si sarebbe disperso. Per questo motivo, come avvenne in epoche successive, la presenza di queste sorgenti fu spesso sufficiente a far crescere una città o persino a fondarla in quel luogo. Quando, nel 122 a.C. fu fondata la prima città romana in Gallia, ad *Aquae Sextiae* (Aix-en-Provence), la sua fondazione e sicuramente molti dei motivi della sua ubicazione, si devono a ragioni politiche e militari. Sebbene queste potrebbero spiegare la sua ubicazione da qualche parte nella pianura sotto Entremen, l'*oppidum* delle tribù galliche di cui prese il posto, l'esatta posizione che è stata scelta deve essere anche imputata all'esistenza di sorgenti calde, visto che la città ha preso il loro nome. Il termine *Aquae* ci parla dei Romani e delle loro priorità. Si può benissimo immaginare un posto di guardia fortificato, da cui partono i territori di confine, a cui si attribuiscono nomi quali Fort Julius o persino Nuova Roma. Ma perché "Terme 'di Sextius'"? Il nome stesso contiene una lezione; anche una ricerca sommaria mostrerà che questo caso era lungi dall'essere unico. Nella già citata *Princeton Encyclopedia*, vengono elencati circa diciassette centri o città nell'Impero romano, tutti con il nome "Aquae questa o Aquae quella". Nell'indice, l'*Atlas of the Greek and roman World in Antiquity* di Hammond cita ventinove di queste città. Queste, ovviamente, sono solo delle città che, includendo praticamente la parola stessa nel loro nome ufficiale, rivendicavano il diritto di essere riconosciute come terme; questo conteggio non include le molte altre, sicuramente molto più numerose, dove si riteneva esistessero ancora sorgenti minerali dalle simili proprietà benefiche. Molte di queste città, chiamate dai Romani con il nome delle loro acque, in seguito godettero di una ricca storia fondata sulle loro terme. Molte sono ancora

are still well-known and operational. They include Aix-les-Bains, Dax and Aix-en-Provence, in France (Aix = Aquae) ; and, in England, Buxton and Bath. Grenier lists some sixteen such *villes d'eau* in Roman Gaul alone.

The actual installations at such an establishment usually consist of pools and basins built either on top of the spring or communication directly with it, in which the bathers could profit from the waters by varying degrees of immersion. The local waters, usually hot and often with a pronounced mineral or (as at Aachen) sulphur content, though they were of prime importance to the spa, might prove insufficient in volume, and have to be supplemented by ordinary water (for ordinary bathing; one presumes that the precious mineral waters were not adulterated by mixing) brought in by aqueduct; this happened at Aquae Segetae (Sceaux du Gatinais, Loire, France), Aquae Statiellae (Liguria), and, above all, at Aquae Sextiae, where the city was eventually served by four conventional aqueducts as well as the local hot springs.

Bath requires special notice, for two reasons. It is probably the best preserved installation anywhere, and certainly the most familiar; this means that many visitors and readers, not fully recognizing that it is of the spa type and hence illustrative only of that, take it as representing Roman baths in general. This is incorrect, and even of baths of the medicinal type it is not wholly representative, being in fact mainly a military spa used by the troops, like Aqua Mattiacae (Wiesbaden). At Bath (Fig. 22. Appendix) there were two separate sets of facilities: a *frigidarium*, *tepidarium* and *calidarium* of the conventional sort, grouped closely together in a tightly knit complex at the west end of the site, and a much larger and imposing set of structures devoted to immersion in the healing waters. The hot spring poured forth daily some 1,150 m³ of water at 48°C and, to assist control, was surrounded by a wall forming a roughly oval-shaped reservoir. Thence, by lead-lined ducting of rectangular cross-section, the water was led off to fill the Great Bath, whence in turn it left by an outflow, controlled by a

ben note ed operative. Tra queste si annoverano Aix-le-Bains, Dax e Aix-en Provence, in Francia (Aix = Aque); Aachen, o Aix-la Chapelle, e Wiesbaden, in Germania; Baden, in Svizzera; Buxton e Bath, in Inghilterra. Grenier parla di diciassette di queste *ville d'eau* nella sola Gallia romana.

La struttura reale di questo genere di edifici, di solito, è composta da piscine e bacini costruiti sopra la sorgente o in modo da comunicare direttamente con essa, nella quale i bagnanti potevano trarre giovamento da queste acque cambiando il livello di immersione. Le acque locali, di solito calde e spesso con un pronunciato contenuto minerale o (come ad Aachen) sulfureo, sebbene di primaria importanza per la stazione termale, potevano essere quantitativamente insufficienti e dover essere quindi integrate con dell'acqua ordinaria (per bagni comuni; si ritiene che le preziose acque minerali non venissero alterate dal miscelamento) apportate tramite acquedotti; ciò avveniva ad *Aquae Segetae* (Sceaux du Gatinais, Loira, Francia), *Aquae Statiellae* (Liguria), e, soprattutto ad *Aquae Sextiae*, in cui la città alla fine veniva servita da quattro acquedotti tradizionali nonché dalle sorgenti calde locali.

Bath richiede un'attenzione particolare, per due ragioni. Probabilmente rappresenta la struttura meglio conservata, e certamente la più familiare; ciò significa che molti visitatori e lettori non identificandola come una stazione termale e quindi esempio solo di quel tipo di impianto, la considerano un prototipo di terme romane. Ciò non è corretto, poiché non rappresenta pienamente neanche la tipologia delle terme con proprietà curative, trattandosi in realtà, principalmente di sorgenti termali militari usate dalle truppe, come *Aquae Mattiacae* (Wiesbaden). A Bath (Fig. 22. Appendice) esistevano due serie separate di servizi: un *frigidarium*, *tepidarium* e *caldarium* di tipo tradizionale, raggruppati uno vicino all'altro a formare una rete saldamente unita nella parte occidentale del sito, e una serie di strutture più grandi e imponenti destinate all'immersione nelle acque curative. La sorgente calda faceva affluire giornalmente circa m^3 1150 d'acqua a circa 48°C e, per favorirne il controllo, era circondata da un muro che formava pressappoco un serbatoio ovale. Da qui, tramite un condotto rivestito in piombo e con sezione rettangolare, l'acqua veniva trasportata per riempire le Terme Maggiori, da dove usciva attraverso uno sbocco, controllato da

bronze sluiceway, to escape into the drains and so into the river Avon. The Great Bath (Fig. 22, appendix) was something like a swimming pool, or *natation*, about 24 x 12 m and 1.65 m deep, and was lined with an enormous quantity of lead sheeting which, at 2.5 cm thick, came to a total weight of no less than 86,000 kg. Originally the bath was either roofed in wood or simply left uncovered but was later covered in by a magnificent concred barrel vault of 12m clear span, the ends of which seems to have been left open to let out the steam. In addition, there were two smaller, subsidiary pools supplied through lead pipes with hot water from the spring, which was also fitted with an overflow to accommodate the excess whenever the natural discharge, which fluctuated considerably, rose too high. The medicinal and conventional bathing facilities could of course be utilized in any combination of ways by visitors to suit their individual needs, pleasures, or infirmities. The bathing complex, about 100 x 50 m in its latest phase, is of monumental magnificence, and one often sees the Great Bath, with its steaming swimming pool, illustrated in tourist literature under such title as 'The Roman Bath', giving the impression that is what conventional Roman *thermae* were like. They were not, and it is to them that we must now turn.

The conventional Roman baths, as exemplified by the Baths of Trajan, Caracalla (Figs, 24,25, appendix) and Diocletian in Rome and the great provincial complexes such as the Imperial Baths of Constantine at Trier (Fig. 26, appendix), Leptis Magna, Djemila, Timgad and elsewhere, were centred upon a series of large halls heated by the underfloor hypocaust system. Plunge baths and swimming pools (*natationes*) were indeed provided but were always subsidiary to the main purpose. The chief difference between a spa bath and a conventional bath was thus that in the second the main rooms were, so to speak, dry, with an ordinary floor upon which the visitors walked, instead of a pool for immersion. That said, we must hastily move on to the paradox that, nevertheless, the conventional bath consumed enormous amounts of water. This was because although the plunge baths,

una chiusa di bronzo, per poi defluire negli scarichi e quindi nel fiume Avon. Le Terme Maggiori (Fig. 23, appendice) erano simili ad una piscina, o *natatio*, di m. 24x12 circa e 1,65 metri di profondità, ed era rivestita da un'enorme quantità di lastre di piombo che, con uno spessore di 2,5 cm, arrivavano ad un peso complessivo non inferiore a kg. 86.000. In origine l'ambiente era coperto con un tetto ligneo o semplicemente lasciato scoperto, in seguito però venne coperto da una magnifica volta a botte in calcestruzzo di 12 metri netti di ampiezza, le cui estremità sembrano esser state lasciate aperte per permettere la fuoriuscita del vapore. Inoltre, vi erano due piscine sussidiarie più piccole alimentate con acqua calda proveniente dalla sorgente, tramite tubature di piombo, dotate anch'esse di un troppopieno per smaltire l'eccesso di acqua nel momento in cui il naturale deflusso, che variava considerevolmente, aumentava troppo. L'impianto termale tradizionale e quello a scopo curativo potevano ovviamente essere utilizzati dai visitatori con qualsiasi modalità, al fine di rispondere ai loro bisogni, desideri e malanni. Il complesso dei bagni termali, che nella sua ultima fase misuravano circa m. 100x50, è di monumentale magnificenza, e spesso si vedono le Terme maggiori, con la loro piscina fumante, illustrate negli opuscoli turistici sotto la categoria "Il bagno romano", dando così l'impressione che le tradizionali *thermae* romane fossero così. Invece non era vero, ed è proprio ciò di cui ci occuperemo ora.

Le terme tradizionali romane, come esemplificato dalle Terme di Traiano, Caracalla (Figg. 24,25, appendice) e Diocleziano e i grandi complessi nelle province come le Terme Imperiali di Costantino a Trier (Fig. 26, appendice), Leptis Magna, Dejemila, Timgad e altrove, erano concentrati intorno ad una serie di grandi stanze riscaldate da un sistema sotterraneo con ipocausto. In effetti, c'erano vasche per l'immersione e piscine (*natationes*) e stanze da bagno per l'immersione ma avevano un ruolo secondario rispetto allo scopo principale. La differenza fondamentale tra le sorgenti termali e le terme tradizionali, quindi, è che nel secondo caso le stanze principali erano, per così dire, asciutte, con un normale pavimento sul quale i visitatori camminavano anziché una piscina per l'immersione. Detto ciò, dobbiamo rapidamente passare ad analizzare il paradosso per il quale, nonostante tutto, le terme tradizionali consumavano enormi quantitativi d'acqua. Ciò perché sebbene le vasche per le

fountains, and the like, were of secondary importance, the water flow through them was continuous and consumption correspondingly high. In any case, we must not overstate: given the nature of the baths, there was no way they could operate totally without water, any more than can their modern descendants, the Turkish baths. However, in the absence of an aqueduct many smaller baths could and did make do with some water-lifting apparatus, such as a compartment wheel or bucket chains, to keep filled a tank on the roof, from which the head would provide water under sufficient pressure for fountains, showers, hot-water heating tanks, and other needs. Baths supplied by lifting devices in this way have been found at Pompeii, Herculaneum, Ostia, Cyrene and Abu Mena (Egypt). Sometimes, as at Pompeii, the issue seems to have been the simple availability of the water. The water table was 25 m below ground level, and until the aqueduct was built in the Augustan age, there was no other way of getting at the water than by bucket chain. When the aqueduct arrived with a copious supply at ground level, the lifting installations may have gone out of service. Perhaps not, however. At Ostia, where the water table was very close to the surface, water was in effect available at ground level whether supplied by the aqueduct or not, yet in the baths lifting wheels were provided to raise it to the roof tank. Here not availability but level was the issue. The water had to be delivered in the baths under some head if it was to be of any use and this meant a roof tank unless the aqueduct itself was at a reasonable height. Estimates for the discharge from such a lifting device, wheel, or bucket chain, range from around 120 m³ to 1,200 m³ per day, the difference depending on the size of the wheel, and on one-man or two-man operation. These figures are only very approximate, but they do make it plain that a lifting wheel delivered much less than even the smallest of

immersioni, le fontane e strutture simili fossero di secondaria importanza, il flusso dell'acqua che passava attraverso di esse erano continuo e il consumo proporzionalmente elevato. Ad ogni modo, non dobbiamo esagerare: data la natura delle terme, non potevano in nessun modo funzionare totalmente senza acqua, non più di quanto possono fare i loro discendenti moderni, i bagni turchi. Tuttavia, in assenza di un acquedotto, molte terme di dimensioni minori potevano ricorrere, e di fatto ricorrevano, ad una sorta di impianto di sollevamento dell'acqua, come ad esempio una ruota a cassette o una catena di secchi al fine di mantenere colmo un serbatoio situato sul tetto. Da questo tetto, il bacino avrebbe fornito l'acqua ad una pressione sufficiente per fontane, docce, cisterne, per i serbatoi per il riscaldamento dell'acqua calda e altre necessità. Terme alimentate da questo tipo di impianti di sollevamento sono state rinvenute a Pompei, Ercolano, Ostia, Cirene e Abu Mena (Egitto). A volte, come a Pompei, il problema sembra essere stato semplicemente la reperibilità dell'acqua. La falda freatica era a 25 metri di profondità e, fino alla costruzione dell'acquedotto in età augustea, non vi era altro modo per raggiungere l'acqua se non attraverso una catena di secchi. Quando l'acquedotto arrivò con un rifornimento abbondante a livello del suolo, è possibile che gli impianti di sollevamento siano stati dismessi. Forse no, tuttavia. Ad Ostia, dove la falda freatica era molto vicina alla superficie, l'acqua era disponibile in superficie, sia che fosse fornita da un acquedotto o meno. Tuttavia, le terme erano dotate di ruote di sollevamento per portare l'acqua fino al serbatoio situato sul tetto. In questo caso, il problema non era la disponibilità ma il livello. L'acqua doveva essere erogata nelle terme a partire da un serbatoio per essere di una qualche utilità e ciò implicava un serbatoio sul tetto, a meno che lo stesso acquedotto non si trovasse ad un'altezza ragionevole. Le stime riguardanti la quantità erogata da questo tipo di sistema di sollevamento, ruota o catena di secchi, va dai circa 120 m³ ai 1.200 m³ giornalieri. La differenza dipende dalle dimensioni della ruota e se il funzionamento veniva gestito da uno o due uomini. Questi dati sono solo molto approssimativi. Tuttavia, chiariscono che la quantità erogata da una ruota di sollevamento fosse di molto inferiore a quella di un acquedotto, anche il più

aqueducts, and, since they are based on twenty-four hour operation, at infinitely greater cost. The volume was enough to serve an establishment of, at best, only moderate size, and the absence of an aqueduct was thus a limiting factor in the size of baths.

For really large baths, an aqueduct was a necessity. Indeed, an entire aqueduct might be built specifically to serve a new bath, though the builder usually took advantage of the situation to fulfil other needs as well. All the great baths of Rome were supplied from an aqueduct as a matter of course, and the emperor responsible for building them, if he did not build a new aqueduct and simply drew his supplies from an existing conduit, at least usually supplemented the volume of water in it by tapping new sources. Thus the Aqua Virgo was built, in 19 BC, by Agrippa to supply his baths. Diocletian, when he built the baths bearing his name, renovated and expanded the Aqua Marcia, from which they drew their water. Caracalla did the same thing and for the same reason, adding a new spring, the Fons Antonianus, to the Marcia. The supply was usually achieved by running a branch of the aqueduct from some convenient point on its main line to a reservoir alongside the baths. This is not typical of normal metropolitan Roman practice, which usually ran the aqueduct into a *castellum*, a mere distribution tank, and recalls rather North Africa, where large city reservoirs were common. But it did apparently happen with baths. The Baths of Diocletian were served by the Botte di Termini, a reservoir which, with dimensions of 91 x 16 m. went far beyond anything we could reasonably call a *castellum*, and the Baths of Caracalla near the via Appia had a reservoir, 'a huge erection with thirty-two chambers in two stories', which is enough to remind one of the reservoirs of Carthage.

What happened to the water inside the baths is much more obscure. The main principle is clear enough. It was fed into a large swimming pool (the *natation*), smaller plunge pools that were provided in profusion, and

piccolo, e a costi infinitamente maggiori, dal momento che i dati si basano su un funzionamento continuo, 24 ore al giorno. Il volume prodotto era sufficiente a servire, al massimo, uno stabilimento di medie dimensioni e l'assenza di un acquedotto costituiva quindi un fattore limitante per la dimensione delle terme.

Per le terme molto grandi, un acquedotto era una necessità. In effetti, era possibile che venisse costruito un intero acquedotto appositamente per servire nuove terme, anche se i costruttori di solito approfittavano della situazione per far fronte anche ad altre esigenze. Che tutte le grandi terme di Roma venissero alimentate da un acquedotto era un fatto naturale e l'imperatore responsabile della loro costruzione, se non costruiva un nuovo acquedotto e semplicemente ricavava la quantità d'acqua da erogare da condotti già esistenti, di solito integrava la sua portata attingendo da nuove sorgenti. Per questo motivo Agrippa, per alimentare le sue terme, costruì nel 19 a.C. l'Aqua Virgo. Diocleziano, quando costruì le terme che portano il suo nome, rinnovò l'Aqua Marcia, da cui prendevano l'acqua. Caracalla fece la stessa cosa e per la stessa ragione, aggiungendo alla Marcia una nuova sorgente, l'Aqua Antoniana. Solitamente il rifornimento idrico si ricavava facendo partire una diramazione da un punto conveniente lungo il percorso dell'acquedotto principale, fino ad una cisterna posta accanto alle terme. Questo non è tipico della normale tecnica romana metropolitana, secondo la quale l'acquedotto giunge ad un *castellum*, ovvero un semplice serbatoio di distribuzione, ma richiama piuttosto il Nord Africa dove era diffuso l'uso di grandi serbatoi per le città. Tuttavia, apparentemente ciò avvenne per le terme. Le terme di Diocleziano venivano alimentate dalla Botte di Termini, un serbatoio che, con le sue dimensioni di 91x16 metri, andava ben al di là di qualsiasi cosa che, ragionevolmente noi possiamo definire un *castellum*. Le Terme di Caracalla vicino la Via Appia, invece, erano dotate di un serbatoio, 'un'enorme costruzione con trentadue camere su due piani', sufficiente per richiamare alla mente il serbatoio di Cartagine.

Quello che avveniva all'acqua all'interno delle terme è ancora più misterioso. Il principio essenziale è sufficientemente chiaro. Essa andava ad alimentare una grande piscina (*natatio*), vasche più piccole per i bagni ad immersione, presenti in grandi

served an unspecified but doubtless large number of showers, fountains and exedrae, before finding its way into the drains and back outside the building. All of these pools no doubt operated on a continuous flow basis, like the street fountains, and so accounted for the large amount of water used. At Rome, Forbes calculates that up to 17% of the total water supply went to the baths. In many cities, where there was an enormous bath-complex to sustain and perhaps only a single aqueduct to draw on for all purposes, the proportion must have been much higher. Studies of the great Roman baths have generally concentrated upon their architecture rather than their technology, and in few can we form a clear picture of the hydraulic layout and trace the actual course followed by the water through the building (Bath being an exception). This is partly because in some locations detailed investigation has for various reasons been impossible, and where the layout is recoverable it usually proves to be highly complex. Distribution was, as one would expect, normally by lead pipes and sometimes open ducting, but the picture was complicated by the addition of boilers to provide hot water. There was usually a whole battery of these arranged side by side in a basement corridor under the central area of the baths, the location usually being shared by the *praefurnium*, the furnace for the hypocausts. What with the rows of furnaces, boilers, fuel bunkers, whole ranges of taps within ready reach for mixing the hot and cold water in various ways, and the general atmosphere of a smoky inferno, the boiler-room (Fig. 27, appendix) must have presented an impressive sight when in full operation, something like the stokehold of a large transatlantic liner around the 1920s; no doubt its impressiveness was less obvious to those unfortunate enough to have to work there.

The best-known example of such a boiler is that from the private baths at Boscoreale, now in the Naples Museum (Fig. 28, appendix). It consisted of a vertical boiler mounted over a furnace and supplied from a separate cold-water tank, drawn

quantità, e serviva un indefinito, ma senza dubbio elevato, numero di docce, fontane ed esedre, prima di trovare la sua strada negli scarichi e poi di nuovo fuori, all'esterno dell'edificio. Tutte queste piscine funzionavano sicuramente in base ad un sistema di flusso continuo, come le fontane nelle strade, e ciò spiegava il grande quantitativo d'acqua utilizzato. A Roma, Forbes calcola che il 17% del rifornimento idrico totale andava alle terme. In molte città, dove esisteva un enorme complesso termale da alimentare e forse solamente un unico acquedotto da cui attingere per ogni necessità, la proporzione deve essere stata più elevata. Gli studi riguardanti le grandi terme romane solitamente hanno focalizzato l'attenzione sulla loro architettura piuttosto che sulla tecnologia e da poco siamo in grado di ottenere un quadro chiaro dell'impianto idraulico e tracciare il reale corso seguito dall'acqua all'interno dell'edificio (Bath rappresenta un'eccezione). Tutto ciò è dovuto in parte al fatto che in alcuni siti, per varie ragioni, è stato impossibile effettuare ricerche approfondite, e laddove è possibile individuare l'impianto, questo si conferma essere molto complesso. La distribuzione di solito avveniva, come prevedibile, tramite tubazioni di piombo e a volte canalizzazioni all'aperto, ma il quadro diventa più complesso con l'aggiunta delle caldaie per la fornitura di acqua calda. Di solito, esisteva un'intera batteria di queste caldaie, sistemate una accanto all'altra in un corridoio sotterraneo nella parte centrale delle terme. L'ubicazione veniva di solito condivisa con il *praefurnium*, il forno per gli ipocausti. Con questi filari di fornaci, caldaie, cassoni per il carburante, serie complete di rubinetti a portata di mano, pronti a miscelare in varie maniere l'acqua calda e quella fredda e la generale atmosfera da inferno fumoso, il locale riservato alle caldaie (Fig. 27, appendice), quando in piena attività, deve aver dato una visione impressionante, qualcosa di simile al locale delle caldaie di un grande transatlantico intorno agli anni '20; senza alcun dubbio, coloro che furono sufficientemente sfortunati da avervi lavorato, ne rimanevano impressionati per altri motivi.

L'esempio più noto di caldaia di questo tipo è quella proveniente dalle terme private di Boscoreale, oggi nel Museo di Napoli (Fig. 28, appendice). Era composta da una caldaia verticale, montata su di una fornace e alimentata da un serbatoio d'acqua fredda separato. Una complessa serie di rubinetti miscelava l'acqua calda in uscita

directly from the tank to provide warm water of the temperature desired. We may note that although a sort of three-way 'mixer' tap was known, at Boscoreale each junction in the piping was controlled not by such a device, but by two ordinary taps, one controlling the admission of hot water, the other of cold, into the common pipe. The "mixer" did not in fact mix hot and cold water but could only deliver either hot or cold. This may be the reason for the, at sight, more complex and clumsier Boscoreale arrangement; by opening both hot and cold taps, water could in fact be mixed. We may also note a variant form of boiler, in which the container was mounted horizontally through a wall; one of the two protruding ends was heated by a fire built under it, the other projected into the water of a plunge pool and in turn heated them by contact.

The water from the boilers, of whatever sort, entered the baths at a temperature of around 40°C (or a little cooler than the natural spring water of Bath). This was about the same as the air temperature in the hypocaust-heated *caldarium* or hot room, the combination designed to produce a very humid atmosphere conducive to perspiration. Thence the bather proceeded to the *tepidarium* (warm room), 25°C, and so to a cold plunge in the *frigidarium* (cold room). The water in turn passed into the drains en route to the outside. All of this basement area, through which the drains ran, was honeycombed with various service facilities that often made it a labyrinth defying detailed analysis. However, one principle was clearly understood. Given the vast amount of waste constantly pouring forth, it was plainly desirable to extract from it any further work possible before letting it go. In the Baths of Caracalla a water-mill was installed in the basement, but this seems to have been a unique experiment that went unimitated. By far the commonest use was for public toilets, provided for those who did not have one at home.

con quella fredda presa direttamente dal serbatoio, al fine di fornire acqua calda alla temperatura desiderata. Si può notare che sebbene una sorta di miscelatore a tre posizioni fosse già conosciuta, a Boscoreale ogni giunto delle condutture veniva controllato non da questo tipo di meccanismo ma da due rubinetti comuni, uno che controllava l'immissione di acqua calda, l'altro di quella fredda. Il "miscelatore" era in grado solamente di fornire o acqua calda o fredda, senza alcuna miscelazione. Questo potrebbe spiegare l'esistenza a Boscoreale di un dispositivo in apparenza più complesso e macchinoso: aprendo contemporaneamente i rubinetti dell'acqua calda e dell'acqua fredda era possibile ottenere la miscelazione. Possiamo anche osservare l'esistenza di una forma alternativa di caldaia, nella quale il contenitore veniva montato orizzontalmente attraverso un muro; una delle due parti sporgenti veniva riscaldata da un fuoco acceso sotto di essa; l'altra parte si proiettava nelle acque di una piscina e a sua volta la riscaldava tramite il contatto.

L'acqua delle caldaie, di qualsiasi tipo esse fossero, entrava nelle terme ad una temperatura di circa 40°C (o leggermente più fredda rispetto all'acqua di Bath, proveniente da sorgenti naturali). Questa era pressappoco anche la temperatura dell'aria all'interno del *calidarium*, o stanza calda, riscaldato dagli ipocausti. Questa combinazione mirava alla produzione di aria umida che portasse alla sudorazione. Da qui il bagnante proseguiva nel *tepidarium* (stanza per bagni d'acqua tiepida), a 25°C, e di lì in una piscina fredda, nel *frigidarium* (stanza per bagni d'acqua fredda). L'acqua a sua volta passava negli scarichi, diretta verso l'esterno. Tutta questa area sotterranea, attraverso la quale passavano le condutture, era intervallata da varie strutture di servizio che spesso la rendevano un labirinto che sfida ogni analisi dettagliata. Ad ogni modo un punto era compreso chiaramente: dato l'enorme quantitativo di acque di scarico che veniva riservato costantemente, era ovvio che si desiderasse utilizzarlo per altri lavori prima di lasciarlo defluire. Nel sottosuolo delle Terme di Caracalla fu installato un mulino ad acqua, che però sembra esser stato un esperimento isolato che non fu imitato. Di sicuro l'uso più comune era quello dei bagni pubblici, offerto a chi non ne aveva uno in casa.

The Roman public toilet has for long aroused an interest in equal proportion shame-faced and puzzled, because of its lack of the privacy that modern man deems a civilized essential. The public toilet was a place of communal resort, rather like the barber shops of a later age, and usually consisted of a large open room, often ornately furnished with architectural embellishments, and surrounded on three sides by a row of seats up to ten, twenty or even forty in number, allowing the occupants to consort in happy camaraderie (Figg. 29, 30, appendix). The seats were usually of wood but often of marble (a highly decorated individual 'throne', in red marble, with armrests and curved back -and, of course, a hole in the seat – is preserved in the Luvre (Fig. 31, appendix) and were mounted directly above a constantly running stream that immediately carried off all sewage and obviated the need for flushing. This highly hygienic procedure was reinforced by arranging for a small gutter or runnel, again carrying a continuous stream of water, to run along the floor just in front of the seats, in which patrons could bend forward and dip their hands; no doubt it also conveniently carried away any spillage, and generally help in keeping the place clean. Because of the need for a constant (but not necessarily clean) water supply, it was logical to locate such a toilet in some corner of the baths, which was in any case a natural place for it. Usually, it was placed just inside one of the doors opening on the street, so as to be equally accessible to patrons of the baths proper, and ordinary passers-by. We must also note that such establishments, though they found a natural place in the baths, also exist independently of them. One often finds public toilets in strategic positions, such as alongside the forum; permanent military camps, such as Housesteads on Hadrian's Wall, had them too.

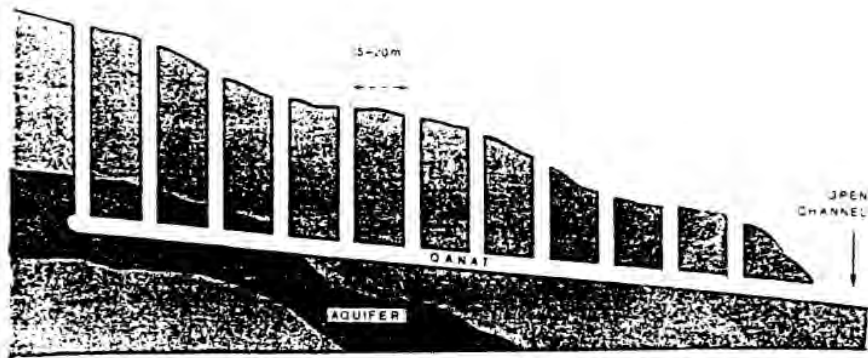
Il bagno pubblico romano ha per molto tempo destato, in ugual proporzione, un interesse misto tra vergogna e sconcerto, a causa della sua mancanza di privacy che l'uomo moderno considera un requisito essenziale di civiltà. Il bagno pubblico era un ritrovo pubblico, come in epoca più tarda lo furono i negozi dei barbieri, e di solito era costituito da una grande stanza aperta, spesso ornata sontuosamente con decorazioni architettoniche e circondato su tre lati da una serie di sedili, fino ad un massimo di dieci, venti o anche quaranta, permettendo così agli occupanti di intrattenersi, in un felice cameratismo (Figg. 29, 30, appendice). I sedili erano generalmente in legno ma spesso di marmo, un 'trono' singolo in marmo rosso riccamente decorato, con braccioli e schienale ricurvo – e ovviamente un foro nel sedile – e conservato al Louvre (Fig. 31, appendice) ed erano montati direttamente al di sopra di un flusso d'acqua costante che eliminava immediatamente tutte le scorie, il che ovviava alla necessità di scaricare l'acqua. Questa prassi, di elevato livello d'igiene, venne migliorata sistemando un piccolo condotto o canaletto, che ospitava anche lui un flusso d'acqua continuo, che attraversava il pavimento proprio davanti ai sedili e nel quale i frequentatori potevano, piegandosi in avanti, immergere le mani; era senza dubbio utile anche per portare via quanto accidentalmente fuoriusciva dai sedili, e di solito contribuiva a tenere il posto pulito. Data la necessità di un rifornimento idrico costante (ma non necessariamente pulito), era logico posizionare questo bagno in qualche angolo delle terme, in un luogo che era comunque adatto. Generalmente si trovava proprio all'interno di una delle porte che davano sulla strada, così da essere accessibili in egual misura sia agli stessi frequentatori delle terme che ai passanti. Da notare anche che questi locali, sebbene trovassero nelle terme la loro ubicazione ideale, esistevano anche indipendentemente da quest'ultime. Spesso si trovano dei bagni pubblici in posizioni strategiche, come lungo il foro; anche alcuni accampamenti militari, come Housesteads nel Vallo di Adriano li avevano.

appendice

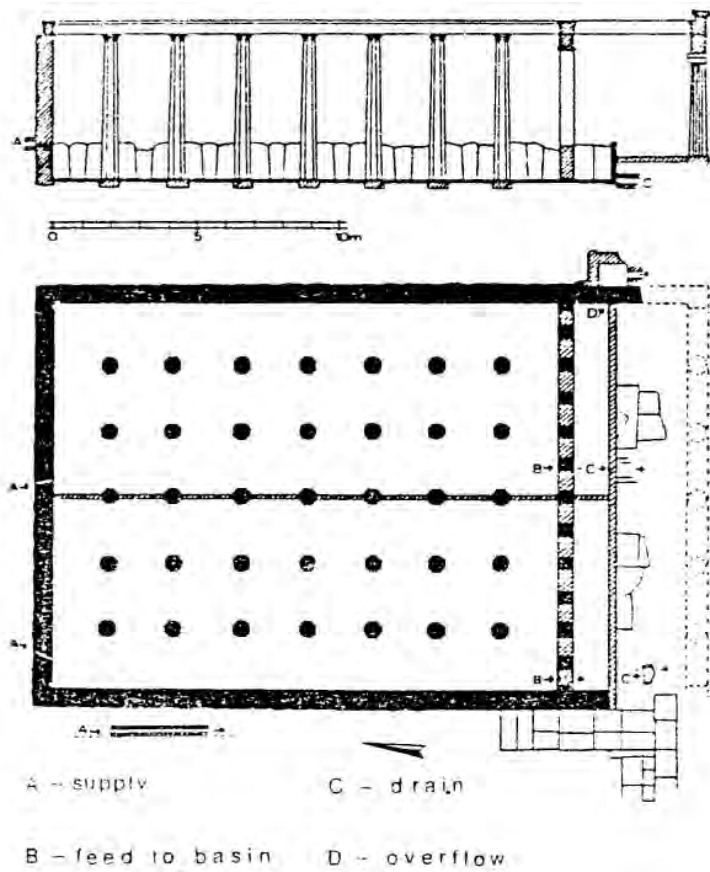
APPENDIX

appendice

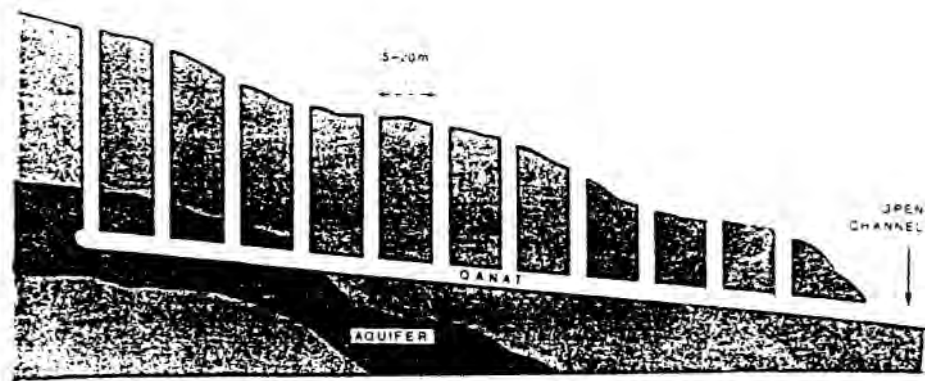
APPENDICE



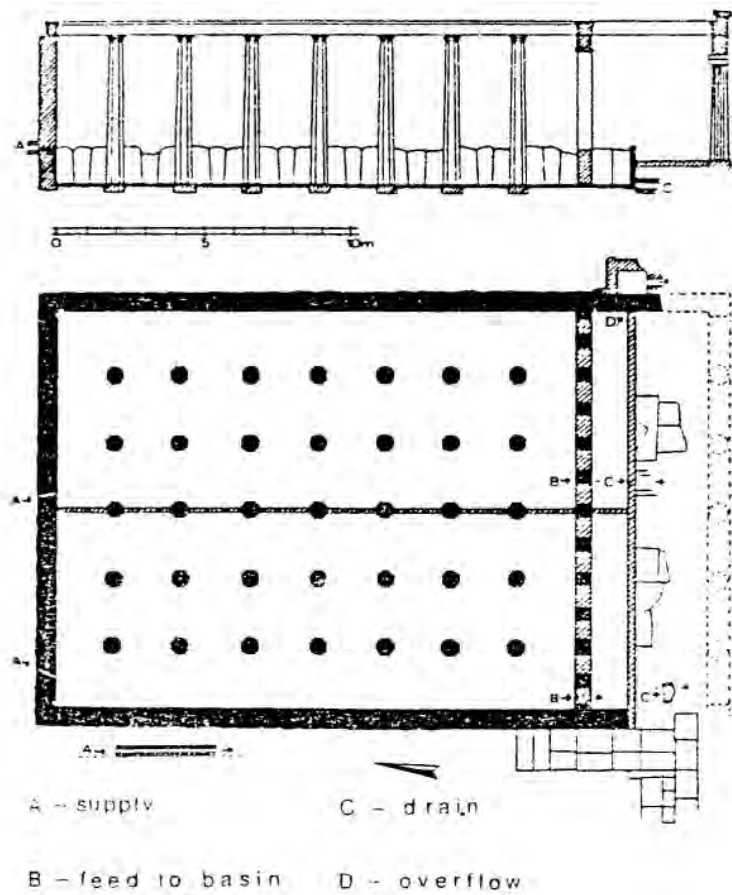
1. **A typical Kanat in section.** In reality, they are usually much longer in proportion, and the vertical shafts more numerous.



2. **Megara: fountain house of Theagenes (sixth century BC):** (a) section; (b) plan (Gruben. 1964)



1. **Sezione di un Qanat tipico.** In realtà di solito sono molto più lunghi in proporzione, e i pozzetti verticali più numerosi



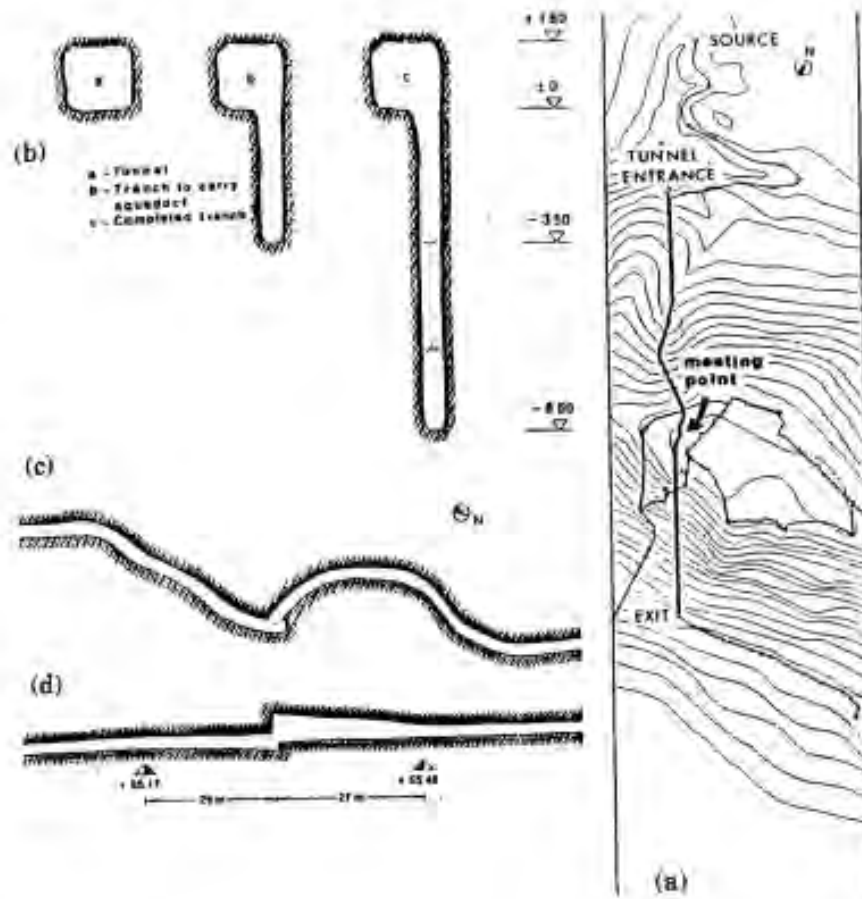
2. **Megara: fontana di Theagene.** (sesto secolo a. C.): (a) sezione; (b) pianta (Gruben, 1964).



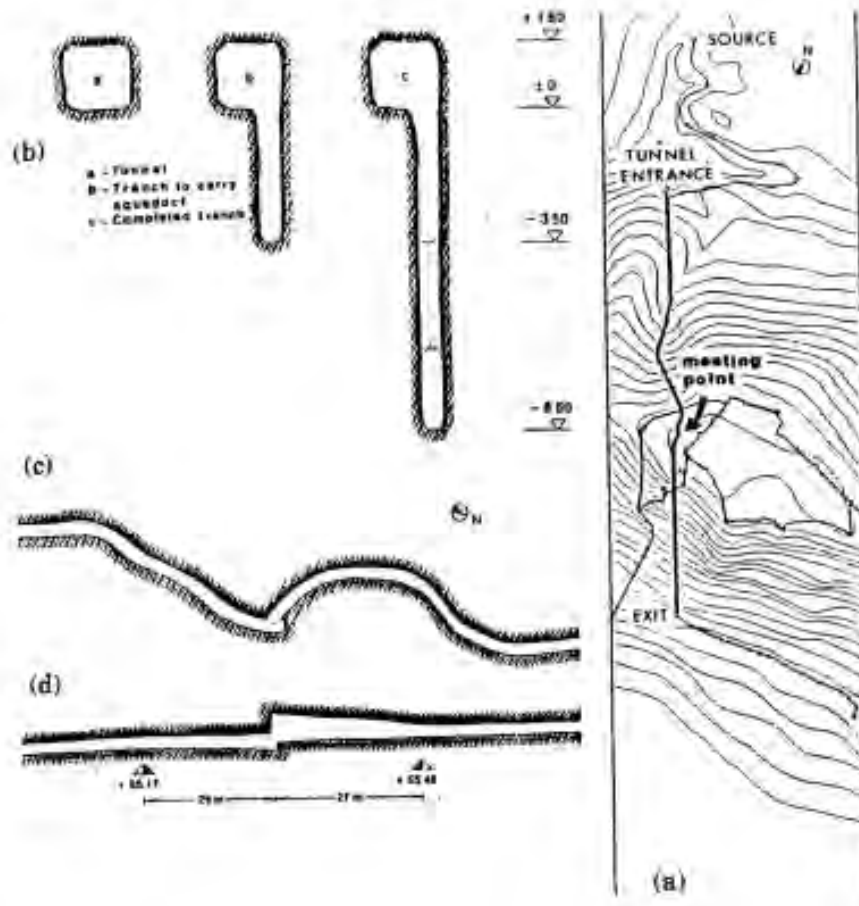
3. Samos: tunnel of Eupalinos *The water was carried in a pipeline at the bottom of the trench alongside the left side of the floor of the main tunnel (photo: Deutsche Archäologisches Institut. Athens)*



3. Samos: tunnel di Eupalino. L'acqua veniva trasportata in una condotta posta sul fondo della trincea, lungo la parte sinistra del fondo del tunnel principale (foto *Deutsche Archäologisches Institut. Atene*)



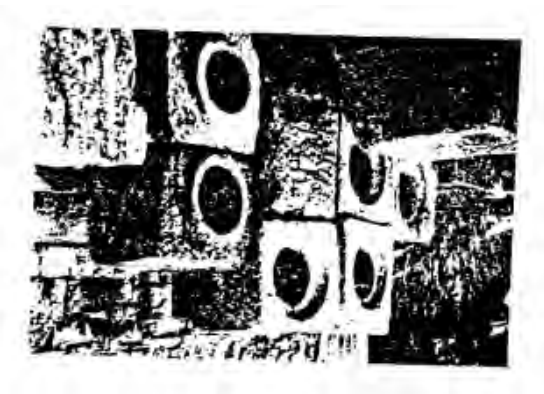
4. Samos: Tunnel of Eupalinos. (sixth century BC) (a) plan; (b) cross-section of tunnel, showing, left to right, preliminary bore, digging of trench to carry aqueduct, and deep trench at downstream end: the water run in a terracotta pipeline laid along the bottom of the trench; (c) meeting point of the two halves of the tunnel in plan, and (d) vertical section (kienast)



4. **Samos: tunnel di Eupalino** (sesto secolo a.C.): (a) pianta; (b) sezione trasversale del tunnel, che illustra, da sinistra a destra, foro preliminare, scavo della trincea per ospitare l'acquedotto e profondità della trincea all'estremità dell'uscita a valle: l'acqua scorreva in una condotta di terracotta posizionata lungo il fondo della trincea; (c) punto d'incontro delle due metà del tunnel in pianta e (d) sezione verticale. (kienast)



5. Ephesos block from stone pressure pipe, showing recessed male-female joint. Also to be noted are the two small holes, one on top and one in the side of the block; their purpose is uncertain



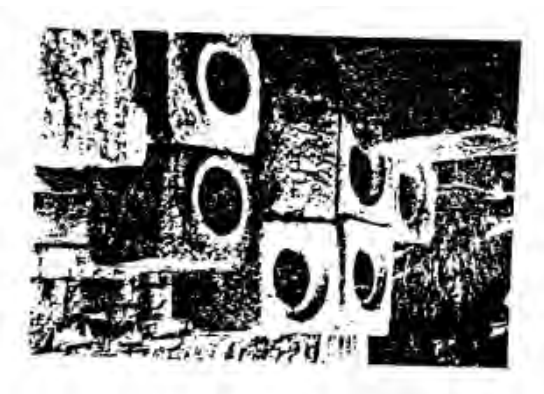
6. Ephesos: blocks from a stone pressure pipe, piled in the agora; some (e.g. top centre) carry in the side a vent(?) hole.



7. Patara: siphon, formed by stone pipe block (photo: K. Grewe, Bonn)



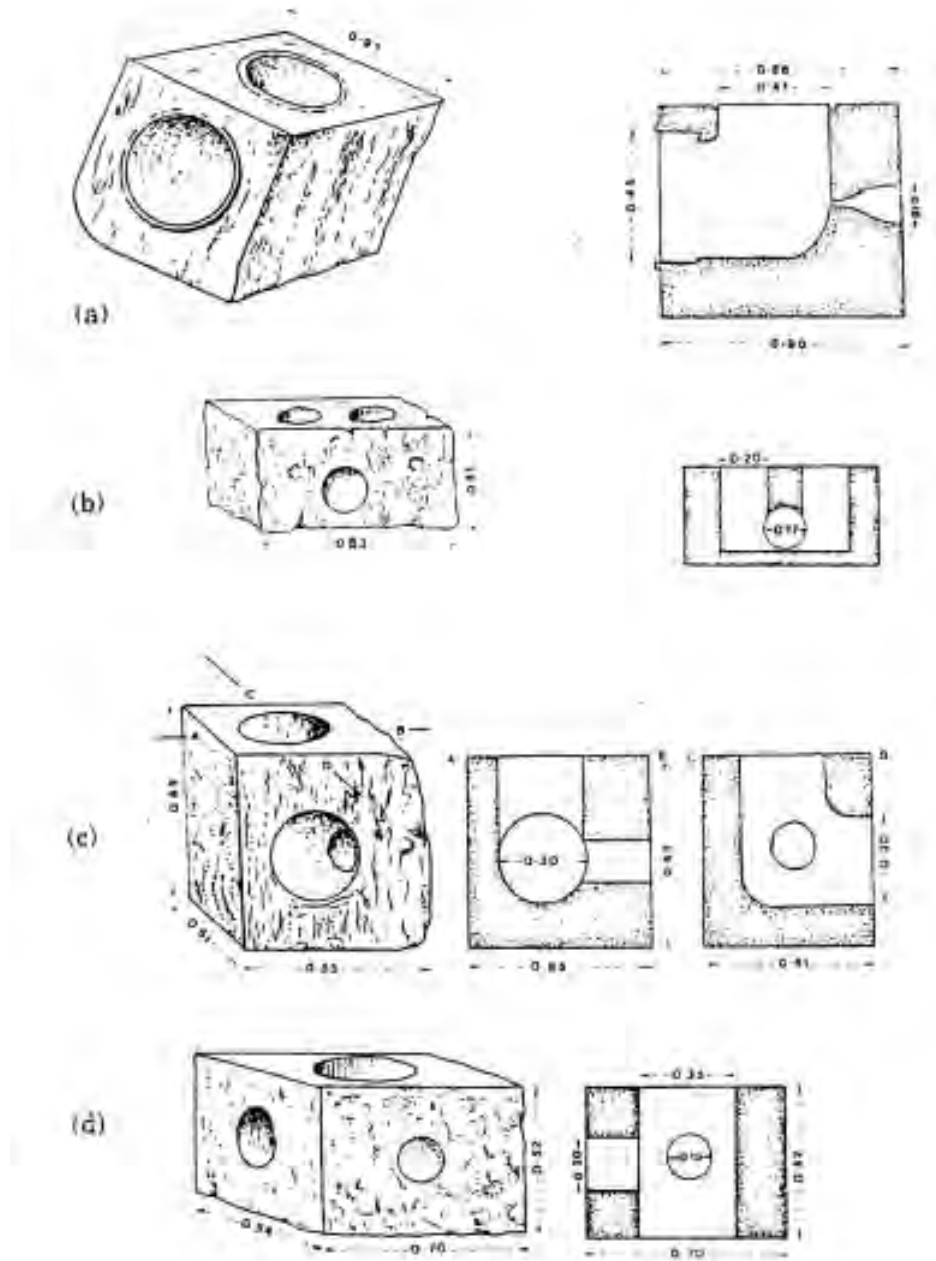
5: Efeso blocco proveniente da una condotta forzata in pietra che illustra un giunto maschio/femmina rientrato. Da notare, anche i due piccoli fori uno sulla sommità e l'altro su una parete



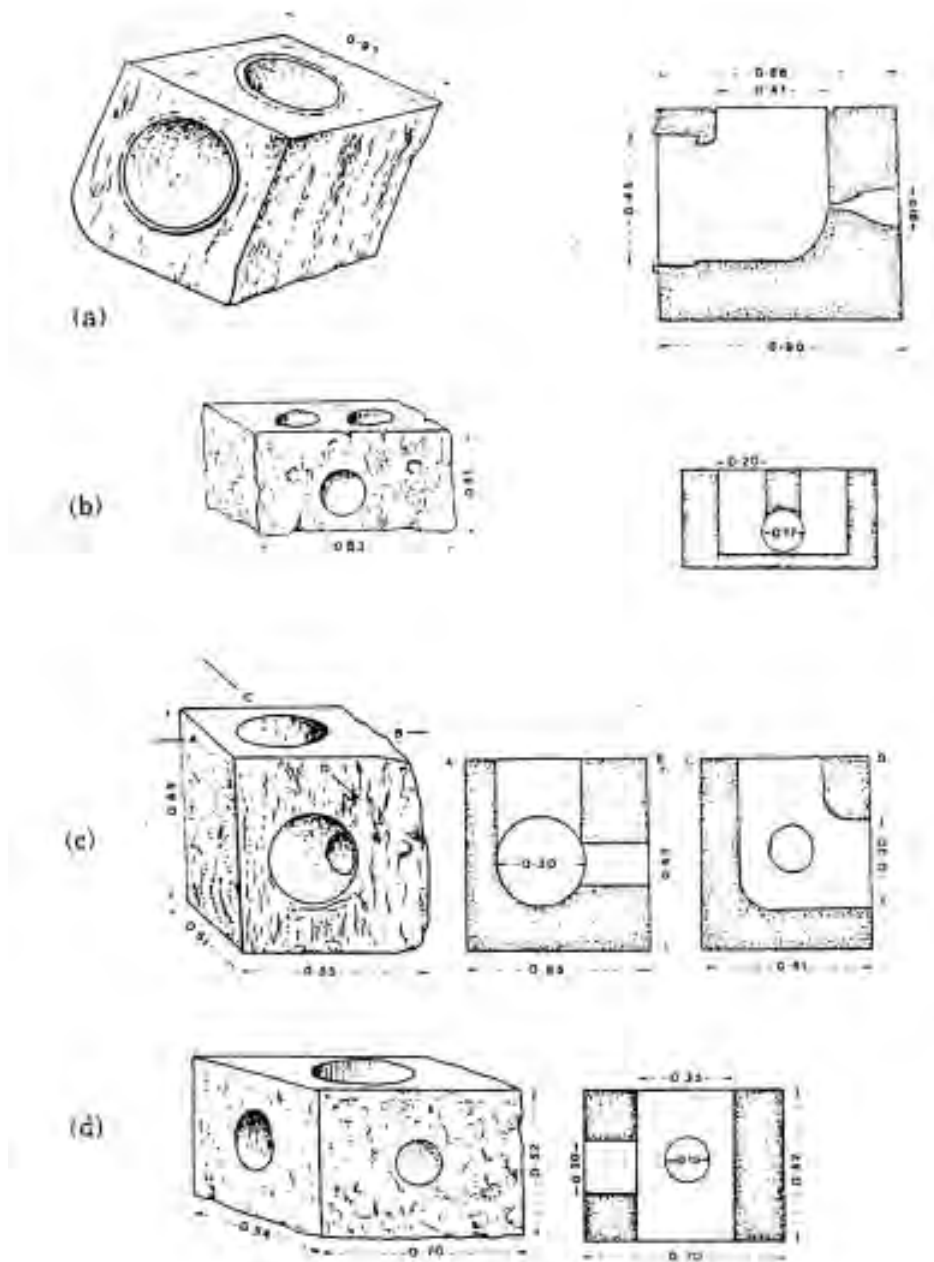
6. Efeso: blocchi provenienti da una condotta forzata in pietra, accatastati nell'agorà; alcuni (ad esempio in alto e al centro) presento lateralmente, un foro di ventilazione.



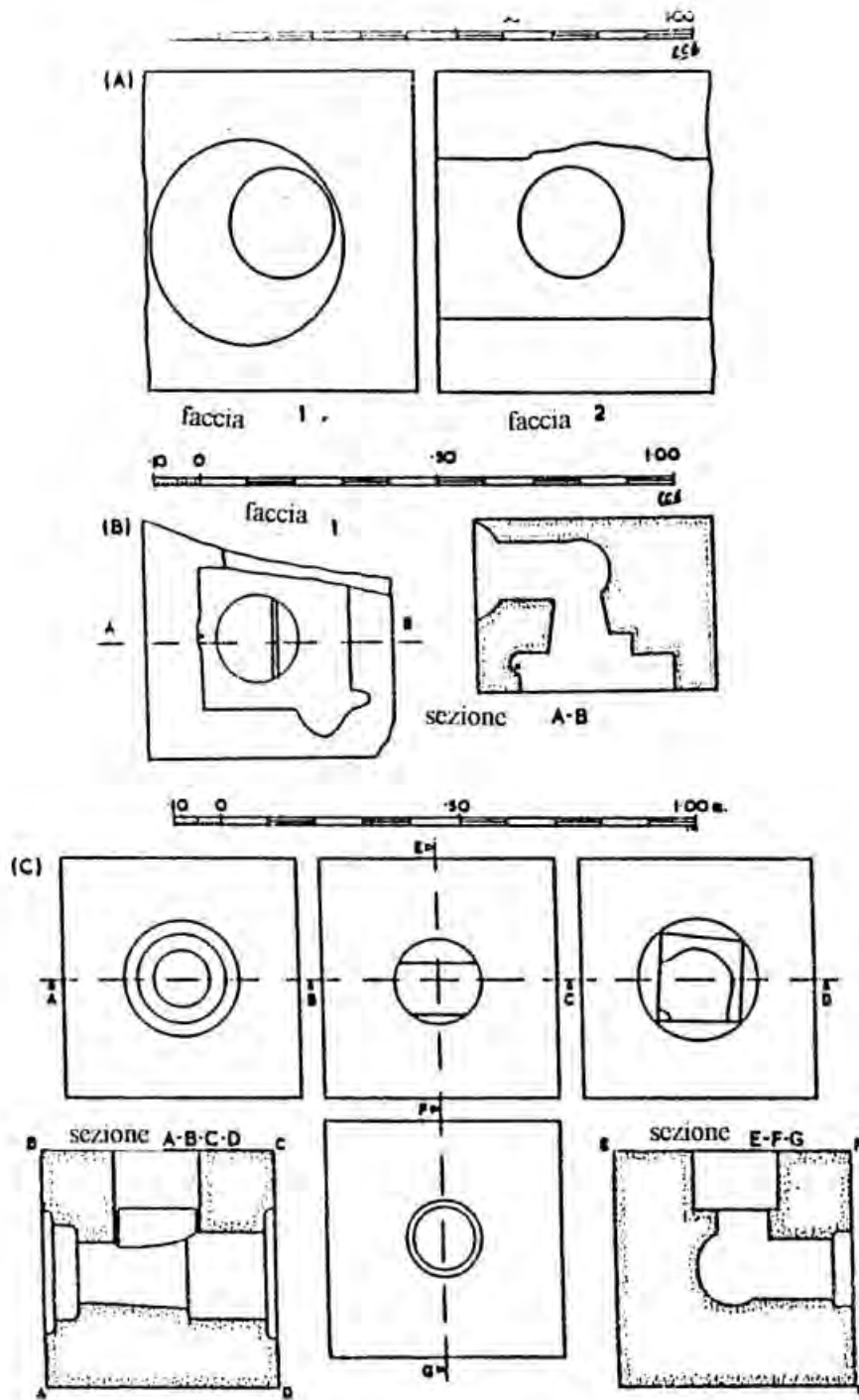
7. Patara sifone formato da una condotta costituita da blocchi di pietra (foto: K. Grewe, Bonn)



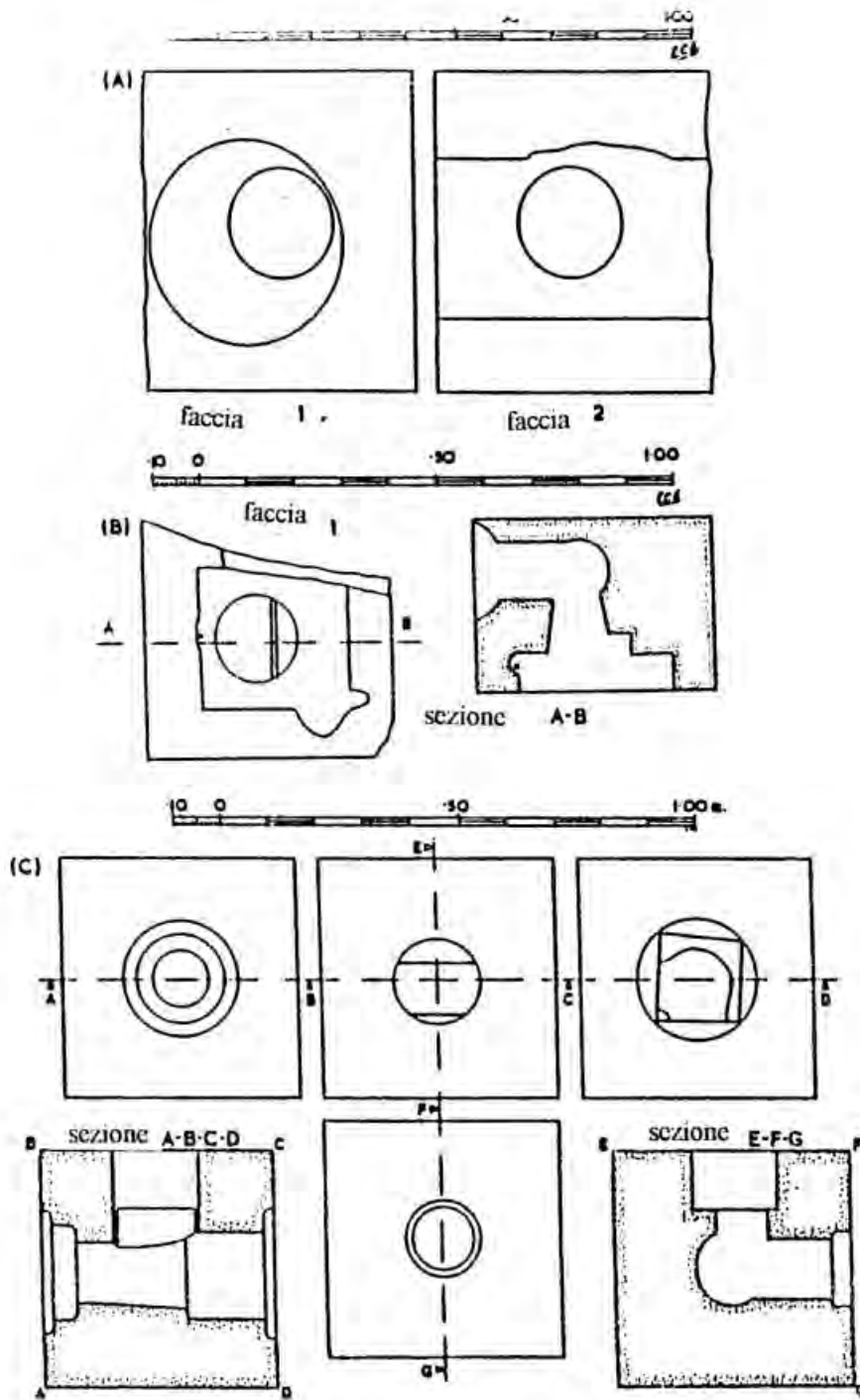
8. (a) Laodicea angle block from stone pipeline showing (section), possible air vent hole; (b), (c), (d) Smyrna: various angle and junction block from stone siphon piping (Weber)



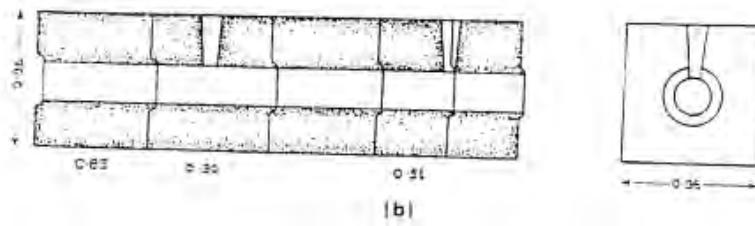
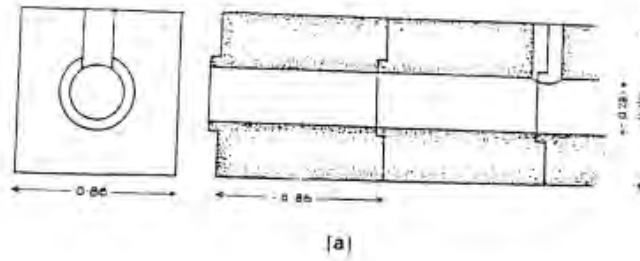
8. (a) Laodicea: blocco angolare proveniente da una condotta in pietra che illustra (in sezione) un probabile foro di ventilazione; (b) (c) (d) Smirne: vari blocchi angolari e di raccordo provenienti da tubature di un sifone in pietra (Weber)



9. *Oinoanda*: various angle and junction block from stone pipeline (J.J. Coulton)



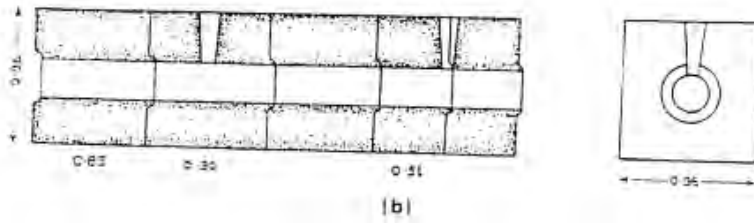
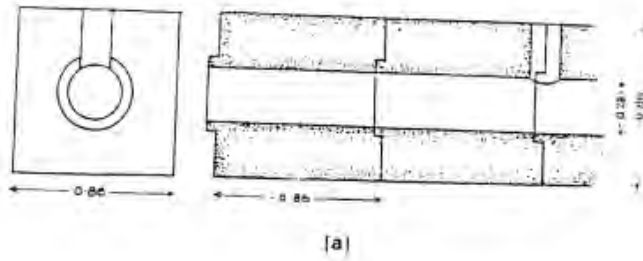
9. Oinoanda: vari blocchi angolari e di raccordo provenienti da una condotta in pietra (J.J. Coulton)



10. Stone pipeline blocks showing (vent?) holes, from (a) Aspendos; (b) Laodicea (Lanckoronski, Weber)



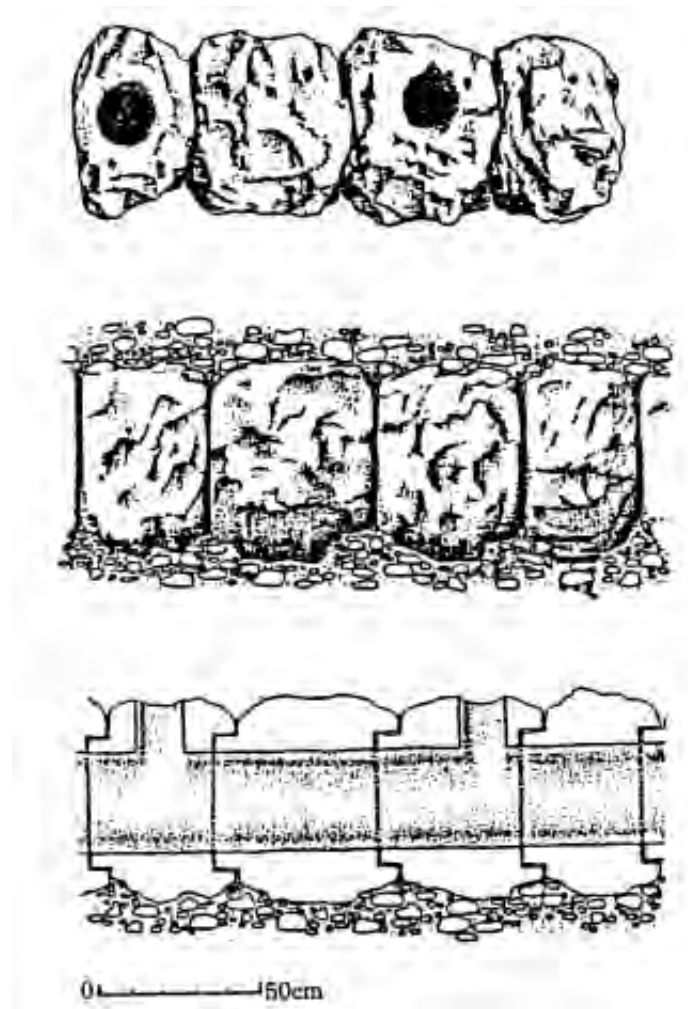
11. **Hippos (Susita), Israel:** stone sipone pipe in situ. The stone block have been left only roughly dressed, but again regularly carry holes on top, giving access to the pressure channel within (for air venting? Maintenance?) (see Fig. 12)



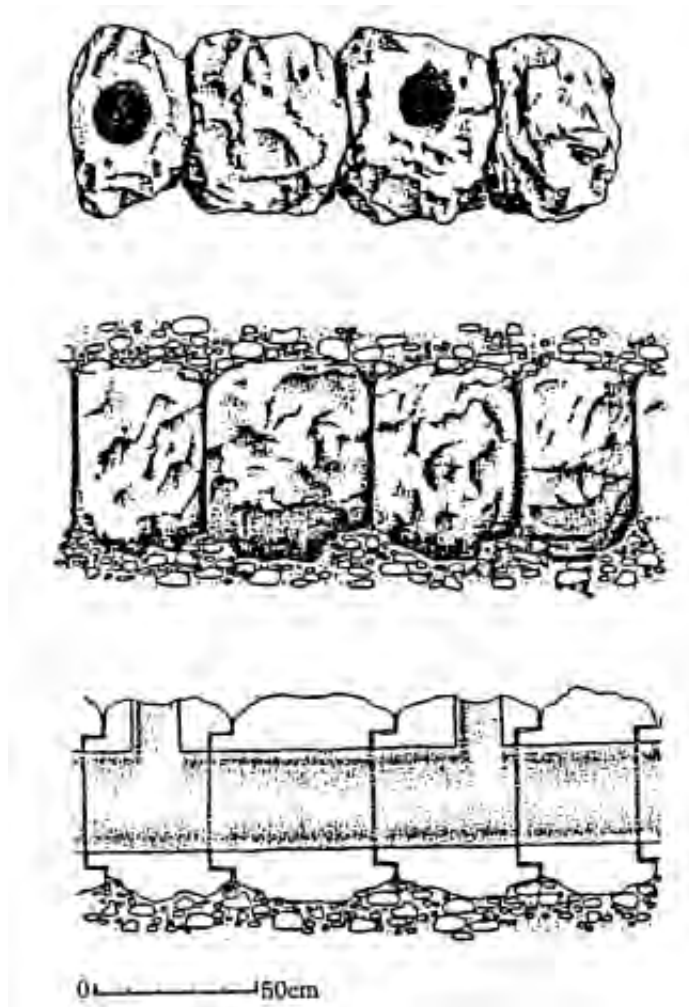
10. Blocchi di una condotta in pietra che mostrano fori (di ventilazione?), da (a) Aspendos; (b) Laodicea (Lanckoronski, Weber)



11. **Hippos (Susa), Israele:** tubazione in pietra di un sifone in situ. I blocchi di pietra sono stati lasciati con delle rifiniture grossolane, ma sulla sommita portano ancora regolarmente i fori che davano accesso alla condotta forzata presente all'interno (per l'aerazione? La manutenzione?) (vedi Fig. 12)



12. Hippos (Susita), Israel: stone siphon piping, in plan, elevation and section, showing (vent?) holes (Y, Peleg)



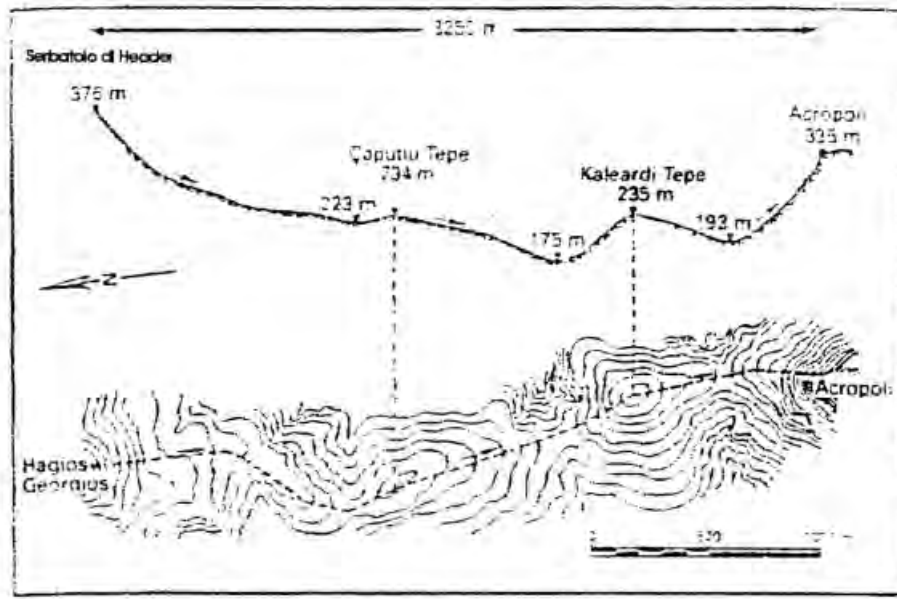
12. **Hippos, Susa, Israele** tubazioni di un sifone in pietra, in pianta, elevato e sezione, che mostrano fori (di ventilazione?) (Y. Peleg).



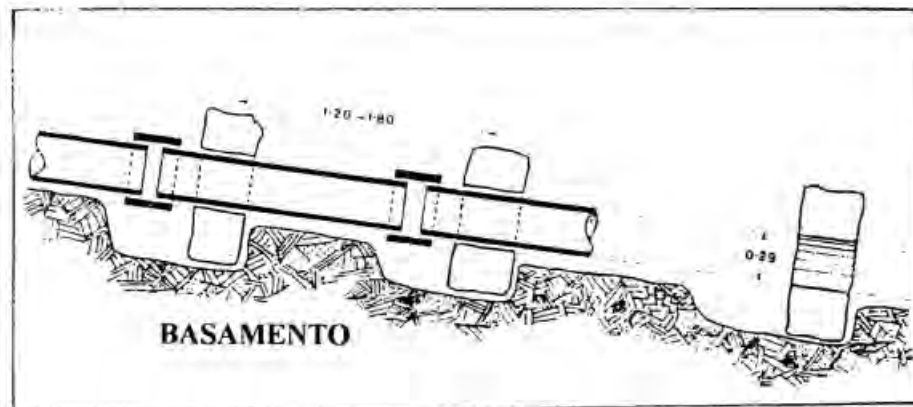
13. *the aqueducts of Pergamon: the principal lines are the Madradag and the Kaikos (Garbrecht)*



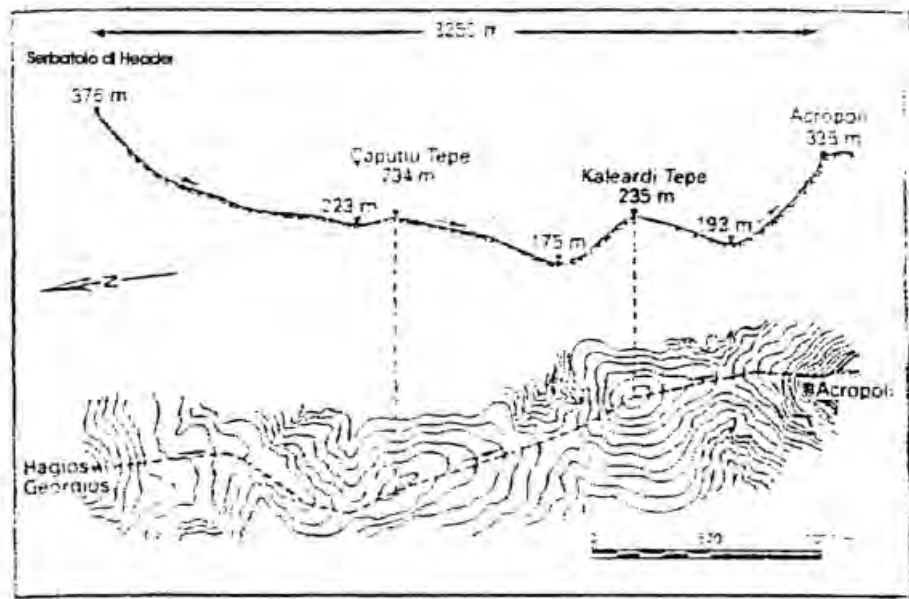
13. *L'aquedotto di Pergamo le linee principali sono il Madradag e il Kailos (Ciabrecht).*



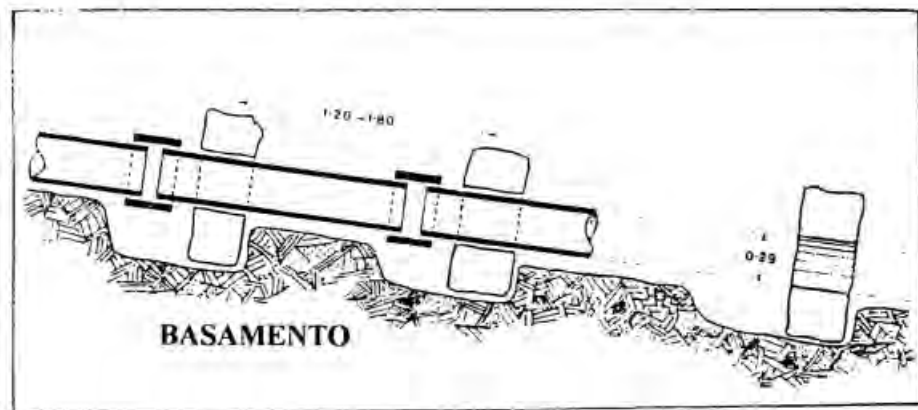
14. Pergamon: Madradag aqueduct: profile (above) and plan of siphon bringing water to the Acropolis (second century BC)



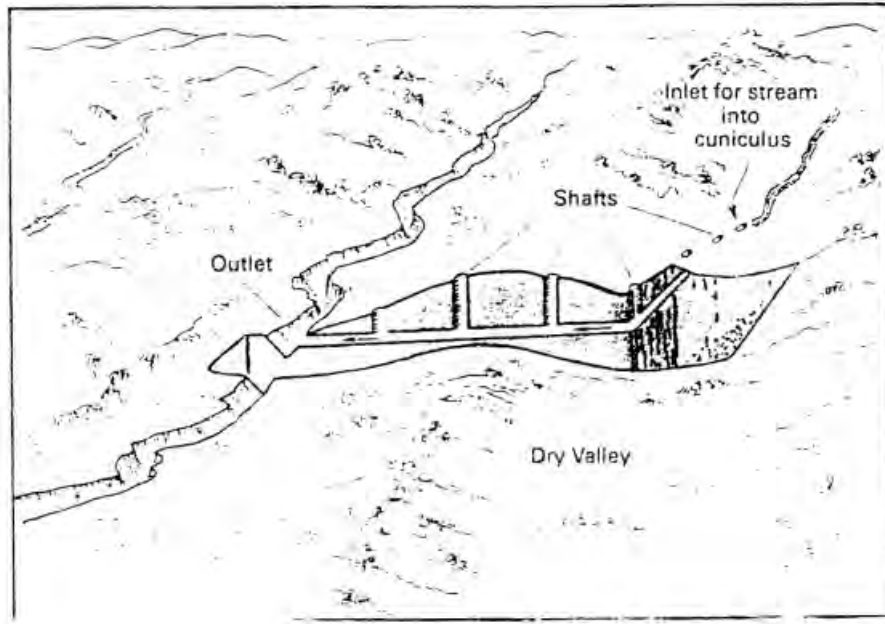
15 Pergamon : Madradag aqueduct: lead pressure pipes of siphon resting in stone supports



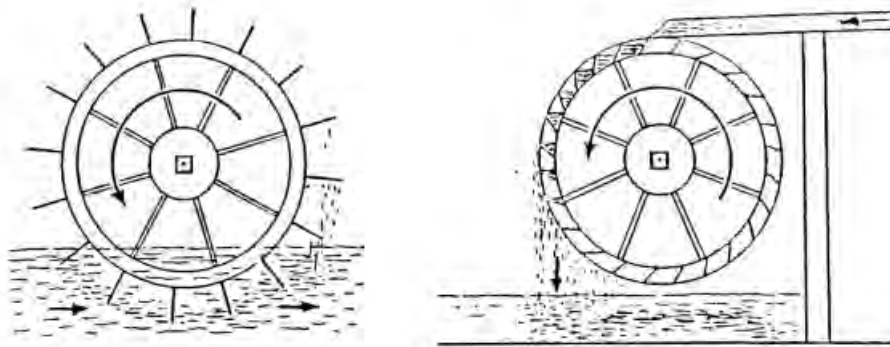
14. Pergamo: acquedotto di Madradag: pro.profilo (in alto) e pianta del sifone che portava l'acqua all'Acropoli (secondo secolo a.C.)



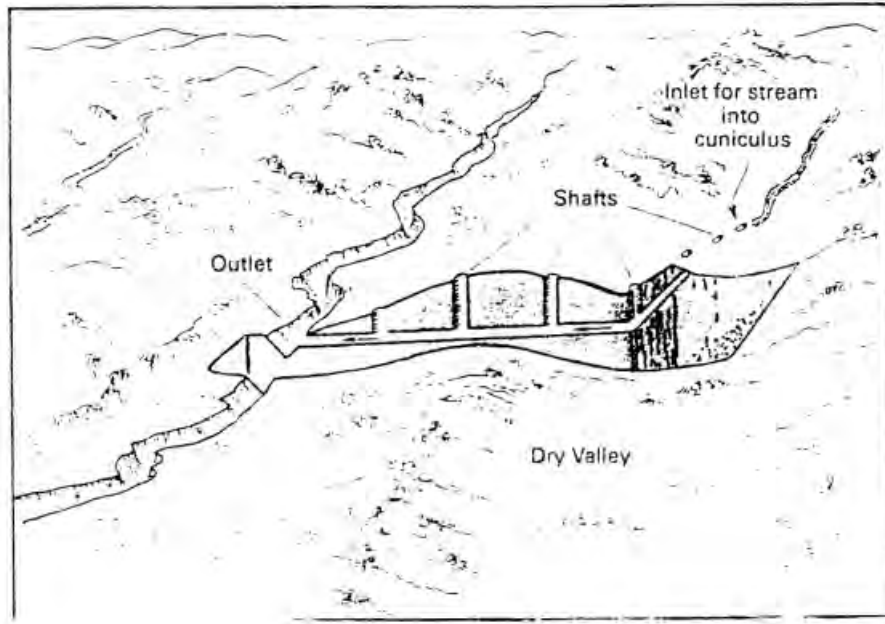
15 Pergamo: acquedotto di Madradag: condotte forzate in piombo appartenenti ad un sifone sorretto da supporti in pietra



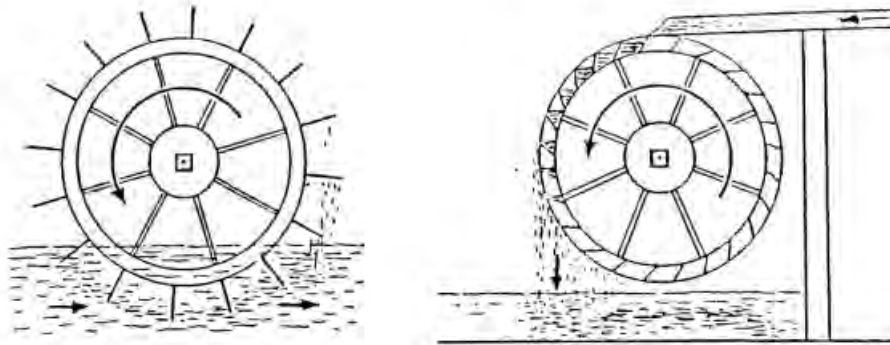
16 Etruscan cuniculus: diagrammatic view of drainage cuniculus leading from one valley into another (Judson and Kahane)



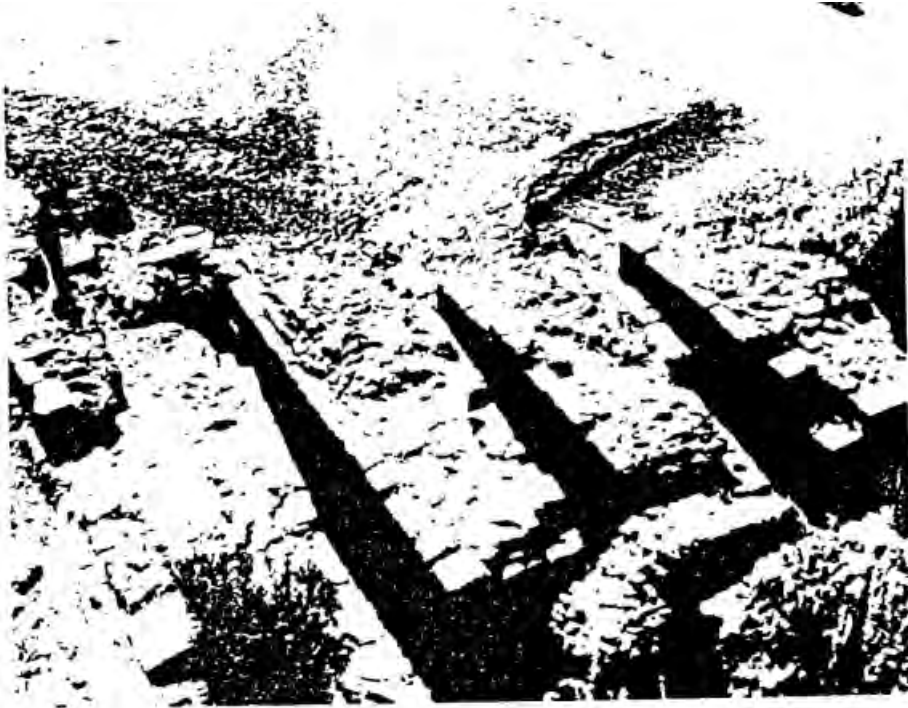
17. Water wheels (lef) undershot (right) overshot (Landels)



16. Cuniculus: vista diagrammatica del cuniculus di drenaggio che va da una valle ad un'altra (Judson e Kahane)



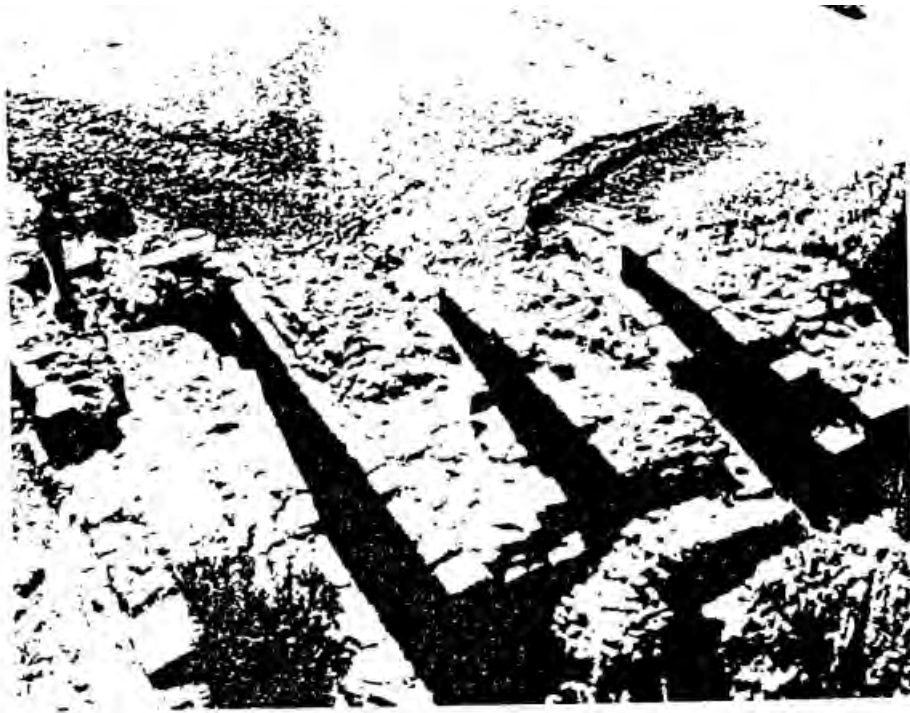
17: ruote idrauliche (sinistra) per di sotto; (destra) per di sopra (Landels)



18. Chemtou Tunisia: the abutment of the Trajanic bridge from above, with, cutting across it, slots housing the tree water wheels (phot: J. Gallagher)



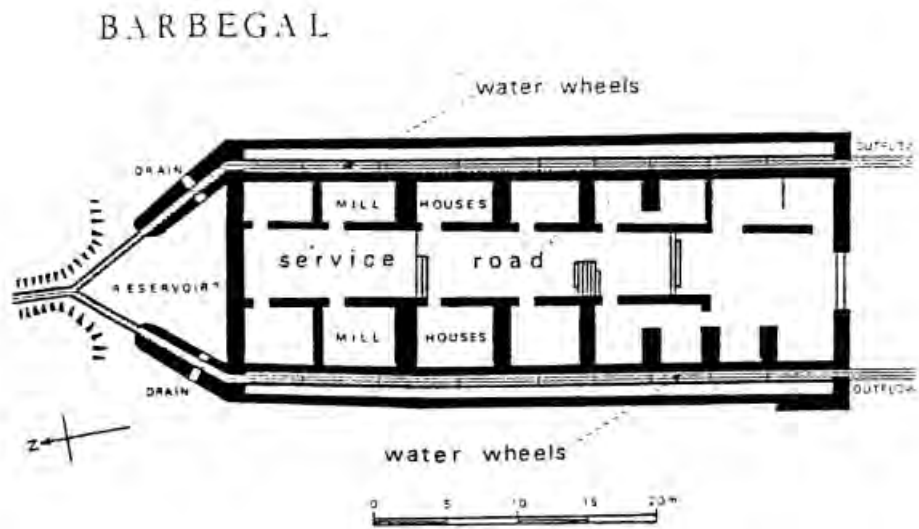
19. Barbegal: reconstruction of multiple mill (Benoît)



18. Chemtou tunisia: spalla del ponte traiano visto dall'alto, con fenditure longitudinali, che ospitavano le tre ruote idrauliche (foto: J. Gallagher)



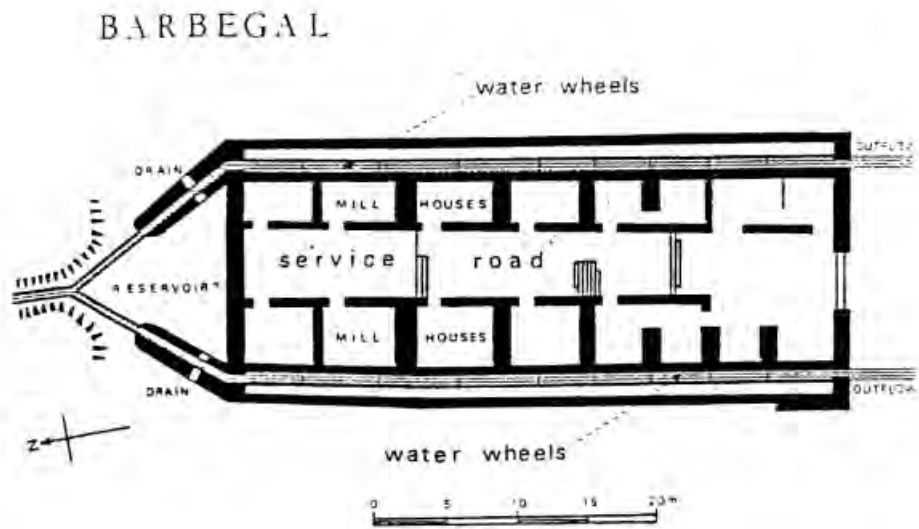
19: Barbegal: ricostruzione del mulino multiplo



20. *Barbegal*: reconstructed plan, partly conjectural.



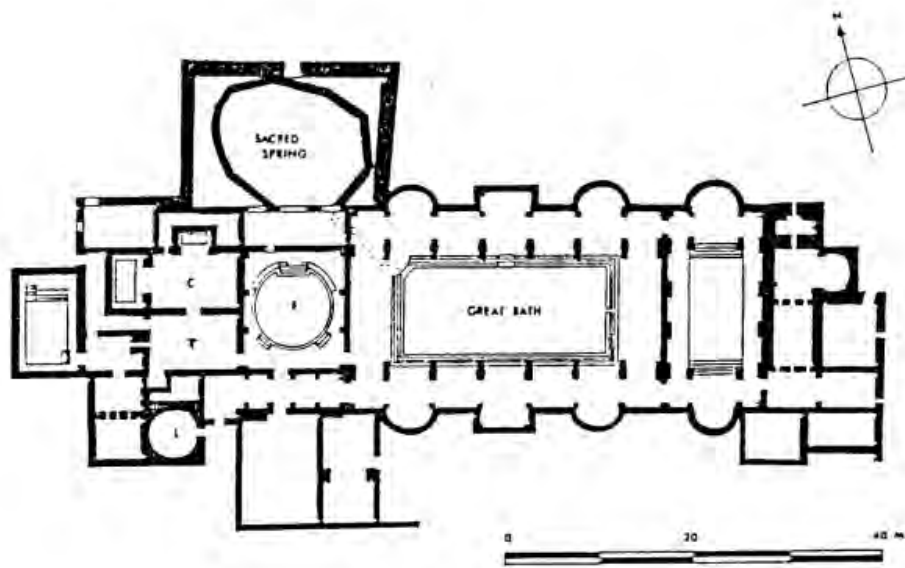
21. *Barbegal* (Arles): general view of milling complex. The notch in the skyline is the cutting through which the aqueduct entered to serve the mills.



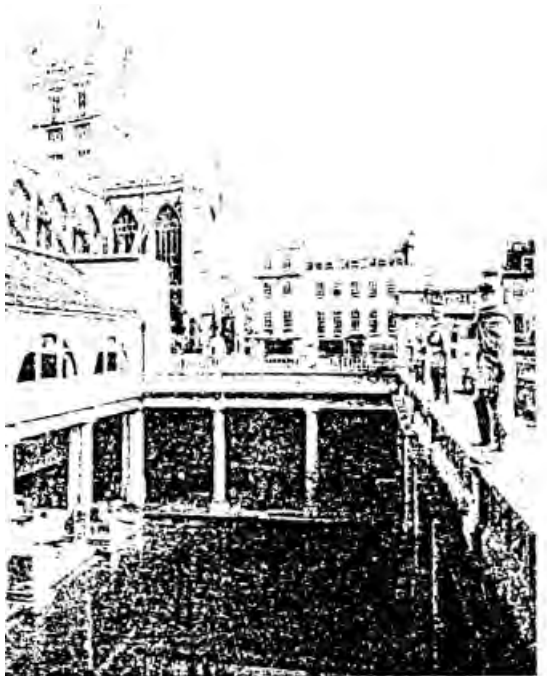
20. *Barbegal*: pianta ricostruita, in parte ipotetica



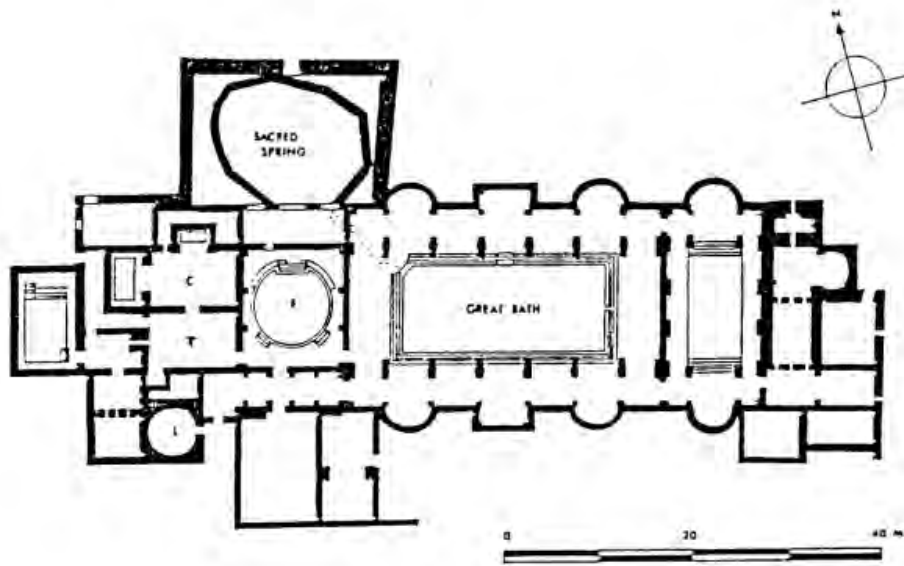
21. *Barbegal (Arles)*: vista generale del complesso molitorio. L'intaglio presente nei contorni è la spaccatura attraverso la quale l'acquedotto entrava per servire i mulini.



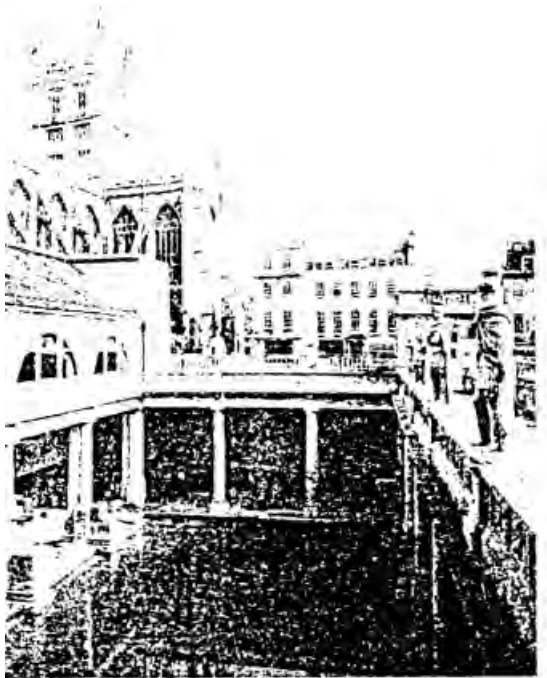
22. Bath, England: plan of Roman bath; C= caldarium (hot room) T= tepidarium (warm room); F=frigidarium (cold room, with round plunge pool); L= laconicum (sauna)



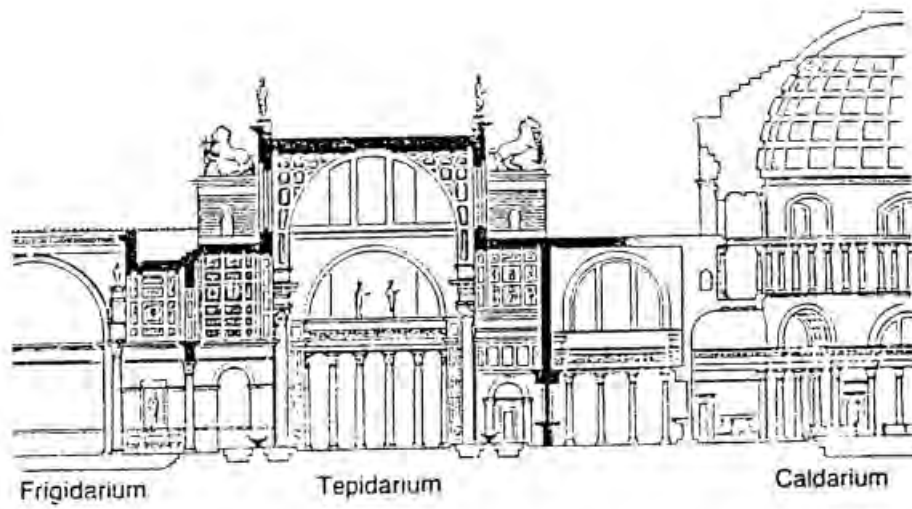
23. Bath, England: The Great bath (photo: Bath Tourism)



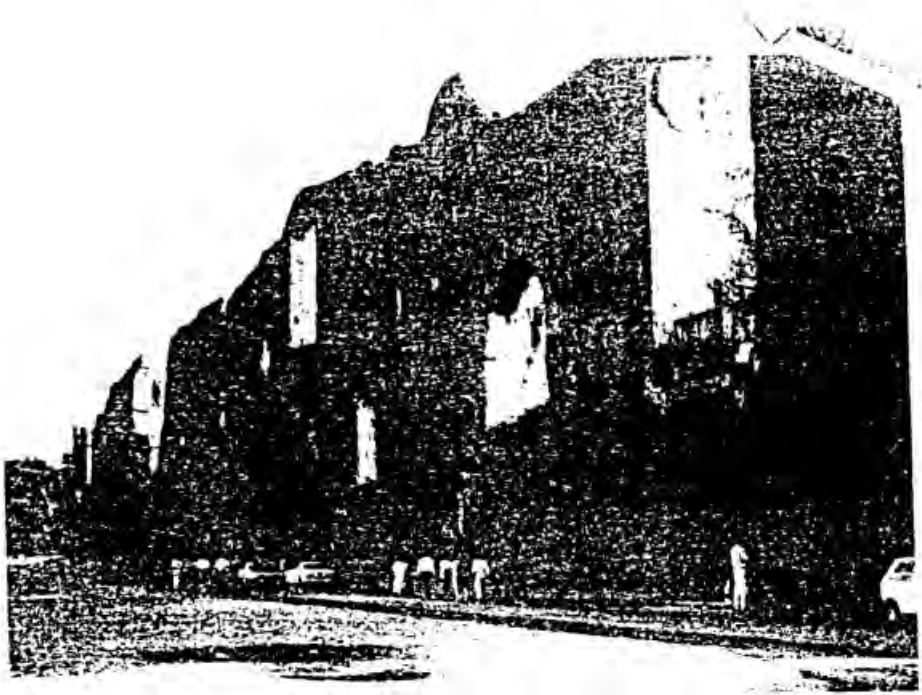
22. BATH, Inghilterra: pianta delle terme romane; C= calidarium (stanza calda); T = tepidarium (stanza tiepida); F = frigidarium (stanza fredda, vasca circolare per immersioni); L = laconicum (sauna)



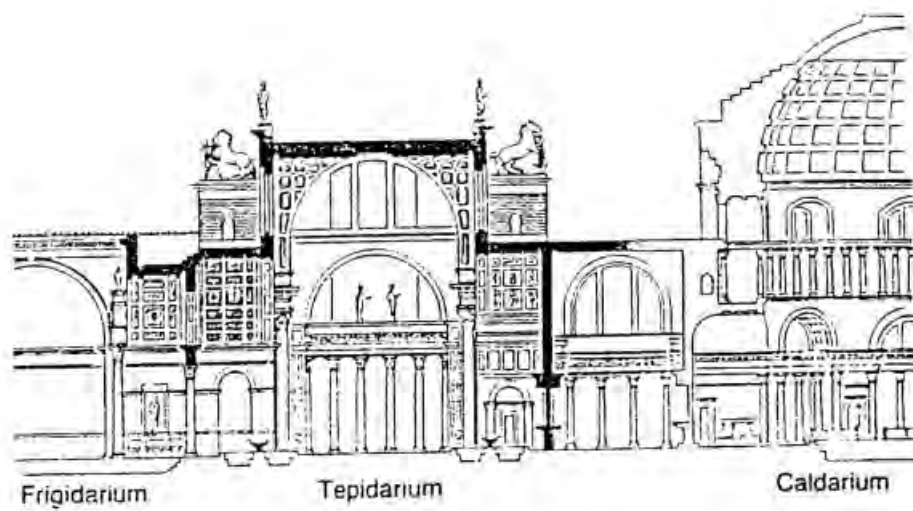
23. Bath, Inghilterra: Terme Maggiori (foto: bath Tourism)



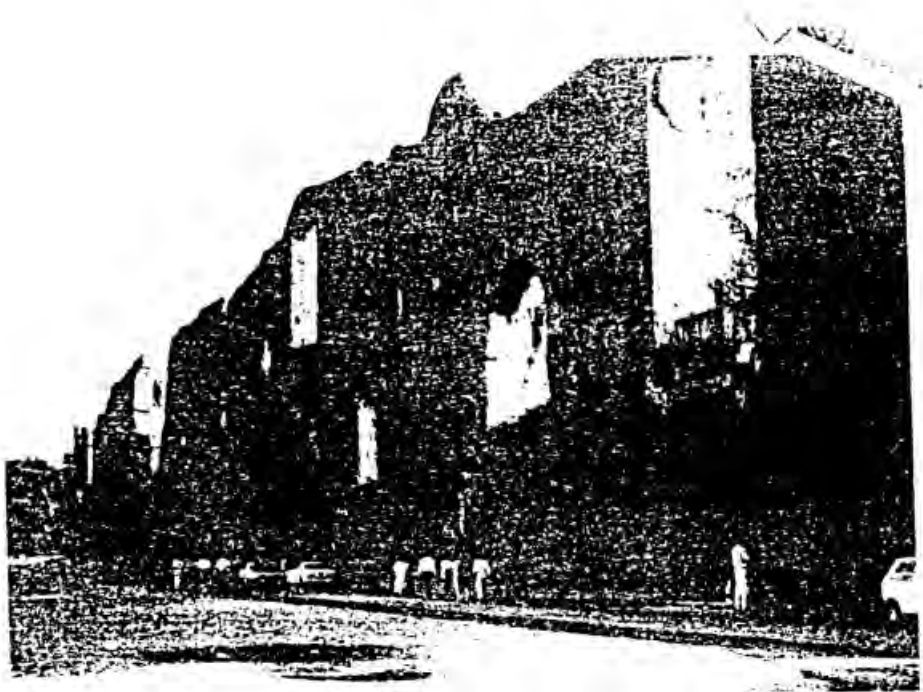
24. Rome: Bath of Caracalla, restored cross-section



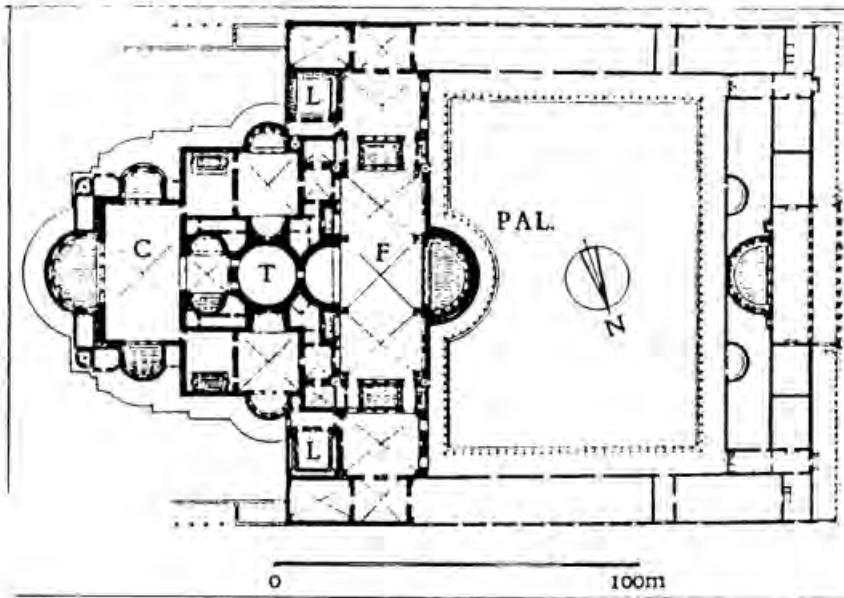
25. Rome: Baths of Caracalla, exterior. The cars and human figures give an idea of the scales



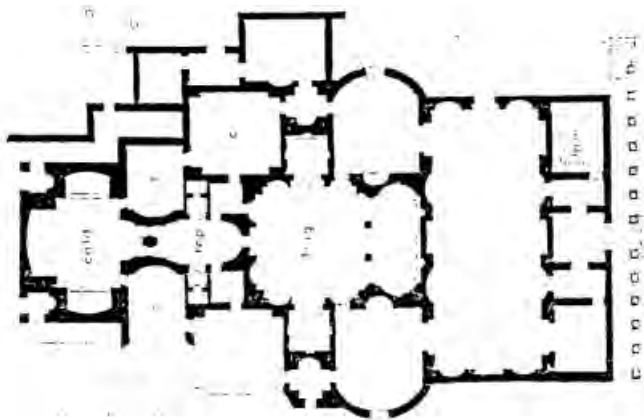
24. Roma: Terme di Caracalla, sezione restaurata

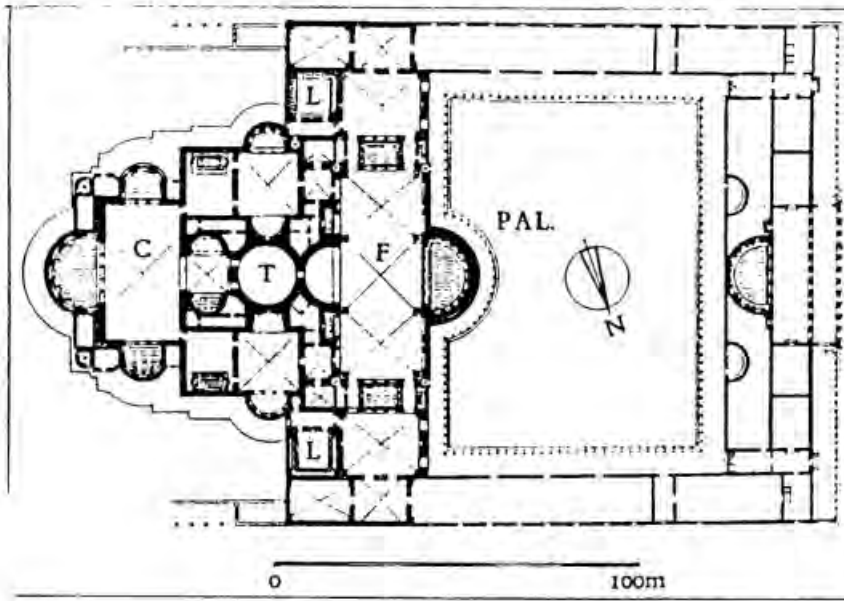


25. Roma: Terme di Caracalla, esterno. Le automobili e le persone nella foto danno un'idea delle proporzioni imponenti

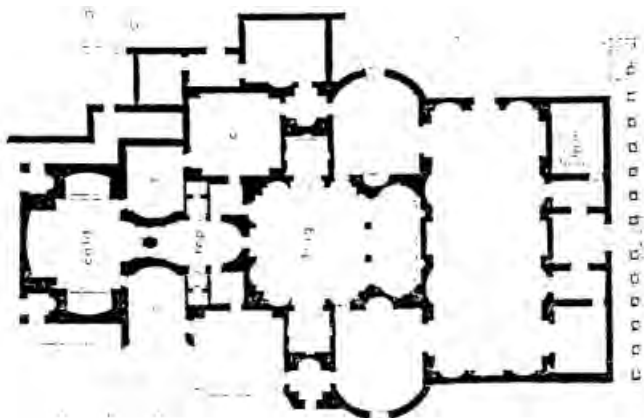


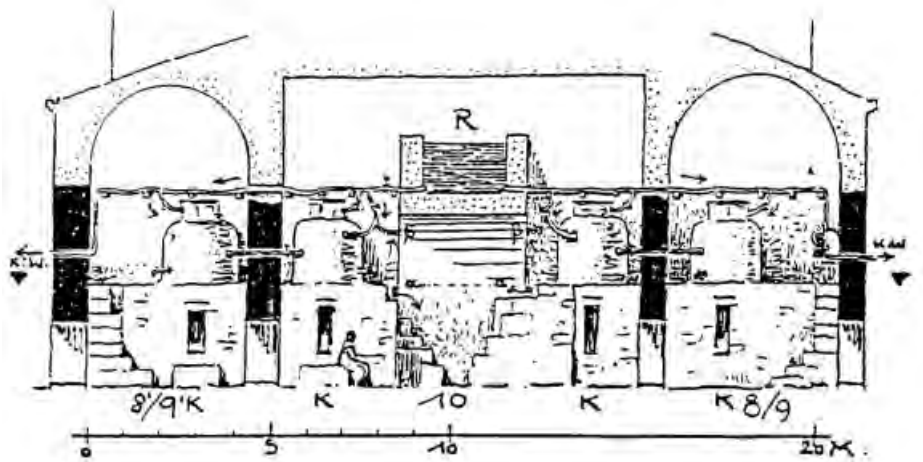
26. Plans of typical large provincial bath: above: the Imperial Baths, Trier, early fourth century AD: C = caldarium; T = tepidarium; F = frigidarium; L = latrine; PAL = palestra (athletic ground); **below:** The South Baths, Cuicul (Djemila, Algeria), second century BC: caldarium, tepidarium, frigidarium; C = courtyard; latr. = latrine



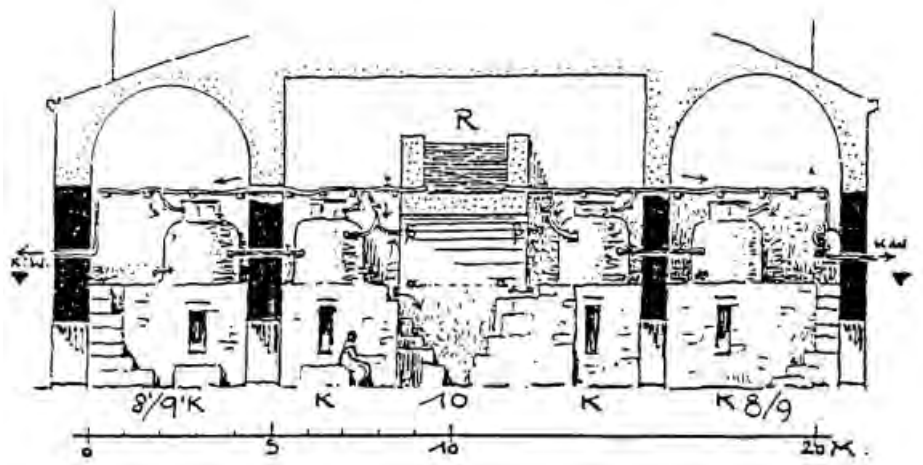


26. Pianta di un grande complesso termale tipico delle province dell'impero: in alto: Terme imperiali, Trier, inizio del quarto secolo d.C.: C = calidarium; T = tepidarium; F = frigidarium; L = latrina; PAL= palestra; in basso: Terme del Sud, Cuicul (Djemila, Algeria), secondo secolo d.C.: calidarium, tepidarium, frigidarium; C = cortile; Latr. = latrine

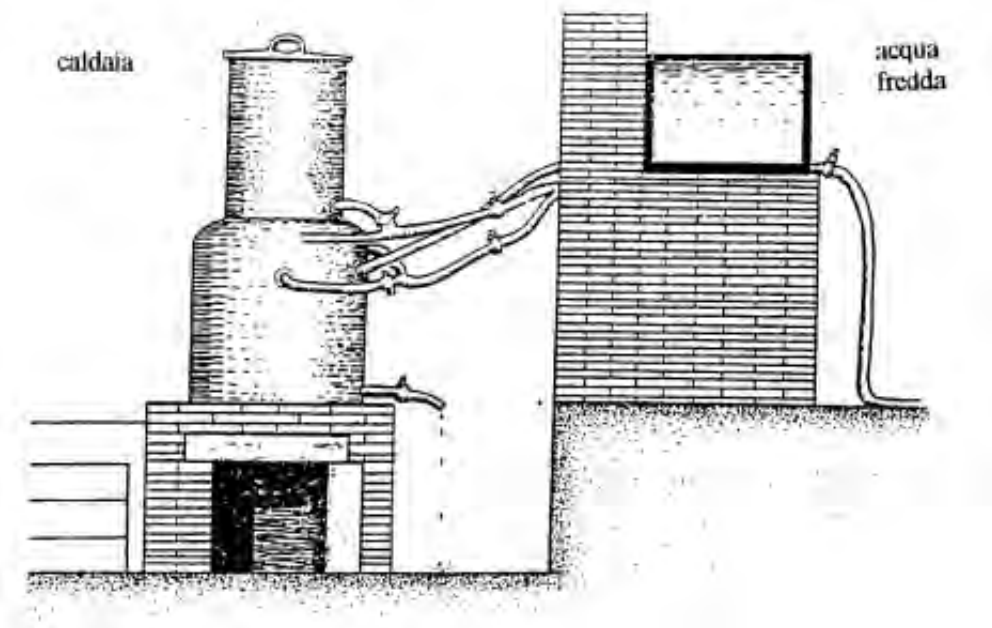




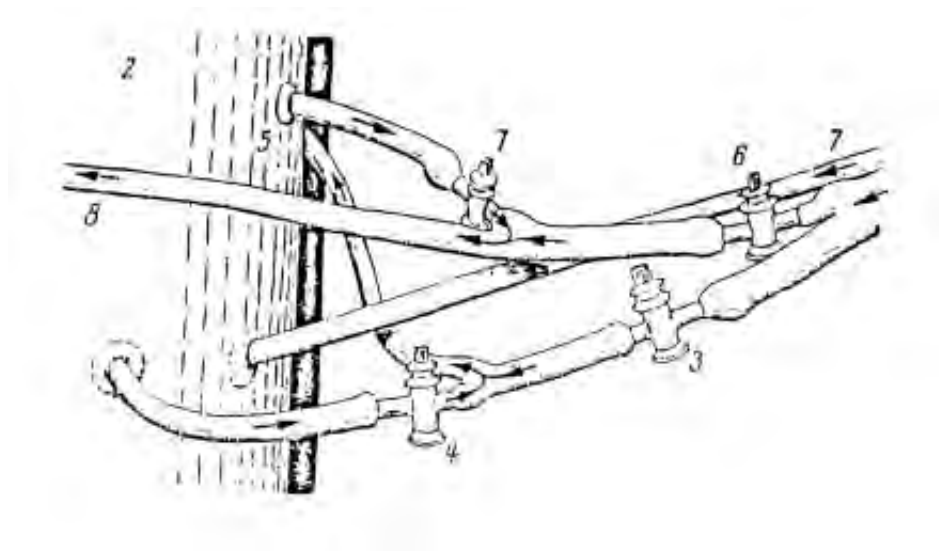
27. *Lambesis*: boiler room in baths, showing four boilers (Krenchker)

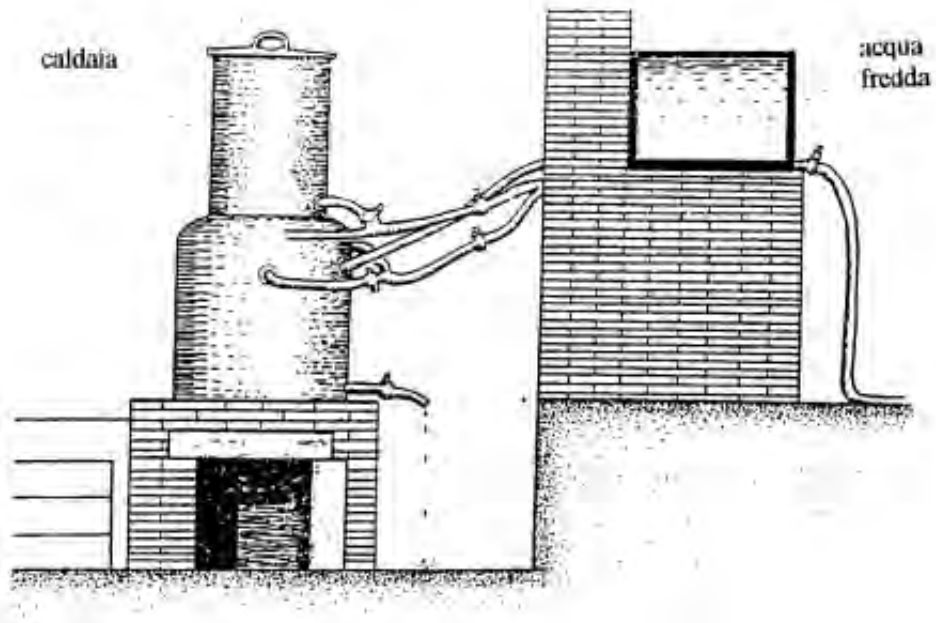


27. *Lambesis*: il locale delle caldaie nelle terme, con quattro caldaie (Krencker)

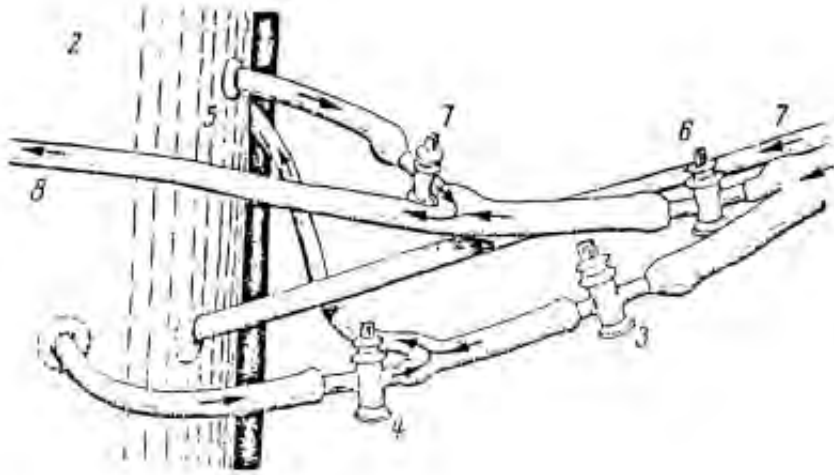


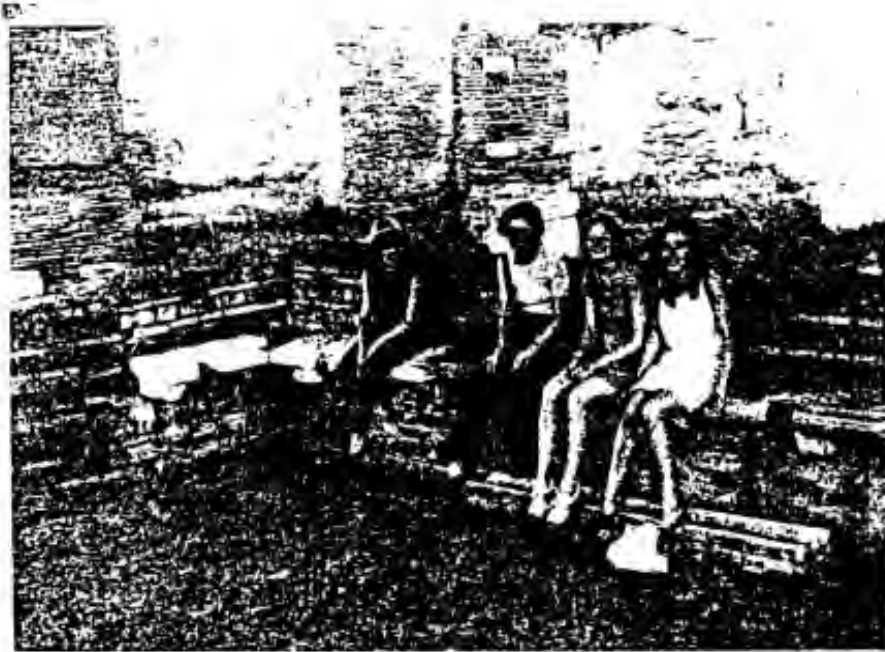
28. Boscoreale (near Pompei): above: heating boiler for domestic baths: below: close-up of piping: 7= cold water supply; 2 = boiler; 8 = warm water delivery pipe (Kretzscherer).



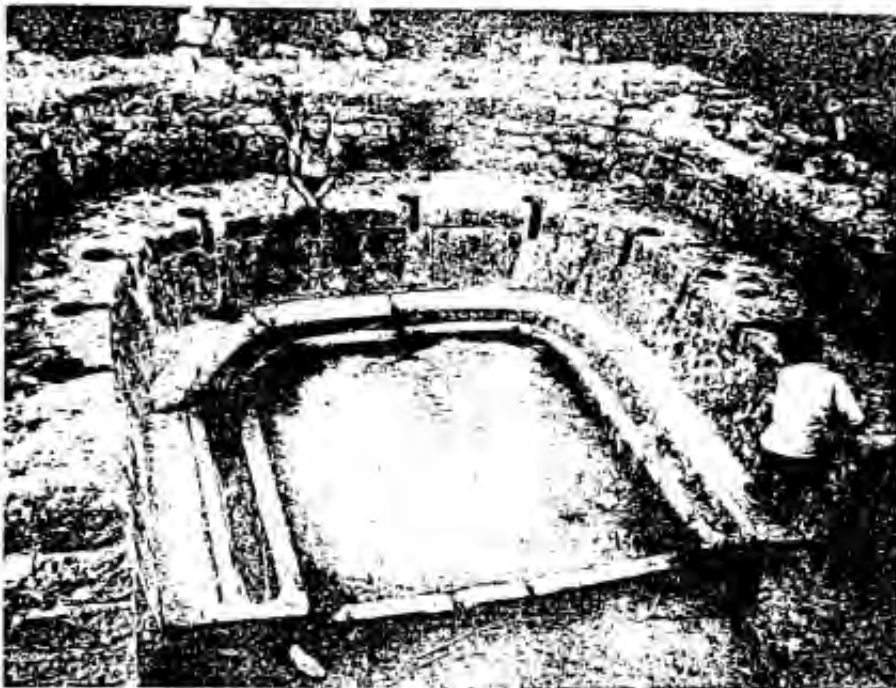


28. Boscoreale (vicino Pompei): in alto: caldaia per terme domestiche; in basso: particolare di una tubatura 7 = erogazione dell'acqua fredda; 2 = caldaia; 8 = tubo di allacciamento dell' acqua calda (Kretzschemer).

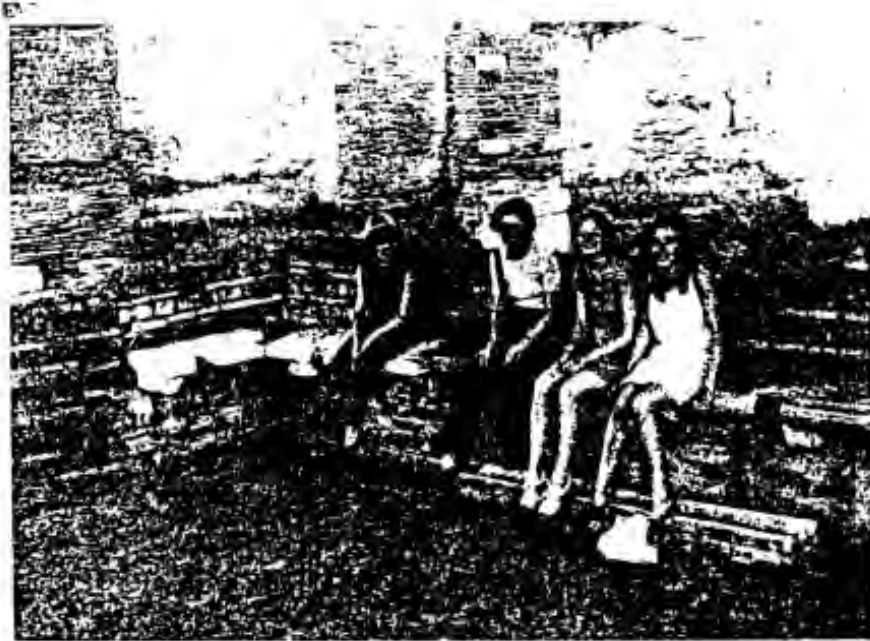




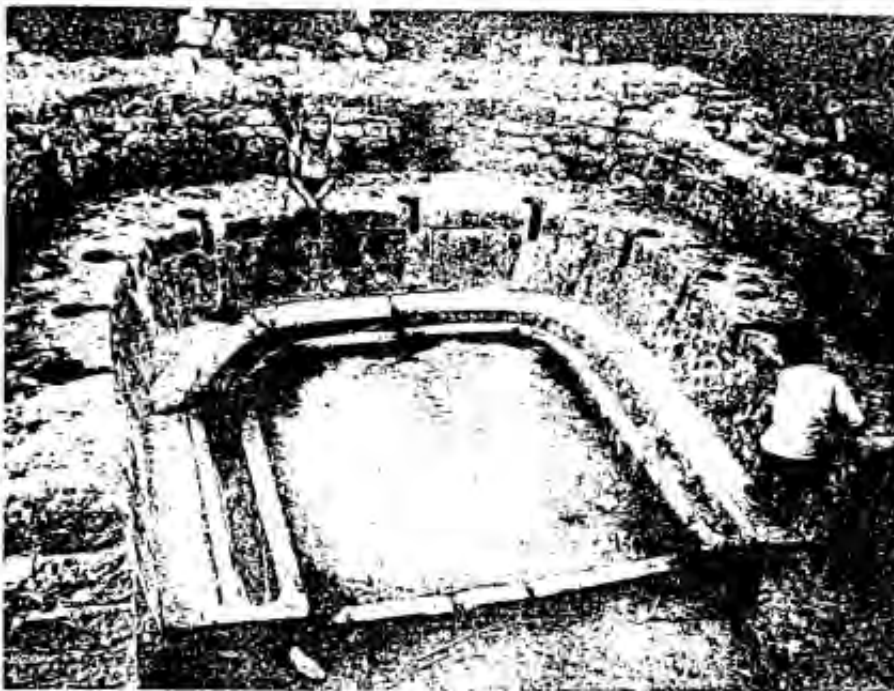
29. Ostia: multiple public toilet (demonstration courtesy group of Carleton Carleton University)



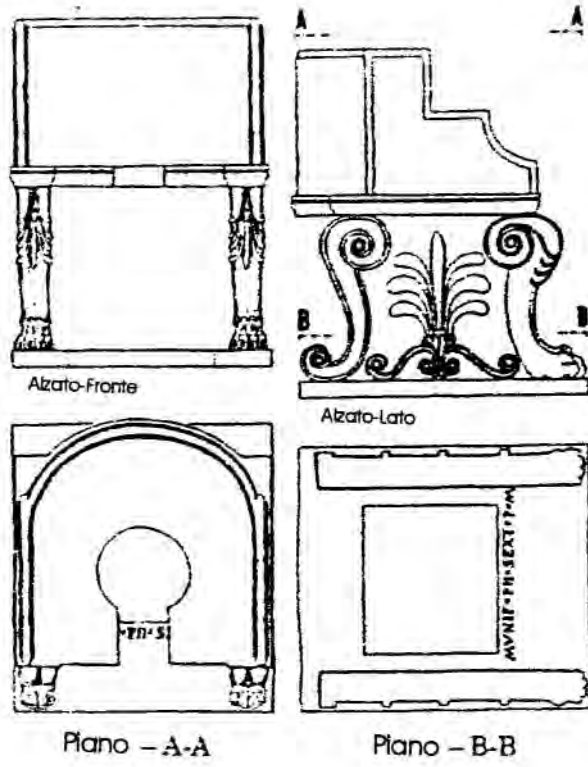
30. Thugga, Tunisia: public toilet (photo: K. Grewe, Bonn)



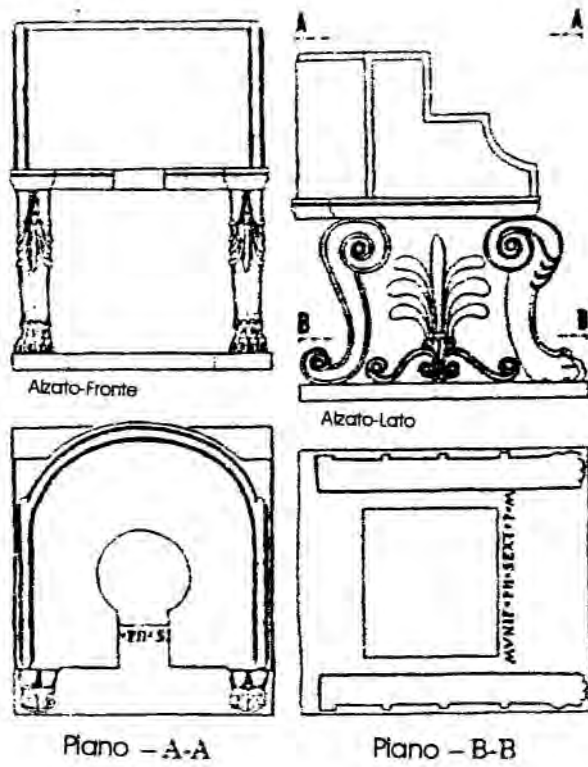
29. Ostia: bagno pubblico multiplo (cortese dimostrazione fatta da un gruppo di studenti della Carleton University)



30. Dougga, Tunisia: bagno pubblico (foto: K. Grewe, Bonn)



31. Paris: Luxurious toilet eat in red marble now in the Louvre (M. Grassnick)



31. Paris: lussuoso sedile da bagno in marmo rosso, oggi al Louvre (M. Grossnick)

GLOSSARY ENGLISH > ITALIAN

<p>ROMAN AQUEDIJCTS AND WATER SIJPL Y</p>	<p>ACQUEDOTTI E RIFORMIMENTO IDRICO DEI ROMANI</p>
<p>abutment One of two terminal supporting structures of a bridge.</p>	<p>spalla Ciascuno dei piedritti su cui poggiano le estremità di un ponte, di una volta, di un edificio.</p>
<p>acre A measure of land; 4,840 square yards or about 4,050 square metre.</p>	<p>acro Misura anglosassone di superficie, pari a 4.840 yarde quadrate (4.046,87 m²).</p>
<p>acropolis ("city at the top"). Central defensively oriented district in ancient Greek cities, located on the highest ground and containing the chief municipal and religious buildings.</p>	<p>acropolis Parte più alta e fortificata delle antiche città greche. Il nome deriva dal greco <i>akròs</i>, alto, e <i>polis</i>, città. L'acropoli per antonomasia è quella di Atene, che comprende monumenti quali il Partenone.</p>
<p>agora In ancient cities, an open space that served as meeting ground for various activities of the citizens. The name first appeared in the works of Homer.</p>	<p>agora Nelle antiche città greche, piazza dove si teneva mercato e si riunivano i cittadini in assemblea.</p>
<p>agronomist A person who studies agronomy, the science concerned with the relationship between crops and their environment,</p>	<p>Agronomo Chi professa l'agronomia, scienza che studia l'applicazione di norme e principi legati all'agricoltura per incrementare la fertilità dei suoli e migliorare la qualità di piante e prodotti,</p>
<p>air pocket Air that collects in a pipe. To avoid this problem in ancient times, this air pockets may have been accommodated in some release vents</p>	<p>sacca d'aria Aria che veniva ad accumularsi in una condotta, all'altezza dei gomiti.</p>
<p>akkadian Related to the inhabitants of Akkad, ancient region located roughly in the area where the Tigris and Euphrates rivers are closest to each other. The name of Akkad was taken from the city of Agade, which was founded by the semitic conqueror Sargon.</p>	<p>accadico Relativo o appartenente agli Accadi, denominazione data dagli studiosi moderni a quei Semiti che fondarono, nel approssimativamente 2500 a.C., nella parte meridionale della Mesopotamia, il regno di Agade o Akkadu.</p>
<p>amphora One of the principal shapes in Greek pottery, a two-handled pot with a neck narrower than the body.</p>	<p>anfora Vaso a due anse, di medie o grandi dimensioni e con bocca stretta. I tipi di anfora più noti del mondo greco e</p>

	romano comprendono quelli a figure nere e figure rosse.
<p>aqueduct Artificial channel through which water is conducted to the place where it is used. Most aqueducts of ancient times were built of stone, brick or <i>pozzolana</i>, a mixture of limestone and volcanic dust. Rome had many aqueducts and was the only ancient city reasonably supplied with water. The slope of the tunnel was carefully surveyed to be constant and this to prevent erosion.</p>	<p>acquedotto Sistema di canalizzazione e di condotte per il rifornimento dell'acqua. È con i Romani che la tecnica di costruzione degli acquedotti raggiunse, nell'Antichità, il livello più alto. I ponti e gli archi romani, realizzati per condurre l'acqua alle centrali di distribuzione dovevano essere costruiti in modo da mantenere una pendenza costante, per permettere all'acqua di scorrere senza ostacoli nella direzione desiderata. Erano formati da condotti impermeabilizzati con pozzi d'aerazione aperti a intervalli regolari nelle volte.</p>
<p>aquiferous stratum In hydrology, a rock layer that contains water and releases it in appreciable amounts. The rock contains water-filled pore spaces, and when the spaces are connected, the water is able to flow through the matrix of the rock.</p>	<p>falda aquifera Zona sotterranea, costituita da terreni permeabili sovrapposti a terreni impermeabili, completamente o in parte impregnata d'acqua.</p>
<p>arcade Series of arches carried by columns or piers, a passageway between arches and a solid wall.</p>	<p>arcata Struttura a forma di arco poggiante in genere su pilastri, di diametro piuttosto ampio; oppure serie di archi in successione.</p>
<p>arch a curved member that is used to span an opening and to support loads from above. The arch formed the basis for the evolution of the vault. It is formed by <i>Intrados</i> (lower face of an arch) and <i>Extrados</i> (the upper surface of an arch rib)</p>	<p>arco Struttura architettonica curvilinea che poggia su due punti (pilastri, colonne, piedritti). Nell'arco si distinguono: <i>intradosso</i> (o imbotte o sottarco), parte interna dell'arco, e <i>Extradosso</i>, <i>curva esterna</i></p>
<p>archimedean screw machine for raising water invented by Archimedes. It consists of a circular pipe enclosing a helix and inclined at an angle of about 45° to the horizontal with its lower end dipped in the water.</p>	<p>vite di Archimede Macchina idraulica in uso già nell'Antichità, che serve a sollevare acqua da una piccola profondità; è formata da un involucro cilindrico inclinato, con l'estremità inferiore pescante nell'acqua e con</p>

	all'interno un elicoide. È ancora in uso per sollevare materiali incoerente.
<p>architrave In classical architecture, the lower section of the entablature (horizontal member), immediately above the capital of a column.</p>	<p>architrave Elemento architettonico rettilineo orizzontale che poggia sui pilastri o sulle colonne. Costituisce la parte inferiore della trabeazione negli ordini classici.</p>
<p>Ashlar Thin squared and dressed stone for facing a wall of rubble or brick.</p>	<p>concio (o pietra concia) Blocco di pietra facente parte di una struttura muraria e lavorato in modo da assumere forme definite.</p>
<p>barrel vault Continuous series of arches deep enough to cover a three-dimensional space. It exerts the same thrust as the circular arch and must be buttressed along its entire length by heavy walls.</p>	<p>volta a botte Copertura a superficie ricurva di un ambiente o di un campata, costituita da una struttura semicilindrica poggiante su due muri paralleli.</p>
<p>baths Complex of rooms designed for public bathing, developed to a high degree of sophistication by the ancient Romans. They usually consist of pools and basins built either on top of the spring or communicating directly with it, in which the bathers could profit from the waters by varying degrees of immersion. There were two separate sets of facilities: a frigidarium (cold rooms), a tepidarium (warm room) and a caldarium (hot rooms) and an imposing set of structures devoted to immersion in the healing waters.</p>	<p>terme Nell'Antichità, insieme di edifici destinati a bagni pubblici. Erano il luogo preferito dai Romani. Durante l'età imperiale assunsero forme monumentali e si arricchirono di palestre, piscine, luoghi per il riposo e il tempo libero. In genere disposti simmetricamente rispetto ad un'asse centrale comprendente i servizi essenziali: il <i>calidario</i>, una sala riscaldata tramite il pavimento ad ipocausto, il <i>tepidario</i>, un ambiente a temperatura media costante, il <i>frigidario</i> dove ci si immergeva in acqua fredda per suscitare nel corpo una reazione tonificante.</p>
<p>bend A curved or bent length tubing or conduit that is used to connect the ends of two adjacent straight lengths set at angles to one another</p>	<p>gomito In meccanica e nella tecnica, tipo di raccordo curvo per tubazioni.</p>
<p>berber Any of the descendants of the pre-Arab inhabitants of North Africa. The Berbers are scattered in many tribes in Morocco, Algeria, Tunisia, Libya, and Egypt and</p>	<p>berbero Proprio di una popolazione biancobruna dell'Africa settentrionale.</p>

tend to be concentrated in desert regions of these countries.	
bronze Alloy of copper, tin and occasionally small amounts of lead and other materials	bronzo Lega costituita essenzialmente di rame e stagno. È possibile ottenerlo fondendo contemporaneamente i minerali di rame e stagno, ma un risultato migliore si ottiene con la fusione separate dei due metalli, rifondendoli nuovamente e mescolandoli in un secondo momento.
calidarium In Roman baths, a very hot room that would not only be hot but it would be steamy as well.	calidarium Ambiente termale riscaldato che comprendeva il <i>laconicum</i> e il <i>sudatorium</i> , stanze surriscaldate per i bagni di sudore, e l' <i>alveus</i> , una sorta di vasca per bagni in acqua calda.
calix Bronze nozzle or tube at least 12 digits (21.6 cm) long, and of standardized size. It was mounted in the side wall of the 'castellum' so that it received water from the tank and passed it onto the lead pipe, fixed to the other end. It governed the amount of water the user could receive, and, in the absence of water meters, was the device whereby his entitlement was officially regulated and enforced	calix (calice) Tubo di bronzo lungo poco più di 20 cm e con un diametro interno costante, che, unito ad altri con innesto a forma di coppa, serviva, all'interno del 'castello', a immettere l'acqua nelle tubazioni, per la distribuzione.
castellum Small tank (at least compared with the cisterns) located usually at the edge of the city. The aqueduct enters it as one unit and leaves it as a number of separate branches. Thus, it is a junction box marking the end of the proper aqueduct and the start of the urban distribution; it is sometimes referred to as 'the terminal <i>castellum</i> '.	castellum (castello) Costruzione generalmente situata all'inizio dell'area urbana, per la distribuzione dell'acqua alle utenze, con funzioni di "ripartitore terminale". Consisteva in una costruzione massiccia, a torre, una o più camere di decantazione e la vasca dalla quale, per mezzo di prese, l'acqua veniva ripartita e immessa nelle condutture urbane di adduzione.
chorobates A long trough of some kind that can be filled with water. It corresponds, in modern surveying, to the surveyor's level. It is used in establishing a true horizontal and is accordingly of	chorobates o corobate Il più esatto tra gli strumenti di livello; è una tavola lunga circa 20 piedi (circa 6 cm). Alle estremità presenta due bracci esattamente incastrati ad angolo retto. Fra la tavola ed i bracci vi sono delle

cardinal importance in levelling and establishing gradients.	traverse tenute insieme da perni. Syulle traverse devono essere segnate delle linee esattamente perpendicolari mentre dalla tavola devono pendere due fili a piombo. Se i due fili toccheranno insieme ed esattamente le linee segnate, lo strumento sarà in posizione orizzontale.
chute A tube of passage down which people can drop or slide things.	scivolo Piano inclinato di legno, muratura o metallo sul quale si fa scorrere del materiale
Cistern Essentially a masonry tank, either built at ground level or excavated a little below it. It is fed from above and is normally used to collect and store rainwater, either from the roofs of associated buildings or from the surface run-off from the ground. In agricultural or industrial use, it was a simple reservoir.	cisterna Costruzione in muratura, in genere almeno in parte sotterranea, nella quale si raccoglie e si conserva l'acqua piovana caduta su una superficie colletttrice (tetto, terrazza, aia, ecc.). In agricoltura, è semplicemente un serbatoio per l'acqua o per altri liquidi.
cog wheel a gear wheel with metal teeth	ruota dentata ruota con denti periferici, per ingranare con altra ruota o cinghia dentata.
compartmented wheel A wheel with its discharge apertures near the axle. The total lift was no more than the wheel's radius.	ruota a cassette Ruota con cassette, fissate alla sua circonferenza.
concrete material consisting of a hard chemically inert particulate substance, known as aggregate (usually sand and gravel) that is bonded together by cement and water.	calcestruzzo Materiale da costruzione, detto anche <i>conglomerato</i> ottenuto dall'indurimento di un impasto di pietrisco o ghiaia, sabbia o pozzolana ed eventuali additivi, legati con acqua e calce o cemento.
course A continuous layer of brick, stone etc. in a wall.	corso Nelle strutture murarie, fila di elementi uguali, per lo più pietre o laterizi, allineati di regola su uno stesso piano orizzontale (detto anche <i>filare</i>).
dam A barrier made of concrete, earth, etc. built across a river to hold back the	diga Denominazione usata in passato per indicare gli argini che difendevano le

<p>water and from a reservoir. It was used for the provision of drinking water conveyed by aqueduct, for irrigation, flood control and sometimes for soil retention.</p>	<p>terre litoranee dalle acque del mare</p>
<p>diffusionism Anthropological theory which emphasizes the role of diffusion rather than independent invention</p>	<p>diffusionismo Teoria antropologica sviluppata tra l'Ottocento e i primi decenni del Novecento, secondo la quale ogni sviluppo culturale sarebbe determinato da fenomeni di migrazione, imitazione, quindi di prestito da altre culture (con un numero molto ristretto di centri di diffusione).</p>
<p>digest Collection of passages from the writings of roman jurists arranged in 50 books and subdivided into titles according to the subject matter</p>	<p>digesto Raccolta di reponsi dei più celebri giuristi romani, compilata per disposizione dell'imperatore Giustiniano.</p>
<p>dioptra A flat dis mounted on top of a pedestal or tripod. By means of two sights mounted at diametrically opposite points on the rim, the alignment and relative angles of distant points can be read off.</p>	<p>dioptra o diottra Strumento munito di un mirino e di un traguardo, usato per tracciare gli allineamenti e misurare gli angoli piani.</p>
<p>drainage In agriculture, the artificial removal of water from land. It is employed in the reclamation of wetlands, in the prevention of erosion and as a concomitant of irrigation in the agriculture of arid region.</p>	<p>drenaggio Nella tecnica idraulica, sottrazione d'acqua ad uno strato di terreno che ne è imbevuto, mediante speciali manufatti (canali a pareti permeabili o traforate, trincee, gallerie). Viene utilizzato anche nell'irrigazione e per evitare il fenomeno dell'erosione.</p>
<p>dry farming Series of techniques designed to grow crops whenever possible without watering. It was a standard technique in Roman farming.</p>	<p>aridocoltura Coltivazione di piante senza irrigazione in terreni sotto climi semi-aridi; è fondata sull'immagazzinamento di acqua nel suolo e sulla limitazione della dispersione dell'acqua per evaporazione.</p>
<p>embankement A wall or ridge of earth, stone etc.,</p>	<p>terrapieno Opera costituita da una massa di terra</p>

<p>especially made to keep water back or to carry a road over glow round. In Roman aqueducts it was used especially for damming a river.</p>	<p>accumulata, in modo da sostenersi da sola o entro strutture di sostegno. È un genere di opera largamente usata, anche dai Romani, negli acquedotti, in caso di presa diretta da un fiume.</p>
<p>entablature Assemblage of horizontal molding and bends supported by and located immediately above the columns.</p>	<p>trabeazione Struttura orizzontale, è costituita di architrave, fregio e cornice. Più genericamente, insieme degli elementi orizzontali sostenuti da colonne, pilastri e piedritti.</p>
<p>epitaph An inscription in verse or prose upon a tomb. Ancient Greek epitaph are often of considerable literary interest</p>	<p>epitaffio Iscrizione sepolcrale, spesso in forma di breve componimento in versi che per lo più contiene anche le lodi del defunto.</p>
<p>erosion removal of the surface material from the Earth's crust, primarily soil and rock debris, and transportation of the eroded materials by natural agencies from the point of removal</p>	<p>erosione Azione abrasive esercitata in vario modo sulla parte superficiale della litosfera dagli agenti naturali ossia vento, mare e ghiacci.</p>
<p>esedra In architecture, semicircular or rectangular niche with a raised seat. More loosely applied, the term also refers to the apse of a church</p>	<p>esedra Nella casa greca o romana signorile, ambiente posto davanti o vicino all'atrio completamente aperto sul lato verso il peristilio munito di sedili mobili per servire da sala di ritrovo.</p>
<p>fitting Any of various devices used to join or fit two parts together, such as pipes, engine components, or machinery.</p>	<p>raccordo Elemento tubolare, generalmente filettato alle estremità, impiegato per collegare due o più tratti non allineati di una tubazione oppure due tratti di diverso diametro: - <i>a gomito, a croce, a T, a Y.</i></p>
<p>flange A projecting edge of something, used for holding it in place or to attaching it to something else</p>	<p>flangia Piastra anulare munita di fori per i bulloni che si usa per collegare tubi.</p>
<p>forum Market place or public place of an ancient Roman city forming the center of judicial and public business</p>	<p>foro Piazza centrale nella città romana, corrispondente all'<i>agorà</i> dei greci. Di forma rettangolare, porticata circondata da basiliche, mercati e monumenti.</p>
<p>foothill</p>	<p>collina pedemontana</p>

A hill or low mountain at the base of a higher mountain or range of mountains	elevazione del terreno, piuttosto estesa situata ai margini di una catena montuosa.
friction force that resists the sliding or rolling of one solid object over another	frizione Attrito fra due corpi di cui almeno uno in movimento
frigidarium Cold room. The main function of the frigidarium was to close the pores after you were sweating in the hot room. Here you could expect to find a small plunge pool of cold water to wash off all the sweat.	frigidarium nel complesso delle terme di epoca romana, è la sala attigua al calidarium, che ospitava la vasca per il bagno freddo.
fuller One that fulls cloths	follatore Operaio addetto alla follatura dei tessuti o delle vinacce.
gearing A set or an arrangement of gears (a set of wheels with teeth on their edges), that revolve together to transmit power from a vehicle's engine to its road wheel.	rotismo o Sistema d'ingranaggi meccanismo costituito da un sistema di ruote dentate ingrananti tra loro in modo che il moto di una comporti necessariamente e determini quello di tutte le altre.
geniculus Bend that has the pipe, in the vertical plane, where the inertial trust would exert considerable pressure on the upper surface	geniculus Nella meccanica e nella tecnica, tipo di raccordo curvo per tubazioni.
gravity flow The principle of gravity flow meant that the current in the pipe was determined by the gradient. The engineer had to lay out a line avoiding both too steep a gradient and one too shallow. The slope of the tunnel is carefully surveyed to be constant.	scorrimento a 'pelo libero' Deflusso naturale dell'acqua, per forza di gravità, in una condotta a pendenza costante ed equilibrata.
groma Instrument par excellence of the roman surveyor. Its purpose was to assist in the marking out of boundaries and alignment across the land, essentially it was nothing more than a square to mark off right angles	groma Strumento di agrimensura usato per la ripartizione agraria delle terre ai coloni. Esso era costituito da due bracci uguali e perpendicolari fra loro, imperniati su un'asta infissa nel terreno e portanti alle estremità quattro fili a piombo.
gully Trench cut into land by the erosion of an accelerated stream of water. Various	gola Forma propria delle regioni montuose, consistente in un'incisione profonda

<p>conditions make such erosion possible: the natural vegetation securing the soil may have been destroyed by human action, by fire, or by climatic change, or an exceptional storm may send in torrents of water down the streambed</p>	<p>del suolo, con pareti molto ripide o addirittura verticali sul cui fondo scorre per lo più un corso d'acqua.</p>
<p>junction Element joining two or more things. In laying out the network of piping, junctions were often necessary where a pipe divided into two, or a branch was taken off to serve some individual house. This could be done to join a small pipe to a large one. It could be done at right-angle, to form a T-joint or, if the pipe were running in the same direction, the branch could be brought at an angle, for the joint to form a compress Y</p>	<p>raccordo Nelle costruzioni Meccaniche, elemento di giunzione delle condutture nelle reti di distribuzione di acqua, gas, fognature, oleodotto ecc..., che permette l'unione sotto diverso angolo dei tratti di tubo; è pertanto caratterizzato dalle dimensioni dei tubi da raccordare, che definiscono l'imboccatura, e dall'angolo di raccordo, il quale conferisce la forma esterna da cui riceve il nome particolare (raccordo ad Y e a T).</p>
<p>hectare (abbr.: ha) A measure of area in the metric system, equal to 100 ares, or 10,000 square metres.</p>	<p>ettaro Unità di misura di superficie agraria (simbolo ha) pari a 100 are, cioè 10.000 m².</p>
<p>horizontal mill A set of paddle or blades arranged horizontally and turned by a jet of waer playing on to them on one side.</p>	<p>mulino orizzontale Tipo più semplice di mulino. All'estremità inferiore di un albero verticale era fissata una piccola ruota sistemata orizzontalmente, composta di pale, piatte o a cucchiaio, che venivano colpite e fatte girare da un getto d'acqua a forte pressione.</p>
<p>horsepower (hp) A unit for measuring the power of an engine, equal to the force needed to pull 550 pounds one foot per second</p>	<p>Cavallo vapore (CV) Unità di misura della potenza nel sistema tecnico, pari a 735,5 W. Il CV britannico (hp, horsepower) corrisponde a 745,7 W (ca 1,01 CV)</p>
<p>hypocaust Open space below a floor that is heated by gases from a fire or furnace below and that allows the passage of hot air. This type of heating was developed by the Romans who used it, in the rooms of the baths but also in private houses.</p>	<p>ipocausto Intercapedine posta sotto il pavimento delle terme e delle case signorili romane entro la quale veniva immessa l'aria calda di una fornace per riscaldare i locali nei mesi freddi.</p>
<p>inch (abbr.:in) A measure of length, equal to 2.54 cm</p>	<p>police Unità di misura di lunghezza anglossassone, il cui simbolo è " e che risulta pari</p>

<p>or one twelfth or a foot. It is indicated with the symbol: “</p>	<p>a 1/12 di piede e a 1/36 di iarda ossia 2,54 cm.</p>
<p>inverted siphon A pipe, tube etc., with the bend or elbow at the bottom, like the letter U, used for running the water, it goes down one side, across the bottom and up to the other side. It will commence and continue running automatically as soon as water is admitted.</p>	<p>sifone rovescio Sistema di conduzione a pressione, basato sul principio dei vasi comunicanti, per portare l'acqua da un livello inferiore a uno superiore.</p>
<p>joint Junction of two or more members of a framed structure.</p>	<p>giunto Nella tecnica, discontinuità fra due elementi accoppiati di una costruzione o di una struttura. In senso concr., l'organo che realizza un accoppiamento, o una giunzione in genere.</p>
<p>latrine A toilet in a camp, etc., especially one made by digging a hole in the ground. In Roman baths, toilet in which occupants sat on marbled seats.</p>	<p>latrina Locale fornito di apparecchiature igieniche, specialmente ad uso pubblico. Nell'antica Roma erano strutture a carattere monumentale, che aveva bisogno di grandi quantitativi di acqua. Le latrine erano ubicate nei pressi o all'interno dei più importanti luoghi aperti al pubblico: i teatri, gli anfiteatri, le terme ed i fori.</p>
<p>lead A chemical element. Lead is a heavy soft metal, dull grey in colour, used es. Formerly for water pipes or to cover roofs. It can also be added to petrol or used as a shield against dangerous radiation.</p>	<p>piombo Elemento chimico di simbolo pb. Metallo di color bianco bluastrò che all'aria diventa rapidamente opaco per la formazione di ossidi e carbonati. È presente in natura in numerosi minerali, il più importante, la galena, dalla quale principalmente si esrae. Viene usato nella fabbricazione di contenitori deformabili, tubazioni ecc.</p>
<p>levelling Process of determining the heights of points or of ensuring that they are at the same height.</p>	<p>livellazione Operazione topografica avente lo scopo di determinare la differenza di livello esistente fra due punti della superficie terrestre.</p>
<p>lid In Roman aqueducts cover of the hole intended either for inspection and</p>	<p>tombino Aperto sulla verticale dello speco e risultante generalmente dalla</p>

cleaning or to enable the workman to get his hand inside during installation.	conservazione dei pozzi e serviva per lo scavo in galleria del condotto stesso.
limestone A type of white rock, containing Calcium, used as a building material and in making cement.	pietra calcarea Roccia sedimentaria, costituita essenzialmente di calcite, usata come pietra ornamentale o da costruzione, per la produzione di calce viva e di alcune varietà di cementi.
marble Granular limestone or dolomite that has been recrystallized under the influence of heat pressure and aqueous solutions.	marmo Roccia calcarea che per effetto dinamico o di contatto ha assunto struttura cristallina a grana uniforme, in grado di acquistare una buona levigatura.
mile A unit of distance equal to 5000 feet or 1478 m.	miglio Misura lineare corrispondente a 1000 passi (o 5000 piedi) pari a m. 1478.
mill A building fitted with machinery or apparatus for grinding grain into flour.	mulino Edificio in cui si esegue la macinatura del grano e di altri cereali; anche la macchina che effettua tale operazione.
mill-pond A pool of water used especially formerly, for the operation of a mill.	bottaccio Bacino di raccolta delle acque che alimentano un mulino.
millrace A canal in which water flows to and from a mill wheel	gora fossato o canale che serve a scopi diversi, specialmente a portare l'acqua da un fiume ad un mulino.
millstone Either of a pair of flat circular stone used, especially formerly, for grinding grain.	macina Ciascuna delle due grosse mole di pietra, una sovrapposta all'altra, usate per polverizzare i cereali, frangere le olive e simili.
natatio Large swimming pool in Roman baths	natatio Grande piscina all'aperto delle terme romane.
noria A water wheel with buckets attached to its rim for raising water from a stream into irrigation	noria Macchina per il sollevamento di liquidi, costituita da una serie di tazze o secchie collegate a una catena o a un nastro che si avvolge su una puleggia motrice.
oppidum A fortified site, especially when speaking of the Roman period.	oppidum Opera di difesa militare, fortificazione che ha lo scopo di far sì che i pochi si difendano dai molti aumentando il

	valore difensivo. Può essere permanente, provvisoria o campale.
<p>overshot wheel It is turned by water delivered from a chute to its upper rim and is turned not only by the horizontal impulse of on-rushing water, as in the undershot, but also by gravity as the water cascades to a lower level. It operates at higher efficiency</p>	<p>ruota per di sopra Più efficiente rispetto al mulino verticale da sotto, si ottiene facendo cadere l'acqua dall'alto sul quadrante superiore della ruota entro cassette fissate alla circonferenza. In questo caso era il peso dell'acqua, più che il suo impatto a far girare la ruota.</p>
<p>pillar A tall upright piece of stone, wood or metal used e.g. as support for a building or an ornament or monument.</p>	<p>pilastro Elemento architettonico a base quadrata, poligonale o composita, con funzione di sostegno ad archi, volte e architravi.</p>
<p>pipe Conduit for carrying water in an aqueduct. They can be made of terracotta, lead, wood and stone. There is no evidence for bronze pipe other than the adjutages (<i>calices</i>) at the offtake points of urban domestic supply. Stone pipes also occur.</p>	<p>condotta Tubazione o sistema di tubazioni destinato al trasporto di un fluido per gravità o in pressione. Nel mondo romano i tubi erano generalmente di piombo o terracotta debitamente "incamiciati" in un conglomerato cementizio.</p>
<p>pipeline A series of connected pipes, usually underground, for transporting water. Usually, they laid one metre or more underground.</p>	<p>conduttura Complesso dei tubi o condotti che servono a portare fluidi e in particolare acqua.</p>
<p>plaster A smooth mixture of lime, sand, water, etc., that becomes hard when dry and is used for making a smooth surface on walls and ceiling.</p>	<p>intonaco Strato di malta di limitato spessore, che si applica sulla superficie delle muraure esterne o delle pareti interne, per proteggerle dall'azione degli agenti atmosferici, per impermeabilizzarle, per costituire su di esse una superficie uniforme.</p>
<p>praefurnium Furnace for the hypocaust.</p>	<p>praefurnium Bocca del forno.</p>
<p>pressure The application of force to something by something else in direct contact with it.</p>	<p>pressione Grandezza che esprime il rapporto tra la forza totale che agisce su una superficie e l'area della superficie stessa.</p>
<p>pump A device that expends energy to raise, transport or compress fluids. The</p>	<p>pompa Macchina operatrice destinata a sollevare o comunque a spostare liquidi</p>

earliest pumps were devices for raising water, such as the Roman waterwheel and the Archimedean screw	tramite organi meccanici animati da moto rotatorio o rettilineo. I primi esempi li abbiamo con le ruote idrauliche dei Romani
qanat tunnel driven into a hillside, to tap an aquiferous stratum deep inside it.	qanat Lungo canale sotterraneo, tipico dell'architettura dell'Iran.
release vent In an aqueduct, places where the air accumulated in the pipe, was accommodated.	sfiatatoi Presenti nel percorso di un acquedotto, per lo scarico delle acque, così da interromperne il deflusso a valle. Usati anche per le sacche d'aria presenti nella condotta.
rim The edge of a wheel.	corona Parte esterna di una ruota d'ingranaggio.
settling tank Basin that allows particles of earth and other sediment carried in by the water to sink to the bottom.	vasca o camera di decantazione Vasca nella quale, attraerso un improvviso rallentamento del flusso, venivano fatte depositare le impurità più grossolane.
shaduf Swim-beam like, a see-saw with the bucket permanently suspended from one end and the other end counterweighted, enabling the operator to lift the full bucket with minimal effort.	shaduf Macchina per il sollevamento dell'acqua usata in Mesopotamia fin dal 3000 a.C. ed in Egitto dal 1500 a.C.
shaft Long narrow, usually vertical, space, for entry into a mine, for allowing air into and out of a building.	pozzetto Pozzo che serviva per lo scarico del cunicolo: muniti di pedarole per la discesa ed eventualmente foderati per muratura o tufo. Servivano per le operazioni di controllo e di espurgo.
silt Sand, mud, etc., carried by flowing water and left at the mouth of a river, in a harbor etc.	limo In geologia, terriccio finissimo, portato in sospensione nelle acque ferme o correnti e da esse deposto.
Siphon A pipe, tube, etc. used for drawing liquid from one container to another, using the pressure of the atmosphere. It has to be started artificially by some outside agency, such as a pump, though once going, it will continue naturally. It has the bend or	sifone Nelle costruzioni idrauliche, condotto di adduzione che porta un liquido da un serbatoio a un altro, posto a livello inferiore. Perché il moto del fluido possa avv1ars1, deve essere innescato creando una depressione nel sifone, che permetta al

<p>elbow at the top. By siphon, a classical archaeologist refers to an inverted siphon.</p>	<p>liquido di salire fino al punto più alto, per effetto della pressione atmosferica agente sul pelo libero del serbatoio a monte per poi discendere nel rimanente tratto fino a cadere nel serbatoio a valle.</p>
<p>sleeve A tubular part (as a hollow axle or a bushing), designed to fit over another part.</p>	<p>manicotto Giunto dalla forma di un cilindro cavo usato per collegare longitudinalmente tubi o barre o per trasmettere il moto rotatorio fra due alberi coassiali.</p>
<p>sluice (Also, sluicgate, slice valve). A sliding gate or other devices for controlling water flow out of or into a canal, lake, etc.</p>	<p>chiusa Opera di sbarramento di un Corso d'acqua per trattenere le acque in un bacino o forzare il flusso dell'acqua in un canale derivatore in genere dotata di porte o saracinesche per la regolazione del livello.</p>
<p>static pressure Product of the depth of the pipe below natural waters level and is exerted whether the water is moving or not.</p>	<p>pressione statica Pressione che si ha all'interno di un fluido in condizioni di quiete.</p>
<p>storage reservoir Reservoir from which aqueduct drew its water (<i>caput aquae</i>) It was employed, where daily need were found to exceed the daily discharge; it would enable surplus water to be accumulated.</p>	<p>serbatoio di raccolto Inizio di un acquedotto o <i>caput aquae</i>, nel caso di sorgenti di superficie o di presa diretta da un fiume. Creato quasi sempre con dighe e sbarramenti artificiali. Servivano a regolare l'immissione delle acque.</p>
<p>stratum Layering that occurs in most sedimentary rocks and in those igneous rocks formed at the Earth's surface as from lava flows and volcanic fragmental deposits</p>	<p>Falda In geologia, accumulo di materiali rocciosi incoerenti che si forma al piede delle pareti rocciose.</p>
<p>tepidarium In Roman baths, a warm room with a warm pool; after you had got undressed, you would go there to prepare yourself for the sauna.</p>	<p>tepidarium Ambiente delle terme romane destinato al bagno in acqua tiepida, fornito di un complesso sistema di riscaldamento.</p>
<p>terrace A raised level area of ground or a series of these into which the side of a hill is</p>	<p>terrazza Ripiano orizzontale di natura rocciosa o costituito dall'accumulo di materiali</p>

shaped so that it can be cultivated	detritici, a una quota più elevata rispetto a quella del terreno circostante.
terracotta Clay that has been baked but not glazed, used for making pots, etc.	terracotta Materiale ceramico ottenuto con argilla comune, modellata e cotta al forno. Trova impiego nella fabbricazione di materiali edilizi, vasellame, etc.
topsoil Surface soil, usually including the organic layer, in which plants have most of their roots and which the farmer turns over in plowing.	Soprassuolo Strato più superficiale del terreno, attraversato dalle radici delle piante.
trachite Light coloured, very fine-grained extrusive igneous rock that is composed chiefly of alkali feldspar with minor amounts of dark coloured minerals such as pyroxene	trachite Roccia vulcanica di colore grigiastro, e di composizione analoga a quella della sienite.
treadmill A large upright wheel turned by the weight of people or animals, trading on steps round its inside edge, and used to drive machinery.	ruota a pale ruota munita di pale (azionata da uomo o animale) destinata a utilizzare l'energia cinetica di una corrente fluida, liquida o gassosa, per ottenere lavoro meccanico.
tufa A volcanic rock of varying hardnesses, some soft enough to be worked with bronze tools. Famous for being used by the Romans.	tufo Roccia morbida di colore bruno-rossiccio, di origine vulcanica adatta per costruzioni e diffusa nell'Italia centro-meridionale. Usata nelle colonne, nei templi e nelle basiliche più antiche.
tympanum It is basically just a sectioned cylinder which is rotated. It has a number of pie-slice shaped chambers, each of which has an intake hole at the outer edge and an outlet hole near the centre	timpano Antico congengo idraulico costituito da una ruota a tamburo che girando sollevava l'acqua fino all'altezza del proprio asse.
undershot wheel Wheel built with its lower edge dipping into the river and rotated by the natural current pushing past it. It is the easiest to build, but it does need a strong and rapid stream and is in any way of low efficiency.	ruota per di sotto Ruota a palette radiali piane fissata alla circonferenza, azionata dall'impatto dell'acqua che fluiva lungo la sua parte inferiore spingendo contro le palette stesse.

<p>vent hole Hole intended for cleaning out the pipe, perhaps by some sort of pull-through device or they may have been connected with the release of air pressure.</p>	<p>apertura di areazione Aperure che nell'acquedotto erano servite per lo scavo, poi rimaste in funzione per la manutenzione e la ventilazione.</p>
<p>vertical mill Form of waterwheel now generally familiar. It is mounted on a horizontal axle that then employs gearing to transmit the drive through a right-angle up to the millstone above.</p>	<p>mulino verticale Ruota a palette radiali piane fissate alla circonferenza. La grande novità, rispetto al mulino orizzontale, era la presenza di ingranaggi che permettevano di ribaltare su un asse verticale il movimento fornito da un albero orizzontale; questo era possibile grazie ad una ruota dentata, lubecchio, fissata ad una delle estremità dell'asse della ruota idraulica.</p>
<p>viaduct A long bridge, usually with many arches, carrying a road or railway across a river. Romans used them.</p>	<p>viadotto Opera di ingegneria, non diversa strutturalmente da un ponte, ma composta da una successione di archi o da travature poggianti su piedritti, mediante la quale una strada ordinaria supera una valle, una depressione, ecc.</p>
<p>wadi A valley or channel that is dry except when it rains (in the Middle East and North Africa).</p>	<p>uadi Corso d'acqua a regime temporaneo, proprio dell'Africa settentrionale e dell'Arabia, con alveo sempre asciutto tranne durante la stagione delle piogge</p>
<p>water table Level at and below which water is found in the ground.</p>	<p>livello freatico L'altezza raggiunta dalla falda freatica.</p>
<p>waterwheel A wheel turned by a flow of water, used especially formerly to work machinery. It consisted of a number of pots tied to the rim of a wheel that was caused to rotate about a horizontal axis by running water or by a treadmill.</p>	<p>ruota o turbina idraulica Ruota di grandi dimensioni munita di cassette, palette o altri dispositivi, usata per sollevare acqua ad uso irriguo, o per produrre forza motrice sfruttando un salto dell'acqua.</p>

app

SECTION FRANÇAISE

INTRODUCTION

Approvisionnement en eau des Romains.

Rome et son rapport millénaire avec l'eau : aqueducs, fontaines, bains, latrines, sans oublier les "nasoni", sont quelques-uns des symboles de Rome, appelée dans l'Antiquité la reine des eaux (*Regina Aquarum*) ; une histoire dont Rome et ses eaux ont été les protagonistes pendant des millénaires et de laquelle nous avons encore beaucoup à apprendre en termes de gestion et d'économie.

Les aqueducs romains et leurs prédécesseurs

Rien de tout cela n'aurait existé sans l'un des monuments symboliques de la Rome antique, les aqueducs. En effet, comme nous le verrons par la suite, la vie des aqueducs, des thermes et des fontaines est extrêmement liée.

L'expansion, de plus en plus importantes, de l'Empire romain et l'augmentation de la population ont obligé Rome à trouver de plus en plus de sources où capter l'eau et à définir une organisation minutieuse de l'approvisionnement en eau. À l'époque impériale, la gestion de l'eau et l'entretien des aqueducs étaient confiés directement au prince assisté d'un conservateur des eaux (*curator aquarum*). Frontin¹⁶, *curator aquarum* (ministre de l'eau) à l'époque de Nerva, les décrit comme "la plus haute manifestation de la grandeur de Rome¹⁷". Denys d'Halicarnasse, célèbre rhéteur de l'époque de Nerva et de Trajan, dit également : "Il me semble que la grandeur de l'Empire romain se révèle admirablement en trois choses : les aqueducs, les routes et les cloaques¹⁸". Rome était la ville la plus riche et la mieux servie par le précieux élément.

Comme preuve de cet aspect spécial et particulier de la civilisation et de l'image de Rome, il reste encore dans la campagne romaine les ruines imposantes de ces

¹⁶ Écrivain sur les questions techniques et militaires et magistrat romain. *Curator aquarum de Rome en 97-98 AD.*

¹⁷ *De Aquaeductu Urbis Romae*, Sextus Julius Frontinus, fin du 1er siècle après J.-C.

¹⁸ *Antiquités romaines*, III ; 13. Denys d'Halicarnasse, 7 ans avant Jésus-Christ.

monuments des eau, si caractéristiques, que Goethe appelait "*une succession d'arcs de triomphe*". Il convient de rappeler que ces mêmes aqueducs restent également parmi les documents et les témoignages les plus caractéristiques et les plus spectaculaires de la présence de Rome dans toutes les anciennes provinces de l'Empire, avec des exemples extraordinaires : de celui de Ségovie, Mérida, Tarragone, en Espagne, à celui de Nîmes (le fameux Pont du Gard dont nous parlerons plus tard) en France ; de ceux d'Éphèse et d'Aspendos en Asie Mineure à celui de Carthage en Afrique.

Les Romains ont certainement amené les aqueducs à la monumentalité que nous tous connaissons aujourd'hui et à un degré de perfection qui ne sera égalé que par ceux des temps modernes. Cependant, certaines populations ont construit des aqueducs bien avant les Romains. A. Trevor Hodge a longuement parlé des *qanats*, un système de canaux souterrains qui a vu le jour dans l'ancienne Perse pour apporter de l'eau à une terre de tous connaissons come aride. Grâce à la domination arabe, des vestiges des *qanats* peuvent encore être admirés à Palerme. Ce mot signifie en fait "canal". Ce système consistait en des tunnels verticaux, comme des puits, reliés par un canal souterrain en légère pente. L'eau est ainsi transportée par gravité. Au Moyen-Orient, les *qanats* sont encore utilisés actuellement. Des vestiges des *qanats* ont également été découverts récemment dans les Abruzzes et en Calabre. L'Unesco elle-même a prévu un accord pour leur entretien et leur préservation, avec l'intention d'explorer de nouvelles solutions ou de réutiliser les anciens systèmes pour atténuer les effets du changement climatique, notamment dans les zones les plus sèches de la planète. Malgré son déclin au cours des dernières décennies, le système des *qanats* est revenu sur le devant de la scène.

Les Grecs aussi ont construit des aqueducs avant les ingénieurs romains. Il suffit de mentionner l'aqueduc taillé dans la roche qui alimentait Samos au VI^e siècle avant J.-C. ; cependant, le premier aqueduc grec doté d'une conduite étanche fut celui de Pergame, avec son remarquable siphon de 190 mètres, construit sous le règne d'Eumène II.

Au début de l'histoire de Rome, la population recueillait l'eau nécessaire aux activités quotidiennes en puisant dans les ressources en eau les plus proches, comme le Tibre et l'Aniene. On compte que pendant la période de plus grande expansion de l'Empire romain, à l'époque de Trajan, au III^e siècle après J.-C., Rome comptait jusqu'à onze aqueducs. Les aqueducs étaient nommés en fonction de l'eau qu'ils transportaient, de l'empereur ou du fonctionnaire qui avait fait exécuter les travaux.

Les principaux aqueducs de la Rome antique étaient, en ordre chronologique, l'Aqua Appia, l'Aqua Anio Vetus, l'Aqua Marcia, l'Aqua Tepula, l'Aqua Iulia, l'Aqua Virgo, l'Aqua Alsietina, l'Aqua Claudia, l'Anio Novus, l'Aqua Traiana et l'Alexandriana. L'*Aqua Appia* doit son nom au magistrat qui l'a fait conduire en captant sa source à un peu plus de 10 kilomètres de Rome. L'*Anio Vetus*, construit entre 272 et 269 avant J.-C., est le premier à avoir son origine dans la vallée de l'Aniene, qui est restée le plus grand réservoir d'eau de Rome. En 144 avant J.-C., le Sénat charge le préteur Quintus Marcius d'en construire un troisième, qui prend son nom : *Aqua Marcia*. Avec cet aqueduc, Rome était sûre de disposer d'une eau réputée pour sa pureté et, pour la première fois, une route était surélevée au moyen d'arches. L'eau de l'Aqua Tepula, provenant des Colli Albani, alimentait le quatrième et dernier aqueduc de l'époque républicaine, avec un débit modeste et la particularité d'avoir une température " tiède ".

À l'époque d'Auguste, trois nouveaux aqueducs ont été construits. Le premier a été construit par Agrippa, homme de confiance d'Auguste, en 33 av. J.-C., l'aqueduc l'Aqua Julia. Puis ce fut le tour de l'aqueduc de l'Aqua Virgo, qui a toujours fonctionné et qui alimente toujours la fontaine de Trevi et la fontaine des quatre fleuves sur la place Navone, ainsi que la fontaine de la Barcaccia sur la place d'Espagne. Le principal objectif de l'Aqua Virgo était d'alimenter les thermes d'Agrippa. En 2 av. J.-C., c'est Auguste lui-même qui fait construire l'*Aqua Alsietina*. En 38 après J.-C., Caligula fit construire deux autres aqueducs, mais ils furent achevés par Claude, qui donna son nom au plus important des deux. L'autre, qui prenait l'eau directement de la rivière Aniene, a été nommée *Anio Novus*. La série spectaculaire des aqueducs de Rome a été achevée par Alexandre Sévère. Tous ces aqueducs étaient capables d'alimenter :

11 grandes thermes, 856 bains mineurs, 15 fontaines monumentales, 2 naumachies¹⁹, 3 lacs artificiels ou grandes piscines.

On peut imaginer à quel point l'administration des eaux de Rome était complexe et Frontin donne de nombreuses informations sur l'organisation et le fonctionnement de ce bureau, qui était composé de personnel technique, administratif et exécutif. Le rôle joué par les *architecti*, ingénieurs hydrauliques, est particulièrement important ; il y avait également des spécialistes en différentes, des *libratores* "mesureurs" aux *plumbarii* "ceux qui positionnaient". L'opération s'effectuait avec des "contrats" (locationes), qui comportaient des obligations particulières pour les entrepreneurs (*redemptores*) et impliquaient une "épreuve" (*probatio*) à la fin des travaux.

La base de toute réalisation était, bien entendu, la recherche des sources et des nappes phréatiques à utiliser. Ils devaient tenir compte de différentes exigences : la qualité de l'eau, son abondance et la régularité de son débit, les possibilités de l'exploiter et de la capter, et l'altitude elle-même. Les aqueducs avaient à leur entrée des bassins de captage (*caput aquae*) qui servaient à régler l'arrivée de l'eau. Dans le cas des nappes phréatiques souterraines, en revanche, un véritable "système" articulé de puits et de tunnels a été utilisé, permettant d'atteindre et de franchir chaque ruisseau. De ce bassin, ou du bassin de collecte, l'eau passait généralement dans un bassin de décantation (*piscina limaria*) dans lequel les impuretés étaient déposées. C'est de là que partait le canal proprement dit, qui avait la particularité d'avoir une légère pente, toujours constante, de sorte que l'eau coulait naturellement, comme on dit, "à flot".

L'ingénierie antique, en effet, pour des raisons d'économie et de commodité, préférait de ne pas recourir au système des siphons, et plus précisément des siphons inversés, à cause des grandes pressions qui se seraient produites dans les conduites forcées : des tuyaux ayant les diamètres requis pour les grandes canalisations auraient été trop coûteux et peu sûrs. Les "*fistules*" étaient généralement en plomb, mais si elles étaient bien adaptées pour leur flexibilité, elles avaient une faiblesse

¹⁹ Dans l'Antiquité classique, notamment chez les Romains, spectacle reproduisant, sur un plan d'eau naturel ou artificiel, une bataille navale. Le terme désignait également le bâtiment utilisé pour ce type de spectacle

dans les soudures extrêmement défectueuses. D'autre part, l'acier ne pouvait pas encore être travaillé et le bronze était trop cher. Le parcours du canal (*specus*) était souterrain dans la mesure du possible (*rivus subterraneus*). Pendant la phase de construction, le tracé était indiqué au sol par une série de poteaux, alignés à l'aide d'une sorte de théodolite, la *dioptra*. Le tracé de chaque aqueduc était accompagné en surface de bornes qui le délimitaient et assuraient sa zone de protection sur les côtés. Des routes de service, généralement pavées, la bordaient. Le parcours souterrain était également marqué, en surface, par des regards d'accès : il s'agissait de ceux utilisés pour le creusement du conduit lui-même et ensuite resté en service pour assurer la maintenance. On inspectait et on purger les canaux par leur intermédiaire. L'abondance et la consistance du matériau extrait étaient devenues telles qu'il fut utilisé comme pierre de construction pour les bâtiments édifiés pendant l'Antiquité tardive le long de ces routes. Le parcours d'un aqueduc se terminait par un "château" terminal ou principal (*castellum aquae*), qui était une construction massive en forme de tour contenant une ou plusieurs bassins de décantation et le bassin à partir duquel l'eau était distribuée et alimentait les conduites urbaines pour l'approvisionnement des utilisateurs. Les prises d'eau étaient constituées de tuyaux en bronze (*calices*) avec une bouche en forme de calice.

Comme mentionné précédemment, les Romains ont laissé, dans toutes les provinces de l'Empire, des traces grandioses de leurs aqueducs. Un exemple important de ces témoignages est l'aqueduc de Nîmes en France, construit par Agrippa, gendre d'Auguste, en 19 av. J.-C. pour alimenter la ville de Nîmes en eau potable. Il a été construit par l'empereur Claude en 60 av. J.-C.

La partie la plus monumentale de cet aqueduc de 50 km de long est le pont qui enjambe la rivière Gard, atteignant une hauteur de 40 mètres au-dessus du niveau de l'eau. Construit selon une méthode d'arcs parallèles juxtaposés, ce monument a une importance à la fois technique et esthétique. Le premier ordre de six arcs a une longueur de 142 mètres, le deuxième de 11 arcs a une longueur de 242 mètres et le troisième de 35 arcs a une longueur de 275 mètres. Cette méthode permettait de réduire les coûts, car il suffisait d'un seul échafaudage en bois pour la construction de

chaque voûte, qui soutenait ensuite chaque arc au fur et à mesure de sa construction. Les arcs et les voûtes du Pont du Gard ont été construits en maçonnerie sans mortier. Une pierre de couleur jaune a été utilisée pour la construction, dont les blocs pesaient jusqu'à six tonnes chacun lorsqu'ils étaient posés à sec. La grande invention de l'arc (apprise des Étrusques) a permis la construction d'une telle œuvre d'art. Le Pont du Gard est le pont-aqueduc le plus beau et le mieux préservé de tout le monde romain et est classé au patrimoine mondial par l'Unesco.

Aqueducs des papes et *expositions* de l'eau

Après la chute de l'Empire romain, les aqueducs ont également décliné et n'ont plus été utilisés. Il a fallu attendre la Renaissance et la décision des papes de réutiliser et d'agrandir les anciens canaux. Ces travaux de restauration et de rénovation ont conduit à la monumentalisation des fontaines placées comme une "exposition", c'est-à-dire le point final de l'aqueduc. Certains d'entre eux sont aujourd'hui admirés par des touristes du monde entier. Des fontaines-expositions de l'époque romaine, il ne reste malheureusement pas grand-chose ; celles que nous voyons actuellement, comme nous l'avons dit, sont précisément le résultat de travaux de rénovation effectués entre le XVIe et le XVIIIe siècle. La plus connue d'entre elles est la célèbre fontaine de Trevi, qui n'est autre que l'*exposition* terminale de l'aqueduc de l'*Aqua Virgo*. Les travaux de restauration de l'eau de l'*Aqua Virgo* ont été commencés par Leon Battista Alberti, un technicien de Nicolas V, et achevés des siècles plus tard par Grégoire XVI. Au XVIe siècle, le pape Sixte V a construit l'aqueduc Felice Peretti en réutilisant des parties de l'ancien aqueduc Alexandrin. La magnifique fontaine de Moïse, située sur la Piazza San Bernardo, est son exposition terminale. Paul V né Camillo Borghese chargea Jean Fontana et Carlo Maderno de restaurer l'ancienne *Aqua Paola* et de construire la fontaine "*exposition*" de célébration, le célèbre « Fontanone del Gianicolo ». Le quatrième aqueduc papal est le Pio-Antico Marcio, commandé par Pie IX qui demanda la restauration des eaux de l'*Aqua Marcia* et qui voit dans la Fontaine des Naïades (dans l'ancienne piazza Esedra, aujourd'hui Repubblica) son *exposition*

terminale. Un lien étroit existe donc entre les célèbres aqueducs romains et les fontaines de Rome.

Pour trouver la preuve de ce lien éternel entre Rome et l'eau, il suffit de se promener dans le centre (et au-delà) et vous allez remarquer une série infinie de petites fontaines, que les Romains appellent affectueusement "nasoni" en raison de leur forme. Jusqu'à récemment, l'eau y coulait sans interruption, prête à soulager ses visiteurs pendant les chaudes journées d'été, tout comme elle le faisait certainement à l'époque romaine. Tout cela nécessitait d'énormes quantités d'eau, dont Rome disposait heureusement. Les techniques de construction romaines ont fait le reste, nous laissant de merveilleux chefs-d'œuvre d'ingénierie et d'architecture.

Les thermes

L'importance des aqueducs tient au fait que, sans eux, les thermes n'auraient pas existé non plus, autre grand symbole de la romanité, lieu de prédilection des Romains pour passer une bonne partie de la journée après une matinée passée sur le forum. En 33 av. J.-C., Agrippa, qui était un édile et avait donc la tâche de superviser les bains publics, a rendu sa magistrature célèbre par un acte de libéralité : il a garanti la gratuité des bains publics des villes, au moins pendant l'année de son édit. Agrippa fit également construire un nouveau type de bain, qui fut nommé *thermae*. Les zones pour les bains étaient disposées en succession fonctionnelle : près de l'entrée se trouvaient les vestiaires (*apodyteria*), puis des salles chauffées avec des températures élevées d'environ 60 degrés qui provoquaient la transpiration comme dans le *hammam* (la *sudatoria*, *laconica*), ensuite une pièce chaude (le *calidarium*), puis une salle intermédiaire (le *tepidarium*), et enfin une salle froide (qui était souvent déconseillée aux femmes), le *frigidarium*, complétée par la piscine, généralement située en plein air, la *natatio*. Le concept de natation n'était pas encore connu, donc la *natatio*, par exemple, était utilisée souvent pour se détendre et bavarder. Les bains publics avaient également une importance sociale. C'était le lieu où tout le monde partageait le même espace, riches, pauvres ou affranchis. Sous le niveau du sol, il y avait un vaste réseau de tunnels et de salles de service. C'est là où se trouvaient les fours qui

chauffaient l'eau, contenue dans des citernes métalliques, et en même temps l'air qui était canalisé dans les cavités sous les planchers (*hypocausta*). En plus des thermes proprement dits, il y avait des gymnases, des bibliothèques, des jardins, etc. Le peuple se rendait aux thermes non seulement pour prendre soin de son corps, mais aussi pour le plaisir de l'esprit, divertissement et la détente « *mens sana in corpore sano*²⁰ ».

De nombreux empereurs se sont lancés dans la construction de *thermae*, car ils étaient utilisés comme un instrument de propagande et un symbole de la prospérité du peuple. Parmi eux, Titus, Trajan, Caracalla et Constantin, mais les plus grands sont certainement ceux de Dioclétien, dont nous pouvons encore admirer l'extension aujourd'hui.

Après l'abandon des aqueducs à la chute de l'Empire romain, la vie même des thermes a été mise en danger, car leur source d'approvisionnement en eau a été perdue. C'est là que la créativité et le sens pratique du peuple romain entrent en jeu. Beaucoup de ces structures ont été transformées et utilisées pour d'autres usages. Un exemple que nous connaissons tous est l'église de « Santa Maria degli Angeli ». Elle a été conçue par Michel-Ange à 86 ans et commandée par le pape Pie IV de Médicis. Cette église a été construite en laissant intacte la structure des thermes romains, en utilisant la zone utilisée pour le *frigidarium* et le *natatio*.

Fullonicae et latrines

Avant de conclure, on doit obligatoirement parler des *fullonicae* et des latrines, deux autres services qui ont nécessité d'énormes quantités d'eau et ont contribué à la recherche constante de nouvelles sources pour répondre aux besoins de la population.

Les *fullonicae* étaient les ateliers où les tissus étaient lavés. À Ostia Antica, on peut encore admirer les récipients en terre cuite et les traces des gros tuyaux qui

²⁰ locution latine tirée des Satires de Juvénal

alimentaient les baignoires. L'urine était souvent utilisée pour le lavage et était recueillie dans des récipients en terre cuite qui servaient d'urinoirs.

Les latrines étaient les bains publics des Romains. Comme nous l'avons déjà mentionné, peu de Romains pouvaient se vanter d'avoir une salle de bains dans leur propre maison et les latrines étaient donc situées dans les lieux publics les plus importants, tels que les théâtres, les thermes, etc. Elles n'étaient pas seulement un lieu pour satisfaire un besoin physiologique mais aussi un lieu de rencontre car il n'y avait pas de cloisons mais une longue dalle de marbre où se trouvaient des orifices. Le papier toilette n'existant pas encore, un Romain aurait utilisé à la place un *tersorium*, une éponge fixé au bout d'un bâton et partagée par tous, après avoir été nettoyée avec de l'eau et du vinaigre. Des restes de latrines sont encore visibles sur la colline du Janicule. Ils démontrent une fois de plus à quel point les Romains appréciaient l'hygiène personnelle.

Conclusions

Un autre élément de la gestion de l'eau dans la Rome antique qu'il est nécessaire de souligner est la récupération et la réutilisation de l'eau pour éviter le gaspillage, (et pas seulement de l'eau, comme nous l'avons mentionné plus haut), une question très actuelle aujourd'hui. À Rome, à l'entrée des demeures des seigneurs, dans l'*atrium*, on a construit des bassins ouverts, alimentés par l'eau de pluie. Le trop-plein était relié à des citernes qui permettaient de conserver l'eau au frais, dans l'obscurité et à l'abri de toute contamination, véritables réservoirs d'eau.

Les Romains comprenaient très bien l'importance de l'eau et sa valeur inestimable. Ils ont également compris qu'elle devait être administrée avec sagesse et sans gaspillage afin de répondre aux besoins d'une population en constante augmentation.

Parfois, il suffit de regarder un peu en arrière, de relire l'histoire, pour pouvoir aller vers le futur.

TRADUCTION FRANÇAIS > ITALIEN AVEC ORIGINAL À CÔTÉ

TRANDUZIONE FRANCESE > ITALIANO CON TESTO A FRONTE

LA COSTRUCTION DE L'AQUEDUC

Le savoir-faire antique et le programme nîmois

Dans sa lettre sur l'aqueduc de Nicomédie (Turquie), Pline précise que l'on a choisi une source très pure d'où l'eau pouvait être conduite à la ville dans une construction supportée par des ponts à arcades de façon à ce qu'elle ne desserve pas seulement les parties plates et basses de la ville. Le choix de la source était donc déterminé par son altitude par rapport à la ville et par la qualité de l'eau.

La construction d'aqueducs est, en réalité, commandée par des conditions de deux types : des contraintes techniques et des possibilités financières. L'aqueduc de Nîmes, avec sa cinquantaine de kilomètres de longueur, occupe une place moyenne sur la « table des records ». Mais en fait, la longueur du canal est un chiffre trompeur traduisant plutôt le manque de moyens financiers et de connaissances techniques : le canal décrit de longs détours parce que l'on est dans l'incapacité de construire des ouvrages d'art. Ce qui compte, c'est donc plutôt la distance de la source au point d'arrivée. Prenons un exemple concret : en 145 av. J.-C., à l'époque de la République romaine, le consul Marcius Rex entreprit la construction d'un aqueduc auquel il laissa son nom, l'*Aqua Marcia*, qui mesurait 91,42 km de long. Deux siècles plus tard, en 50 apr. J.-C., l'empereur Claude fit construire un nouveau canal dont la tête se trouvait à seulement 150 m du précédent ; il ne mesurait que 68,93 km. Enfin, lorsqu'en 1870 le pape Pie IX dota Rome d'un aqueduc, il utilisa les mêmes sources ; mais l'ouvrage ne nécessita que 52 km de canalisation. De telles différences s'expliquent simplement par les progrès techniques accomplis. Frontin dit d'ailleurs explicitement que, dans son temps, la construction de ponts permet de raccourcir le tracé des aqueducs : « Maintenant, toutefois, sur certains points, aux endroits où le canal a été ruiné par le temps, le canal souterrain qui contournait les vallées a été délaissé pour raccourcir et on traverse celles-ci sur murs de soutènement et sur arcades. » (18,5).

L'aqueduc de *Cæsarea* de Maurétanie (Algérie) fournit un bel exemple. Dans la vallée de l'oued Illelouïne, le tracé long primitif avait été abandonné

LA COSTRUZIONE DELL'ACQUEDOTTO

Il know-how antico e il programma di Nîmes

Nella sua lettera sull'acquedotto di Nicomedia (Turchia), Plinio precisa che è stata scelta una sorgente molto pura da cui l'acqua potesse essere portata in città in una costruzione sostenuta da ponti ad arcate in modo che non venissero servite solo le parti basse e pianeggianti della città. La scelta della sorgente era quindi determinata dalla sua altitudine in rapporto alla città e dalla qualità dell'acqua.

Di fatto la costruzione di acquedotti è regolata da due tipologie di condizioni: vincoli tecnici e possibilità finanziarie. L'acquedotto di Nîmes, con i suoi cinquanta chilometri circa di lunghezza, occupa una posizione intermedia nella «tabella dei record». Ma la lunghezza del canale, in realtà, è una cifra fuorviante e che traduce piuttosto la mancanza di mezzi finanziari e di conoscenze tecniche: il condotto descrive lunghe deviazioni poiché non si è in grado di costruire opere d'arte. Perciò, quello che conta è piuttosto la distanza tra la sorgente e il punto di arrivo. Prendiamo un esempio concreto: nel 145 a.C., all'epoca della Repubblica romana, il console Marcio Re intraprese la costruzione di un acquedotto al quale lasciò il suo nome, l'*Aqua Marcia*, che misurava 91,42 km di lunghezza. Due secoli più tardi, nel 50 d.C., l'imperatore Claudio fece costruire un nuovo canale la cui origine si trovava a solamente 150 m. dal precedente; misurava solo 68,93 Km. Infine, quando nel 1870 Papa Pio IX dotò Roma di un acquedotto, utilizzò le stesse sorgenti; per l'opera furono però necessari solamente 52 km. Di Canalizzazione. Quest differenze si spiegano semplicemente con il progresso tecnico raggiunto. D'altronde Frontino dice esplicitamente che nella sua epoca, la costruzione di ponti permette di accorciare il tracciato degli acquedotti: «Ora, tuttavia, in certi punti, in zone in cui il canale è stato rovinato dal tempo, il condotto sotterraneo che aggirava le vallate è stato abbandonato per accordare il tracciato e queste vallate vengono attraversate su muri di sostegno e su arcate» (18,5).

L'acquedotto di *Caesarea* di Mauritania (Algeria) offre un buon esempio: nella vallata dell'uadi Ilelouïne, il lungo tracciato originario era stato abbandonato a

au profit d'un tracé plus court : un grand pont d'une trentaine de mètres de hauteur recoupait une boucle de 3 km et, en amont du pont, avait été construit un système de chutes permettant à la canalisation de perdre la dizaine de mètres correspondant à la boucle.

La construction d'un aqueduc n'est certainement jamais un travail mobilisant exclusivement un personnel local ; il faut imaginer la participation de techniciens (des sortes de bureau d'études) venus de Rome. Alors qu'il était gouverneur de province en Asie Mineure, Pline le Jeune demande à l'empereur Trajan de lui envoyer un *aquiligem vel architectum* pour mener à bien la construction de l'aqueduc de Sinope (Turquie) (X, 37) : « Mais surtout, il est nécessaire que tu envoies ou un ingénieur des eaux ou un architecte pour éviter le retour de ce qui est arrivé. »

Un texte funéraire d'Arles vante les mérites d'un certain Q. Candidus Benignus « de la corporation des charpentiers d'Arles (*fabritignuarii corporati*) qui excella dans l'art de construire par son goût de la science et sa modestie, que les grands créateurs ont toujours considéré comme leur maître. Personne ne le surpassa dans la construction des machines (*orana*) ni dans la conduite du cours des eaux (*aquarum ducere cursum*). Ce fut un agréable convive, sachant régaler ses amis, un esprit porté à l'étude, une âme bienveillante ». On a mis ce document en rapport avec les techniques hydrauliques. Nous y apprenons que la construction d'*organa* - « instruments » que Vitruve distingue des machines (*De l'Architecture*, X, 3) – et la conduite du cours des eaux étaient liées et que l'on faisait appel pour l'une et l'autre à un spécialiste de la charpenterie. Mais cet écrit pose le problème de la nature des *organa* : peut-être des instruments de bois sans rapport avec la conduite des eaux que Benignus aurait confectionné, comme il mettait en place les poutres pour les vannes ou les dérivations.

Mais les sources antiques ont davantage retenu les bailleurs de fond que les hommes de l'art pour désigner les responsables d'une réalisation monumentale. En effet, le commanditaire (*auctor*) finançait un entrepreneur adjudicataire (*redemptor* ou *locator operis*) qui se chargeait du recrutement de techniciens, *librator* et *architectus* notamment. Cet

vantaggio di uno più breve: un grande ponte di una trentina di metri di altezza intersecava un meandro di 3 km e, a monte del ponte, era stato costruito un sistema di cascate che permettesse alla canalizzazione di perdere i dieci metri corrispondenti al meandro.

La costruzione di un acquedotto non è mai indubbiamente un lavoro che mobilita esclusivamente personale locale: si deve immaginare la partecipazione di tecnici (una sorta di società di consulenza) venuti da Roma. All'epoca in cui era governatore di provincia in Asia Minore, Plinio il Giovane domandò all'imperatore Traiano d'invargli un *aquiligem vel architectum* per portare a termine la costruzione dell'acquedotto di Sinope (Turchia) (X, 37): «Ma soprattutto, è necessario che tu invii o un ingegnere idraulico o un architetto per evitare il ripetersi di ciò che è avvenuto».

Un testo funerario di Arles vanta i meriti di un certo Q. Candidus Benignus «della corporazione dei carpentieri di Arles (*fabri tignuarii corporati*) il quale eccelleva nell'arte della costruzione, grazie alla sua passione per la scienza e alla sua modestia, considerato sempre dai grandi creatori come loro guida. Nessuno fu più esperto di lui: nessuno lo superò nella costruzione di macchine (*organa*) né nella canalizzazione del corso delle acque (*aquarum ducere cursum*). Era un gradito commensale, capace di mettere a proprio agio i suoi amici, uno spirito portato per lo studio, «un'anima benevola». Si è messo a confronto questo documento con le tecniche idrauliche. Vi apprendiamo che la costruzione di *organa*, "strumenti" che Vitruvio distingue dalle macchine (*De Architectura* X, 3), e l'imbrigliamento del corso delle acque erano legati e che sia per uno che per l'altra si chiamava un esperto in carpenteria. Questo scritto, però, pone il problema della natura degli *organa*: forse strumenti di legno senza relazione con l'imbrigliamento delle acque che Benignus avrebbe prodotto, nello stesso modo in cui costruiva le travature per le paratoie o le derivazioni.

Tuttavia, le fonti antiche ricordano più i finanziatori che gli esperti per designare i realizzatori di un'opera monumentale. In effetti, il committente (*auctor*) finanziava un impresario (*redemptor* o *locator operis*) che si incaricava del reclutamento dei tecnici, *librator* e *architectus* in particolar modo. Questo imprenditore era necessariamente della zona: conosceva molto bene le risorse locali in pietra da taglio, le

taille, les compétences des ateliers de taille et le savoir-faire des hommes chargés de la mise en œuvre des matériaux. Pour l'implantation du tracé, il a fait appel à un ingénieur topographe (*librator*), spécialiste de la technique romaine d'implantation des aqueducs et donc vraisemblablement étranger à la région.

Le monument de Nonius Datus à Lambèse, daté du milieu du II^e siècle, est un des rares témoins épigraphiques qui rendent compte de l'activité d'un *librator* pour établir le tracé d'un aqueduc. Celui-ci a fourni au gouverneur de Maurétanie césarienne un projet et les instructions pour sa réalisation ; cet ingénieur de la III^e légion a fait plusieurs déplacements sur les lieux à *Saldæ* (Bougie, Bejaia en Algérie) pour contrôler l'avancement du chantier, qui fut confié, au moins dans le dernier temps, à des soldats de la flotte de Césarée de Maurétanie et à d'autres troupes. L'armée intervient en effet comme main-d'œuvre, parfois même assez loin de ses bases, à la demande de villes comme Autun ou Césarée de Palestine.

Les textes dont on dispose montrent une large utilisation de la main d'œuvre militaire, au moins pour le personnel qualifié d'encadrement et de maîtrise, qui n'est d'ailleurs pas affecté exclusivement aux aqueducs. On sait le rôle joué par l'armée dans la construction des routes et dans celle des canaux. Les cas de Marius faisant construire par son armée les *Fossæ Marianæ* n'est que le plus célèbre d'une longue série. À Rome en effet, le rôle de la *militia* n'est pas seulement de faire la guerre : ce corps, qui est par définition au service de la collectivité, réponds, en temps de paix, à des besoins plus larges que la défense. Il ne s'agit pas là d'un trait particulier à l'époque romaine sous le règne de Louis XIV, Saint-Simon écrit que, de 1685 à 1688, 3000 soldats travaillèrent à la construction de l'aqueduc de l'Eure qui devait alimenter Versailles.

En Narbonnaise, cependant, il n'y a pas de garnison et, pour expliquer la présence d'un relief figurant un militaire sur l'aqueduc de Fréjus, on a supposé un renfort venu des Alpes-Maritimes, de Germanie ou bien des équipages de la flotte stationnée sur place. Dans le cas de Nîmes, le recours à la main-d'œuvre militaire n'était pas forcément nécessaire : comme on va le voir, l'architecture de l'aqueduc s'inscrit dans l'une tradition régionale. De l'exemple de Nonius Datus, retenons simplement que le concepteur de l'aqueduc était un ingénieur-

competenze delle botteghe e le conoscenze tecniche degli uomini incaricati della posa in opera dei materiali. Per l'esecuzione del tracciato, si rivolgeva ad un ingegnere topografo (*librator*), esperto nella tecnica romana della realizzazione di un acquedotto, dunque, verosimilmente estraneo alla regione.

Il monumento di Nonio Dato a Lambaesis, risalente alla metà del II secolo, è una delle rare testimonianze epigrafiche che riportano l'attività di un *librator* per stabilire il tracciato di un acquedotto. Questi ha fornito al governatore della Mauretania Cesariensis un progetto e le istruzioni per la sua realizzazione; questo ingegnere della terza legione ha effettuato numerosi spostamenti sul campo a *Saldae* (Bejaïa in Algeria) per controllare l'avanzamento del cantiere, che fu affidato, almeno nell'ultimo periodo, a dei soldati della flotta di Cesarea di Mauretania e ad altre truppe. In effetti l'esercito interviene come mano d'opera, a volte anche molto lontano dalle sue base, rispondendo alla richiesta di città come Autun o Cesarea di Palestina.

I testi di cui disponiamo mostrano un vasto utilizzo della mano d'opera militare, almeno per quanto concerne il personale qualificato e le maestranze, che d'altronde non sono utilizzati esclusivamente per acquedotti. È noto il ruolo svolto dall'esercito nella costruzione di strade e canali. Il caso di Marius che fece costruire dal suo esercito le *Fossae Mariana*e è soltanto il più conosciuto di una lunga lista. A Roma, infatti, il ruolo della *militia* non è soltanto quello di fare la guerra: questo corpo, che per definizione è al servizio della collettività, risponde, in tempo di pace, a bisogni più vasti di quello della difesa. Non si tratta di una caratteristica legata all'epoca romana: sotto il regno di Luigi XIV, Saint-Simon scrive che, dal 1685 al 1688, 3000 soldati lavorarono alla costruzione dell'acquedotto dell'Eure che doveva alimentare Versailles.

Tuttavia, nel Narbonese non ci sono guarnigioni e, per spiegare la presenza di un rilievo raffigurante un militare sull'acquedotti del Fréjus, si è supposto un rinforzo proveniente dalle Alpi marittime, dalla Germania Magna, o anche dagli equipaggi della flotta fermi sul posto. Per quanto riguarda Nîmes, il ricorso alla mano d'opera militare non era sempre necessario: come vedremo, l'architettura dell'acquedotto s'inserisce in una tradizione regionale. Dell'esempio di Nonio Dato ricordiamo semplicemente che l'ideatore dell'acquedotto era un ingegnere topografo in grado di

topographe capable d'apprécier le terrain pour l'implantation des ouvrages d'art (dans le cas de *Saldæ*, il piqueta rigoureusement sur la montagne le tracé d'un tunnel), mais dont la présence durant l'exécution des travaux ne s'imposait pas.

Le rôle de l'*architectus* est plus difficile à cerner ; les sources antiques indiquent qu'il était simplement responsable de la *proportio* (harmonie) du monument et non du choix des matériaux ni de la qualité de l'exécution qui dépendaient du *redemptor*. À Nîmes, il fut d'évidence un architecte concepteur. L'aqueduc présent, en effet, une évidente unité architecturale dans tous ses ouvrages d'art, avec des ponts en petit appareil, comme les arcades de Vers et les ponts à une arche de Remoulins, et des ponts où le grand appareil fut utilisé, comme ceux de Bornègre, de Font Ménéstière, de la Combe-Roussière et, bien sûr, le Pont du Gard. L'adaptation des choix fondamentaux à chaque cas invite à penser que l'architecte assura aussi la direction des travaux et la surveillance des différentes équipes.

En outre, une même utilisation du grand appareil dans des constructions massives se rencontre sur les trois ponts routiers d'époque romaine conservés sur le Vidourle et l'un de ses affluents, dans la cité de Nîmes, et pour lesquels on a noté des ressemblances avec le Pont du Gard : cintres prenant appui sur des corbeaux et de larges impostes à valeur décorative; voûtes en anneaux accolés, sauf au Pont Ambroix où elles sont assemblées à joints croisés ; même disposition des pierres de parement au niveau des reins de voûte, à *Ambrussum* et au Pont du Gard. Même si les traités ont favorisé la très large diffusion des techniques, le choix du type architectural est plutôt conditionné par l'activité des carriers locaux qui a dû favoriser une école régionale d'architecture. Cela suffit-il pour supposer que l'architecte-concepteur de l'aqueduc de Nîmes était un enfant de la région ? certes pas, mais c'est une hypothèse que l'on ne peut exclure. Toujours est-il que s'il était d'origine romaine ou issue d'une autre province, il paraît indéniable qu'il a été influencé dans ses choix architecturaux par des modèles antérieurs régionaux et par les techniques de taille et la mise en œuvre de la pierre en usage aux environs de Nîmes.

Les opérations préparatoires à la construction proprement dite n'ont pas laissé de traces. Il n'est donc pas possible d'apprécier ni la durée ni les modalités pratiques

giudicare il terreno per la collocazione delle opere d'arte (nel caso di *Saldæ*, picchetto rigorosamente il tracciato di un tunnel su una montagna), ma la cui presenza durante l'esecuzione dei lavori non era obbligatoria.

Il ruolo dell'*architectus* è più difficile da definire; le fonti antiche indicano che era semplicemente responsabile della *proportio* (armonia) del monumento e non della scelta dei materiali né della qualità dell'esecuzione che dipendeva dal *redemptor*. A Nîmes, fu evidentemente un architetto-ideatore. L'acquedotto presenta, in effetti, una evidente unità architettonica in tutte le sue opere d'arte, con ponti costituiti da pietre di piccole dimensioni come le arcate di Vers e i ponti ad un fornice di Remoulins, e ponti in cui è stata utilizzata l'opera quadrata (*opus quadratum*) come quelli di Bornègre, di Font-Ménestière, della Combe-Roussière, naturalmente, il Pont du Gard. L'adattamento delle scelte fondamentali ad ogni caso porta a pensare che l'architetto assicurò anche la direzione dei lavori e il controllo delle varie squadre.

Inoltre, lo stesso utilizzo dell'opera quadrata (*opus quadratum*) in costruzioni massicce, s'incontra nei tre ponti stradali di epoca romana conservati sul Vildourle e uno dei suoi affluenti, nella città di Nîmes per i quali si sono riscontrate delle somiglianze con il Pont du Gard: archi che si appoggiano su beccatelli e grandi imposte a scopo decorativo; volte ad archi giustapposti, salvo nel Pont Ambroix in cui sono assemblate a giunti crociati; identica disposizione di paramenti a livello dei fianchi della volta, ad *Ambrussum* e nel Pont du Gard. Sebbene i trattati abbiano favorito una vasta diffusione delle tecniche, la scelta della tipologia architettonica è condizionata piuttosto dall'attività dei cavapietre locali che probabilmente ha favorito il fiorire di una scuola regionale d'architettura. Ciò è sufficiente per supporre che l'architetto-ideatore dell'acquedotti di Nîmes era un nativo della regione? Certamente no, ma è un'ipotesi che non si può escludere. Comunque, se era di origine romana o proveniente da un'altra provincia, era innegabile che nelle sue scelte architettoniche è stato influenzato da modelli regionali antecedenti e dalle tecniche di taglio e di posa in opera della pietra usata nel circondario di Nîmes.

Le operazioni preparatorie alla costruzione propriamente detta non hanno lasciato tracce. Non è dunque possibile valutare né la durata né le modalità praticate

d'une phase d'étude et d'une phase d'implantation du tracé sur le terrain. Seuls les traités antiques d'arpentage et d'architecture nous fournissent des indications à ce sujet.

Dans la phase d'études préalables et de faisabilité, après avoir choisi la source, il convenait évidemment de savoir si son altitude était compatible avec celle des quartiers de Nîmes que l'on souhaitait desservir. Pour ce faire, géomètres et arpenteurs ont, en suivant les voies et chemins existants, effectué un premier cheminement altimétrique. Puis, après avoir fait débroussailler et déboiser les garrigues le long du tracé théorique retenu sur une largeur approximative de 30 m (100 pieds), ils ont réalisé un piquetage précis sur l'ensemble du tracé et, en même temps, un levé topographique. C'est à partir de ce levé que l'architecte a pu concevoir les différents ouvrages d'art qui devaient permettre au canal de conserver l'altitude adéquate à l'écoulement gravitaire et régulier des eaux.

Le coût des aqueducs

Le dossier épigraphique de l'aqueduc de Nîmes est d'une extrême maigreur. Aucune inscription ne nous livre le moindre chiffre, pas plus qu'ailleurs : une reprise récente du dossier relatif aux coûts de construction et d'utilisation des aqueducs rend la documentation épigraphique plus facilement accessible, et donc plus évident le caractère limité des données chiffrées. Observant l'absence de documentation épigraphique sur la plupart des grands aqueducs de Gaules, Y. Burnand se demandait s'il ne fallait pas y voir une raison toute simple : ces travaux auraient été dépourvus d'inscriptions dans la mesure où ils auraient été réalisés par la collectivité et à ses frais et non par un donateur soucieux de faire connaître l'acte de munificence qu'il avait accompli. Dans sa liste, il ne trouve en fait à citer que deux textes contenant des indications chiffrées. L'un fait état d'un don de 50.000 sesterces pour l'entretien d'inscriptions rappelant la donation à la colonie de Vienne d'eaux nouvelles et du parcours de ces eaux à travers leurs domaines par Q. Gelius Capella et D. Sulpicius Censor (peut-être sous le principat de Claude). L'autre atteste un don de deux millions de sesterces pour des eaux par C. Iulius Secun[d]us, un notable de Bordeaux.

in una fase di studio e nella fase di costruzione del tracciato sul terreno. Solo i trattati antichi di agrimensura e di architettura ci forniscono indicazioni a questo proposito.

Nella fase degli studi preliminari e di fattibilità, dopo aver scelto la sorgente, si doveva ovviamente sapere se la sua altitudine fosse compatibile con quella dei quartieri di Nîmes da rifornire. A questo scopo, geometri e agrimensori hanno, seguendo le vie e i percorsi esistenti, effettuato un primo percorso altimetrico. Poi, dopo aver fatto decespugliare e disboscare le garighe lungo tutto il tracciato teorico considerato su di una lunghezza approssimativa di 30 m (100 piedi), hanno realizzato un picchettaggio preciso sull'insieme del tracciato e, allo stesso tempo, un rilevamento topografico. È a partire da questo rilevamento che l'architetto ha potuto progettare le diverse opere d'arte che dovevano permettere al canale di conservare l'altitudine adeguata allo scorrimento gravitazionale e regolare delle acque.

Il costo degli acquedotti

La documentazione epigrafica dell'acquedotti di Nîmes è estremamente scarsa. Nessuna iscrizione ci svela la benché minima cifra, non più di altri luoghi: una recente riapertura del fascicolo relativo ai costi di costruzione e di utilizzo degli acquedotti rende la documentazione epigrafica più accessibile, e dunque più evidente il carattere limitato dei dati in termini di cifre. Constatando l'assenza di una documentazione epigrafica riguardo la maggior parte dei grandi acquedotti di Gallia, Y. Burnand si chiedeva se non fosse il caso di trovare a ciò una ragione semplicissima: questi lavori sarebbero stati privi d'iscrizioni dal momento che sarebbero stati realizzati dalla collettività e a proprie spese e non da un donatore preoccupato di far conoscere l'atto di generosità da lui compiuto. Nella sua lista, infatti, menziona solamente due testi contenenti indicazioni in cifre. In uno di questi viene menzionata una donazione di 50.000 sesterzi per la manutenzione di iscrizioni che ricordavano la donazione alla colonia di Vienne, da parte di Q. Gellius Capella e D. Sulpicius Censor di nuove acque e del percorso di queste attraverso i loro possedimenti (forse sotto il principato di Claudio). L'altro attesta una donazione di due milioni di sesterzi, per delle acque, da parte di C. Iulius Secun[d]us, un nobile di Bordeaux.

On peut aujourd'hui, par un calcul sommaire et rapide, se faire une idée du coût de trois aqueducs romains pour lesquels Frontin fournit des chiffres. Pour la restauration de l'*Appia* et de l'*Anio Vetus* et la construction de l'ouvrage qui porte son nom, l'*Aqua Marcia*, en 144 av. J.C., Marcius Rex avait reçu 180 millions de sesterces. L'aqueduc ayant 91.419 km avec 9578 m. d'arcades – soit un peu plus de 10% -, le coût kilométrique maximal (on ignore l'importance des sommes consacrée aux restaurations) s'élève à 1.966 million de sesterces. L'*Aqua Claudia* et l'*Anio Novus* inaugurés par Néron coûtèrent 350 millions de sesterces pour 155.656 m. de canal, ce qui porte le coût kilométrique à 2.248 millions. Pour ces deux derniers, il faut cependant tenir compte d'ouvrages d'art plus importants : 16 km. pour l'*Aqua Claudia* et 13 km pour l'*Anio Novus*, au total 28,91 km. Qui représentent près de 19% du parcours.

Ces chiffres présentent un caractère approximatif entre la construction des deux aqueducs se placent des réajustements monétaires, et on ignore si Frontin donne les chiffres d'origine ou s'il procède à des conversions en monnaie de son temps. Mais ils sont intéressants pour les ordres de grandeur car ils permettent d'évaluer l'évolution des couts, considérée comme un indicateur du progrès technique, et l'importance réelle des sommes mentionnées dans les textes (que pouvait-on construire avec telle ou telle somme ?).

Tout d'abord, ce que l'on peut considérer comme la preuve d'une stabilité des coûts en chiffres absolus (le coût kilométrique de l'aqueduc néronien est plus élevé, mais les ouvrages d'art sont plus importants) dissimule une baisse du prix de revient. En effet, les spécialistes de l'histoire de la monnaie considèrent que de 144 av. J.-C., à l'époque de Néron, les prix ont considérablement augmenté. Récemment, l'un d'eux a cherché à évaluer cette augmentation en se fondant sur le témoignage le plus significatif dont on dispose : l'évolution de la solde du légionnaire de base. Il conclut qu'elle a été multipliée par trois entre 141 av. J.-C. et l'époque d'August-Tibère quant à son libellé, et par un peu moins de deux quant à sa valeur réelle. Bien entendu, on peut discuter de la valeur de cet indicateur qui peut aussi dissimuler une amélioration de la condition militaire. Mais d'une manière générale, les numismates admettent

Con un sommario e rapido calcolo, oggi possiamo farci un'idea del costo di tre acquedotti romani per i quali Frontino fornisce delle cifre. Per il restauro dell'*Appia* e dell'*Anio Vetus* e la costruzione dell'opera che porta il suo nome, l'*Aqua Marcia*, nel 144 a.C., Marcio Re aveva ricevuto 180 milioni di sesterzi. L'acquedotto, di 91.419 m. di lunghezza e 9.578 m. di arcate – ossia poco più del 10% - il costo chilometrico massimo (non si conosce l'importanza delle somme destinate ai restauri) arriva a 1.966 milioni di sesterzi. L'*Aqua Claudia* e l'*Anio Novus* inaugurati da Nerone, costarono 350 milioni di sesterzi per 155.656 m. di canalizzazione, il che porta il costo chilometrico a 2.248 milioni. Per questi due ultimi, tuttavia, bisogna tener conto di opere d'arte più importanti: 16 km per l'*Aqua Claudia* e 13 km per l'*Anio Novus*, in totale 28,91 km che rappresentano quasi il 19% del percorso.

Queste cifre hanno un carattere approssimativo: tra la costruzione dei due acquedotti si collocano degli adeguamenti monetari, e non si sa se Frontino dia le cifre originarie o proceda a delle conversioni nella moneta del suo tempo. Comunque, sono interessanti per gli ordini di grandezza, poiché permettono di valutare l'evoluzione dei costi, considerata come un indicatore del progresso tecnico, e l'importanza reale delle somme citate nei testi (cosa si poteva costruire con tale o tal'altra somma?).

Innanzitutto, ciò che possiamo considerare come la prova di una stabilità dei costi in cifre assolute (il costo chilometrico dell'acquedotto neroniano è più elevato, ma le opere d'arte sono più importanti) nasconde una diminuzione del prezzo di costo. In effetti, gli esperti di storia monetaria ritengono che dal 144 a.C. all'epoca di Nerone, i prezzi siano considerevolmente aumentati. Recentemente, uno di loro ha cercato di valutare questo aumento basandosi sulla testimonianza più significativa a disposizione: l'evoluzione della paga del legionario semplice. Giunge alla conclusione che tra il 141 a.C. e l'epoca di Augusto-Tiberio, per quanto riguarda il valore nominale, essa sia stata moltiplicata per tre, e per poco meno di due per quanto riguarda il valore reale. Naturalmente, si può anche mettere in dubbio il valore di quest'indicatore che può anche celare un miglioramento della condizione militare. In linea generale, i

l'idée d'une dépréciation qui explique l'abandon progressif des petites unités de bronze dans le système monétaire. Il en résulte qu'en termes de pouvoir d'achat, les aqueducs de l'époque Claudio-néronienne ont coûté nettement moins cher que l'*Aqua Marcia*. Une seule explication paraît vraisemblable : la réduction des coûts de fabrication due aux progrès techniques.

Que permettaient de faire les sommes indiquées par les inscriptions ? Au début du II^e siècle apr. J.-C. – ce qui autorise une comparaison avec le coût des aqueducs de l'époque de Néron – les 3,5 millions perdus par les gens de Nicomédie (Pline le Jeune X, 37) n'auraient correspondu qu'à moins de 2km. De canal. Le don de deux millions de sesterces pour des eaux de Bordeaux, vu la médiocrité de la somme, peut-il correspondre à l'établissement d'un système complet d'adduction et de distribution, comme en a été formulée l'hypothèse ? On peut en douter vu les coûts indiqués précédemment. Cependant, un regard attentif sur le tracé d'aqueducs d'Aquitaine comme ceux de saintes et de Périgueux incite à la prudence : il s'agit de canalisation d'un faible gabarit dont le coût de construction est très inférieur à celui des « grands aqueducs » auxquels on serait tenté de les comparer. Les fouilles du Vallon des Arcs à Fontvieille permettent de visualiser de telles différences : lorsque l'on compare la canalisation amenant l'eau à la meunerie de Barbegal et celle qui continuait vers Arles, on constate combien une terminologie unique peut cacher des réalités totalement différentes ! En définitive, sur ces questions d'évaluation des coûts, il est possible d'établir une corrélation suggestive entre volume de maçonnerie et coûts d'édifices. Mais de quelles sommes disposaient donc ceux qui, par leur richesse pouvaient entreprendre de tels travaux ? Au Haut Empire, le niveau de fortune minimale attesté d'un sénateur est de l'ordre de huit millions de sesterces. Mais des sénateurs du rang inférieur – ceux qui d'ailleurs pour cette raison sont moins connus – devaient être beaucoup moins riches. À l'autre extrémité de la hiérarchie financière, les deux plus grosses fortunes, celle de Cn. Cornelius Lentulus et celle de Narcisse, sont de l'ordre de 400 millions de sesterces. Sous Néron, L. Volusius Saturninus, L. Annaeus Seneca et l'affranchi impérial Pallas sont à la tête de richesses considérables (300 millions de

numismatici accettano l'idea di un deprezzamento che spiega il progressivo abbandono delle piccole unità di bronzo nel sistema monetario. In termini di poter d'acquisto ne consegue che gli acquedotti di epoca claudio-neroniana sono stati molto meno costosi rispetto all'*Aqua Marcia*. Sembra che l'unica spiegazione verosimile sia la riduzione dei costi di fabbricazione dovuta ai progressi tecnici.

Cosa permettevano di fare le somme indicate dalle iscrizioni? All'inizio del II secolo d.C. – il che autorizza un confronto con il costo degli acquedotti dell'epoca di Nerone – i 3,5 milioni perduti dalla popolazione di Nicomedia (Plinio il Giovane X, 37) sarebbero corrisposti solo a meno di 2 km di canalizzazione. Vista la mediocrità della somma, il dono di due milioni di sesterzi per delle acque di Bordeaux può corrispondere alla messa in opera di un sistema completo di adduzione e distribuzione, come ne è stata formulata l'ipotesi? Visti i costi indicati precedentemente se ne può dubitare. Tuttavia, uno sguardo attento sul tracciato degli acquedotti di Aquitania come a quelli di Saintes e di Perigueux invita alla prudenza: si tratta di canalizzazioni di ridotte dimensioni il cui costo di costruzione è molto inferiore a quello dei "grandi acquedotti" ai quali si sarebbe tentati di paragonarli. Gli scavi del Vallon des Arcs a Fontvieille permettono di visualizzare queste differenze: nel momento in cui si confronta la canalizzazione che porta l'acqua destinata al complesso molitorio di Barbe-gal e quella che continuava verso Arles, ci si rende conto di quanto una terminologia unica possa nascondere realtà totalmente differenti! In definitiva, riguardo questi problemi di valutazione dei costi, è possibile stabilire un legame suggestivo tra il volume della muratura e i costi di costruzione. Di quali somme, dunque, disponevano coloro che, con la loro ricchezza, potevano intraprendere lavori simili? Durante l'Alto Impero, è stato accertato che l'ammontare minimo della fortuna di un senatore è dell'ordine di otto milioni di sesterzi. Però i senatori di rango inferiore – quelli che d'altronde per questa ragione sono meno conosciuti – dovevano essere molto meno ricchi. All'altra estremità della gerarchia finanziaria, i due patrimoni più ingenti, quello di Cn. Cornelius Lentulus e quello di Narciso, sono dell'ordine di 400 milioni di sesterzi. Sotto Nerone, L. Volusius Saturninus, L. Annaeus Seneca e il liberto imperiale Pallas dispongono di considerevoli ricchezze (300 milioni di sesterzi).

sesterces).

A Metz, une inscription nomme des sévirs augustaux, probablement au nombre de quatre. Mais peut-on considérer qu'ils ont construit la totalité de l'aqueduc à leurs frais ? Le doute est permis car l'inscription est incomplète. En revanche, on situe mieux ainsi l'importance du don d'Hérode Atticus à la ville d'Alexandria. Troas : pour l'adduction dont il avait pris la charge, ce généreux évergète avais subi un déficit de 16 millions de sesterces pour un ouvrage qui au total en coûta 28 millions. En Syrie, l'inscription d'Apamée, consacrée à la liste impressionnante des évergésies de C. Iulius Agrippa, nous apprend que ce personnage – descendant de tétrarques ayant régné sur une partie du pays – « a fait faire dans l'aqueduc [...] un bon nombre de milles » et non un aqueduc entier. Pourquoi ? La longueur de l'ouvrage a été évaluée à 150 km. Et, même s'il ne comportait aucun ouvrage d'art important, une telle dépense dépassait sans doute les capacités d'un particulier même richissime. Une inscription d'Ephèse va dans le même sens. C. Sextilius Pollio, Offila Bassa, sa femme, C. Offilus Proculus, son fils, et leurs enfants ont réuni leurs ressources pour construire un pont et non la totalité de l'aqueduc.

La construction d'un aqueduc paraît donc liée à un financement exceptionnel. Dans le cas de Rome, on observe un rapport entre guerre et aqueduc : l'*Aqua Marcia* est construit au lendemain de la défaite de Carthage. Ce qui a dû compter, c'est moins l'arrivée massive d'esclaves que le pillage de Carthage. De même, deux siècle et demi plus tard, les guerres daciennes permirent la construction du forum de Trajan. À Capoue, l'*Aqua Iulia* a été offerte par Octave aux citoyens en remerciement de leur attitude compréhensive lorsqu'il eut à acquérir des terres pour doter ses vétérans. Dion Cassius, historien romain de langue grecque qui rapport ces faits deux siècle plus tard, nous apprend en effet que « comme les terres du domaine public se trouvèrent insuffisantes, il en acheta une quantité considérable aux Campaniens qui habitaient Capoue et leur donna en échange l'aqueduc nommé Julien, de tous les avantages celui dont ils sont le plus fiers » (Dion Cassius 498, 14).

La somme dépensée par Hérode Atticus correspondait au tribut versé à Rome par les 500 autres villes de la province

A Metz, un'iscrizione cita alcuni seviri augustales, probabilmente quattro. Tuttavia, è possibile pensare che abbiano costruito tutto l'acquedotto a loro spese? Il dubbio è concesso poiché l'iscrizione è incompleta. In compenso, si colloca meglio in questo modo l'importanza del dono di Erode Attico alla città di Alessandria Troade: per l'adduzione di cui si era fatto carico, questo generoso evergete aveva subito una perdita di 16 milioni di sesterzi per un'opera che in totale ne costò 28. In Siria, l'iscrizione di Apamea, dedicata alla lista impressionante di doni di C. Iulius Agrippa, ci fa sapere che questo personaggio, discendente dei tetrarchi che regnarono su una parte del paese, «ha fatto fare nell'acquedotto [...] un buon numero di miglia» e non un intero acquedotto. Perché? Si è calcolato che la lunghezza dell'opera fosse di 150 km e, anche se non comportava alcuna opera d'arte importante, una simile spesa superava senza dubbio le capacità di un privato seppur ricchissimo. Un'iscrizione di Efeso va nella stessa direzione: C. Sextilius Pollio, Offilia Bassa, sua moglie, C. Offilius Proculus, suo figlio, e i loro figli hanno riunito le loro risorse per costruire un ponte e non l'intero acquedotto.

La costruzione di un acquedotto sembra dunque essere legata ad un finanziamento importante. Nel caso di Roma, si osserva un legame tra guerra e acquedotto: quello dell'*Aqua Marcia* viene costruito all'indomani della sconfitta di Cartagine. Ciò che probabilmente ha contato è stato meno l'arrivo massiccio degli schiavi che il saccheggio di Cartagine. Allo stesso modo, due secoli e mezzo più tardi, le guerre di Dacia permisero la costruzione del foro di Traiano. A Capua, l'*Aqua Iulia* è stata offerta da Ottaviano ai cittadini come ringraziamento per il loro atteggiamento comprensivo al momento di acquisire delle terre per darle in dote ai veterani. Dione Cassio, storico romano di lingua greca, che racconta questi fatti due secoli più tardi, ci fa sapere che in effetti «dato che le terre del dominio pubblico erano insufficienti, egli ne acquisto una considerevole quantità dai Campani che abitavano a Capua e donò loro in cambio l'acquedotti denominato Giulio, tra tutti i vantaggi, quello per il quale vanno più fieri» (Dione Cassio 498,14).

où était Alexandrie. Les documents épigraphiques parlent de 100.000 sesterces pour le Capitole de volubilis, 30.000 sesterces pour la construction d'un portique, 400.000 sesterces pour des thermes, 77.000 sesterces pour un arc. Un aqueduc était donc l'un des monuments les plus coûteux. Sa construction est impossible sans l'aide d'un riche bienfaiteur, simple (et riche) citoyen ou magistrat de la ville, membre de l'aristocratie impériale (chevalier ou sénateur). Mais le bienfaiteur par excellence est l'empereur : les inscriptions montrent que ses libéralités s'étendaient à des villes fort lointaines, soit pour prendre en charge la totalité de l'ouvrage, soit pour accorder une subvention permettant l'achèvement d'une conduite arrêtée par manque de fonds. Dans un panégyrique, le rhéteur gaulois Eumène remercie l'Empereur d'avoir mis les légions à la disposition de la ville afin qu' « elles s'emploient à notre profit et fassent couler dans les entrailles presque desséchées de la ville épuisée les eaux dont le cours d'était interrompu ainsi que des sources nouvelles ». Un exemple italien va dans le même sens pour montrer l'appel au financement impérial. En Campanie, le grand aqueduc de Serino qui alimentait les principales villes du golfe de Naples, dont Pouzzoles, avait été construit par Auguste ; une inscription de 324 nous apprend que, plus de trois siècles plus tard, tombé à l'abandon, une nouvelle libéralité impériale avait seule permis de le remettre en usage. Sans doute une restauration dépassait-elle les possibilités financières des collectivités !

Un rapprochement entre les aqueducs et les voies romaines s'impose. Il a été calculé qu'en Italie, au Haut Empire, la restauration d'un mille coûte entre 66.000 et 110.000 sesterces environ et sa construction un demi-million de sesterces. On comprend pourquoi la construction d'un aqueduc est rarement exécutée au début d'un programme urbanistique et on s'explique mieux la difficulté de faire remonter la construction de l'aqueduc de Nîmes à Agrippa, comme le veut la tradition.

Le projet nîmois et son contexte

Rompant avec une tradition locale qui attribuait la construction de l'aqueduc à Antonin en raison de ses origines nîmoises, E. Espérandieu avait émis l'hypothèse la plus vraisemblable : l'aqueduc serait une construction augustéenne due à l'initiative

La somma spesa Da Erode Attico corrispondeva al tributo versato a Roma dalle altre 500 città della provincia in cui si trovava Alessandria. I documenti epigrafici parlano di 100.000 sesterzi per il Campidoglio di Volubilis, 30.000 sesterzi per la costruzione di un portico, 400.000 sesterzi per delle terme, 77.000 sesterzi per un arco. Quindi, un acquedotto era uno dei monumenti più costosi. La sua costruzione è impossibile senza l'aiuto di un ricco benefattore, semplice (e ricco) cittadino o magistrato della città, membro dell'aristocrazia imperiale (cavaliere o senatore). Il benefattore per eccellenza, però, è l'imperatore: le iscrizioni mostrano che le sue elargizioni si estendevano a città molto lontane, o per assumersi la responsabilità dell'intera opera, o per accordare un finanziamento che permettesse il completamento di un condotto bloccato per mancanza di fondi. In un panegirico, il retore gallico Eumene ringrazia l'Imperatore di aver messo le legioni a disposizione della città di modo che «esse vengano impiegate a nostro vantaggio e facciano scorrere nelle viscere pressoché inaridite della città stremata, le acque, il cui corso si era interrotto, nonché delle nuove sorgenti». Un esempio italiano conferma la richiesta di finanziamenti imperiali. In Campania, il grande acquedotti di Serino che alimentava le principali città del golfo di Napoli, tra cui Pozzuoli, era stato costruito da Augusto; da un'iscrizione del 324, apprendiamo che più di tre secoli più tardi, caduto in abbandono, era stato possibile rimetterlo in uso solo tramite una nuova elargizione imperiale. Probabilmente un restauro andava oltre le possibilità finanziarie della collettività!

È d'obbligo un confronto tra gli acquedotti e le strade romane. È stato calcolato che in Italia, durante l'Alto Impero, il restauro di un miglio costa tra i 66.000 e i 110.000 sesterzi circa e la sua costruzione un mezzo milione di sesterzi. Ci si rende conto del perché la costruzione di un acquedotto è raramente eseguita nella fase iniziale di un programma urbanistico e si spiega meglio la difficoltà di far risalire la costruzione dell'acquedotti di Nîmes ad Agrippa, come vuole la tradizione.

Il progetto di Nîmes e il suo contesto

Rompendo con una tradizione locale che attribuiva la costruzione dell'acquedotto ad Antonino, in ragione del fatto che le sue origini erano di Nîmes, E. Espérandieu aveva

d'Agrippa qui séjourna en Narbonnaise entre 20 et 18 av. J.-C.

Les documents archéologiques remettent désormais en cause l'initiative impériale au temps d'Auguste et l'insertion de l'aqueduc dans le premier urbanisme nîmois, qui voit la monumentalisation du sanctuaire de la Fontaine, la création de l'enceinte et de la tour Magne, et celle du forum. D'ailleurs, l'amphithéâtre, dans lequel Espérandieu voyait aussi une construction du temps d'Auguste, est daté désormais des années 90-110 apr. J.-C.

L'existence d'un tunnel au passage du rempart élevé vers 15 av. J.-C. est un des arguments pour enlever à Agrippa la paternité de ce programme d'adduction. De plus, les céramiques recueillies dans les couches de construction des ponts à arcades suggèrent que le monument a été édifié entre 40 et 80 apr. J.-C. et préférentiellement à l'époque de Claude. De même, la facture de l'inscription récemment retrouvée sur le Pont du Gard renvoie à l'époque Julio-claudienne plutôt qu'à celle des Flaviens.

Il apparaît donc clairement aujourd'hui que la première vague de réalisations monumentales à Nîmes concerne le périmètre urbain et les centres civiques de l'*Augusteum* et du forum, dont la signification politique est évidente. Ce n'est qu'après la mise en place de ce cadre dont la réalisation donna à la ville l'aspect d'un vaste chantier durant plusieurs décennies que se multiplièrent les équipements fonctionnels. Le rôle de l'eau dans la ville fut d'emblée pris en compte grâce au sanctuaire de la Fontaine. Il n'était pas nécessaire alors de rechercher d'autres ressources dont l'intérêt aurait d'ailleurs pu détourner l'attention de la source monumentalisée et affaiblir l'impact du programme dont elle fut l'objet. Comme l'amphithéâtre renouvelé, plus d'un siècle après, les motifs et les cadres de la réunion des citoyens, l'aqueduc offre, vers le milieu du 1^{er} siècle, les conditions d'un renouveau pour le mode de vie urbain.

Si l'on a si souvent rapporté la construction de l'aqueduc à l'initiative d'un empereur connu pour ses liens avec Nîmes, c'était en définitive pour expliquer le financement de l'opération, reconnue comme l'une des plus coûteuses pour une ville romaine. En proposant une date nettement postérieure au temps d'Auguste dans le 1^{er} siècle apr. J.-C., nous devons reposer la question. Il semble que la richesse de la ville à

formulato l'ipotesi più plausibile: l'acquedotto sarebbe una costruzione augustea dovuta all'iniziativa di Agrippa che soggiornò nel narbonese tra il 20 e il 18 a.C.

La documentazione archeologica rimette ormai in discussione l'iniziativa imperiale ai tempi di Augusto e l'inserimento dell'acquedotto nel primo impianto urbanistico di Nîmes, che vede la monumentalizzazione del santuario del giardino della Fontana, la creazione delle mura e della Torre Magna e quella del Foro. D'altronde, l'anfiteatro nel quale Esperandieu vedeva anche una costruzione del tempo di Augusto, risale agli anni 90-110 d.C.

La presenza di un tunnel nel varco del bastione eretto intorno al 15 a.C., è una delle ragioni per togliere ad Agrippa la paternità di questo programma di adduzione. In più, le ceramiche raccolte negli strati di costruzione delle arcuazioni suggeriscono che il monumento sia stato edificato tra il 40 e l'80 d.C. e preferibilmente all'epoca di Claudio. Allo stesso modo, la fattura dell'iscrizione recentemente rinvenuta sul Pont du Gard riporta all'epoca giulio-claudia piuttosto che a quella dei Flavi.

Oggi, sembra dunque chiaro che la prima ondata di realizzazioni monumentali a Nîmes riguardi il perimetro urbano e i centri civici dell'*Augusteum* e del foro, il cui significato politico è evidente. È solo dopo l'attuazione di questo progetto, la cui realizzazione per molti decenni diede alla città l'aspetto di un vasto cantiere, che si moltiplicarono le strutture funzionali. Il ruolo dell'acqua nella città fu immediatamente preso in considerazione grazie al santuario della Fontana. Non era dunque necessario ricercare altre risorse il cui interesse avrebbe d'altronde potuto sviare l'attenzione dalla sorgente monumentalizzata e diminuire l'impatto del programma di cui essa fu oggetto. Come l'anfiteatro, più di un secolo dopo, subisce un rinnovo dei motivi e le cornici della riunione dei cittadini, l'acquedotto offre, verso la metà del I secolo, le condizioni di un rinnovamento nello stile di vita urbano.

Se così spesso si è ricondotta la costruzione dell'acquedotto all'iniziativa di un imperatore conosciuto per i suoi legami con Nîmes, in definitiva era per spiegare il finanziamento dell'operazione, riconosciuta come una delle più costose per una città romana. Proponendo una data nettamente posteriore al tempo d'Augusto nel I secolo d.C., dobbiamo riproporre l'interrogativo. Sembra che all'epoca, la ricchezza

l'époque permette une initiative locale à la fois publique et privée et qu'il vaille mieux examiner cette hypothèse plutôt que de rechercher un nouveau bienfaiteur impérial.

Si le financement de l'aqueduc nécessite une intervention impériale, celle-ci consiste sans doute à exempter le trésor nîmois, à la tête duquel l'épigraphie atteste la présence de *quattuorviri ab aearium*, du reversement des tributs collectés dans les *oppida* dont la capitale du peuple des Arécomique avait reçu l'*adtributio*. Un texte de Strabon et une mention de Pline s'accordent en effet pour signaler à Nîmes un phénomène exceptionnel, l'attribution de vingt-quatre *komai* ou *oppida* qui perdirent ainsi leur autonomie sans doute conférée par le droit latin. Nîmes jouissait donc d'une juridiction très étendue, à la tête d'une fédération mise en place entre 30 av. J.-C. et les débuts du règne de Tibère, sans doute vers 16 av. J.-C. Même si cette fédération perdit rapidement son sens originel, elle participa sans nul doute à l'enrichissement et à l'équipement de la capitale arécomique.

Sans ignorer le poids des financements impériaux, le cas de Nîmes fut peut-être différent. Sans doute décidée par les magistrats nîmois et facilitée par une remise d'impôts, l'adduction par aqueduc aurait pu être réalisée grâce aux prélèvements sur le territoire de la cité. Mais à cette époque, apports publics et privés sont indissociables. Ces derniers, en particulier, ont pu permettre d'injecter dans le financement de l'opération des ressources provenant d'autres cités de la province et même de l'Empire, preuve du rayonnement de l'aristocratie nîmoise tissant des alliances matrimoniales avec les aristocraties d'autres cités de Narbonnaise. Cette promotion de l'élite nîmoise est favorisée par l'administration impériale, qui lui confie l'exercice de charges provinciales. M. Cominius Aemilianus est curateur de la cité d'Aix, et d'autres exercent un certain nombre de patronages : M. Cominius Aemilianus sur la cité des Voconces, Q. Soillius Valerianus sur la cité d'Apt, Q. Solonius Severinus sur la cité de Freéjus. Il est donc probable que des riches nîmois ont été associés à l'effort collectif, à partir du moment où de grosses fortunes furent constituées. Pour mesurer le potentiel local dans ce domaine, on notera que Nîmes vient, en Narbonnaise, au deuxième rang après Vienne pour le nombre de citoyens connus pour avoir intégré l'un des deux ordres de la noblesse de l'Empire : en effet, on compte à Nîmes cinq sénateur et dix-neuf chevaliers qui devaient avoir une fortune en rapport avec leur rang.

della città, permettesse un'iniziativa locale sia pubblica che privata e che sia meglio esaminare questa ipotesi piuttosto che ricercare un nuovo benefattore imperiale.

Se il finanziamento dell'acquedotto richiede un intervento imperiale, questo consiste probabilmente nell'esonerare il tesoro di Nîmes, alla testa del quale l'epigrafe attesta la presenza di *quattuorviri ad aerarium* o *quattuorviri ab aerario*, dal trasferimento dei tributi raccolti nelle *oppida* di cui la capitale del popolo degli Arecomici aveva ricevuto l'*adtributio*. Un testo di Strabone, ed una citazione di Plinio in effetti si accordano per segnalare a Nîmes un fenomeno eccezionale, l'assegnazione di ventiquattro *komai* o *oppida* che persero così la loro autonomia conferita senza dubbio dal diritto latino. Nîmes godeva dunque di una giurisdizione molto estesa, a capo di una federazione istituita tra il 30 a.C. e i primi anni del regno di Tiberio, probabilmente verso il 16 a.C. Anche se questa federazione perse rapidamente il suo significato originario, partecipò sicuramente all'arricchimento e allo sviluppo della capitale arecomica.

Senza ignorare il peso dei finanziamenti imperiali, il caso di Nîmes fu forse diverso. Decisa dai magistrati di Nîmes e facilitata da una riduzione delle imposte, l'adduzione tramite acquedotto avrebbe potuto essere realizzata grazie ai prelevamenti su territorio delle città. In questo periodo però, contributi pubblici e privati sono indissociabili. Questi ultimi, in particolare, hanno potuto permettere l'immissione nei finanziamenti dell'operazione, di risorse provenienti da altri centri della provincia e perfino dell'Impero, prova dell'influenza dell'aristocrazia di Nîmes, che tesseva alleanze matrimoniali con le aristocrazie d'altre città del narbonese. Questa promozione dell'élite di Nîmes è favorita dall'amministrazione imperiale, che le affida l'esercizio di cariche provinciali. M. Cominius Aemilianus è curatore della città d'Aix, e altri esercitano un buon numero di patronati: M. Cominius Aemilianus sulla città di Voconces, Q. Soilius Valerianus sulla città d'Apt, Q. Solunius Severinus sulla città di Fréjus. È dunque probabile che ricchi abitanti di Nîmes siano stati associati allo sforzo collettivo, a partire dal momento della costituzione di grossi patrimoni. Per misurare il potenziale locale in questo campo, si noterà che Nîmes, nel Narbonese, viene al secondo posto dopo Vienne, per il numero di cittadini conosciuti per aver integrato

UN MESSAGE DU CONCEPTEUR DU PONT DU GARD ?

Une inscription du Pont du Gard, connue depuis le XVII^e siècle, a été lue et reproduite sous deux formes différentes. Mais aucune des lectures n'offraient le moindre sens. Or, récemment, J.-L. Paillet a retrouvé et relu, avec l'aide de J. Gascoü, l'inscription gravée sur la surface d'une pierre de taille qui appartient à l'avant-bec supportant la retombée de l'arche majeure de l'ouvrage. Elle offre un texte sensiblement différent de celui qui avait été transmis depuis le XVII^e siècle :

MENS
TOTVM
CORIVM

À la deuxième ligne, un petit O placé entre deux T de taille beaucoup plus haute dont la traverse surplombe cette lettre serait caractéristique de l'époque julio-claudienne. L'aspect général des lettres, leur massivité et leur rigidité, vont dans le même sens. Il n'est certes pas possible de proposer à partir de ces seules données paléographiques des limites chronologiques précises, mais on peut estimer que ce document a été gravé à une époque qui ne dépasse pas le règne du dernier empereur julio-claudien.

La disposition des lignes sur la surface de la pierre et l'absence apparente des lettres sur les pierres voisines font penser que nous avons affaire à un texte complet, et non à la partie conservée d'un texte plus long. Le premier mot seul est donné en abrégé, et son développement pose un problème. Si l'on admet que les trois mots forment une phrase complète ayant une unité, on est amené à penser que les lettres MENS font office d'un verbe *mens(um)* est dont le sujet serait le groupe *totum corium*. D'où la traduction en première approximation : «Le *corium* tout entier est mesuré». Le mot *corium* a des significations multiples, et, à côté du sens de «peau», «cuir», «enveloppe» (de fruit, etc.), il a, notamment chez Vitruve, des significations diverses en relation avec le vocabulaire de la construction: «surface» ou «croûte» (de briques, ou de parois); «couche» (de sable, ou de mortier de sable, ou de mortier de marbre); «paroi» (d'un tuyau de poterie); ou encore «rangée» ou «assise» de briques ou de pierres.

On préférera plutôt une interprétation qui donne au mot *corium* le sens plus général, et plus conforme à sa valeur fondamentale, d'«épiderme». Dans ce cas, il s'agirait de l'épiderme de la totalité du monument qui correspond à ce que l'on appelle, dans le langage des architectes, les façades ou les élévations. Le rédacteur de l'inscription aurait peut-être voulu signaler le fait que «l'épiderme du monument a été, dans sa totalité, mesuré». Cette expression sous-entend, évidemment, que les façades ont été mesurées soigneusement lors de l'implantation et de la construction, mais aussi dessinées et composées antérieurement. Ce message – sans parallèle, à notre connaissance, dans d'autres transcriptions latines-, serait un témoignage du travail de l'architecte concepteur aussi bien que de celui du maître d'œuvre chargé de la construction



Un message du concepteur du pont ?

Inscription récemment redécouverte sur une des piles du Pont du Gard. Il s'agirait d'un témoignage du constructeur romain signalant que « la totalité de l'élévation du monument a été mesurée »

uno dei due ordini della nobiltà dell'Impero: in effetti, a Nîmes si contano cinque senatori e diciannove cavalieri il cui patrimonio doveva essere in rapporto con il loro rango.

UN MESSAGGIO DEL PROGETTISTA DEL PONT DU GARD

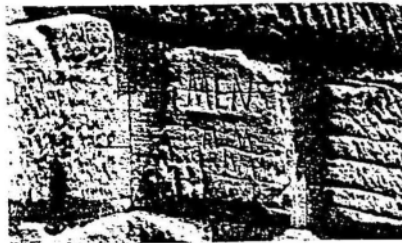
Un'iscrizione del Pont du Gard, conosciuta dal XVII secolo, è stata letta e riprodotta in due forme diverse. Tuttavia, nessuna delle letture aveva il minimo senso. Recentemente J. L. Paillet ha ritrovato e riletto, con l'aiuto di J. Gascou, l'iscrizione incisa sulla superficie di una pietra da taglio che appartiene all'antibecco che sostiene la ricaduta dell'arco maggiore dell'opera. Questa offre un testo sensibilmente differente da quello che era stato trasmesso a partire dal XVII secolo:

MENS
TOTVM
CORIVM

Alla seconda linea, una piccolo O tra due T di dimensioni più grandi, la cui traversa domina questa lettera, sarebbe caratteristica dell'epoca giulio-claudia. L'aspetto generale delle lettere, il loro aspetto massiccio e rigido, vanno nella stessa direzione. Certamente, con questi soli dati paleografici, non è possibile proporre dei limiti cronologici precisi, ma si può valutare il fatto che questo documento sia stato inciso in un'epoca che non oltrepassa il regno dell'ultimo imperatore giulio-claudio.

La disposizione delle linee sulla superficie della pietra e l'apparente assenza delle lettere sulle pietre vicine lasciano pensare che si tratti di un testo completo e non della parte conservata di un testo più lungo. Solo il primo termine è abbreviato e il suo sviluppo pone dei problemi. Se si ammette che i tre termini formano una frase completa, con un'unità, si è portati a pensare che le lettere MENS stiano ad indicare il verbo *mens(um) est*, il cui soggetto sarebbe il gruppo *totum corium*. Da qui si ha la prima traduzione approssimativa: «Tutto il *corium* è stato misurato». Il termine *corium* ha molteplici significati, e, oltre ad indicare "pelle", "cuoio", "rivestimento" (di frutta, ecc.), ha in Vitruvio, in particolare, diversi significati in relazione alla terminologia della costruzione: "superficie" o "crosta" (di mattoni, o di pareti), "strato" (di sabbia, o di malta di sabbia, o di malta di marmo); "paret" (di un tubo di terracotta); o ancora "fila" o "assisa" di mattoni o di pietre.

Piuttosto si opterà per un'interpretazione che dia al termine *corium* il senso più generale e più conforme al suo valore fondamentale, di "epidermide". In questo caso, si tratterebbe dell'epidermide del monumento che corrisponde a ciò che viene chiamato, nel linguaggio degli architetti, le facciate o gli alzati. Il redattore dell'iscrizione forse avrebbe voluto segnalare il fatto che "l'epidermide del monumento è stata, nella sua totalità, misurata". Questa espressione sottintende, evidentemente, che le facciate sono state accuratamente misurate al momento dell'installazione e della costruzione, ma anche disegnate e composte antecedentemente. Questo messaggio – senza eguali, per quanto si sa, in altre iscrizioni latine – sarebbe una testimonianza del lavoro dell'architetto ideatore del progetto nonché di quello del capo cantiere incaricato della costruzione.



Un messaggio del progettista del ponte? Iscrizione recentemente riscoperta su uno dei piloni del Pont du Gard. Si tratterebbe di una testimonianza del costruttore romano che segnala che è stata misurata «la totalità dell'alzato del monumento»

Si certains semblent n'avoir pas conservé d'attache avec leur cité d'origine, d'autres en revanche, qui furent carrière entre le milieu du 1^{er} siècle et le temps de Trajan, ont maintenu des liens avec leur cité, soit qu'ils s'y fissent enterrer, soit que les Nîmois eussent tenu à les honorer des dédicaces.

L'épigraphie noise livre enfin, parmi les témoignages d'évergésie dans la ville, la mention de l'acceptation par un affranchi d'emprunts publics, sollicités au nom de la cité par les magistrats. Cet exemple rare d'un aspect de la vie financière des cités, bien que plus récent que la construction de l'aqueduc (seconde moitié du II^e siècle), est à verser au dossier d'un montage financier qu'il faut imaginer plus complexe qu'on ne l'a souvent décrit.

Durée des travaux

Les considérations techniques et financières conditionnaient la durée des travaux. Le texte de Frontin nous donne quelques indications sur la durée des grands chantiers d'aqueducs : pour l'*Anio Vetus* (63.554 m.) construit en 272 av. J.-C., trois ans, ce qui fait 21.184 m. par an, mais avec seulement 327 m. sur mur de soutènement et sans ouvrage à arches. Au milieu du II^e siècle av. J.-C., la durée d'un chantier n'était guère plus longue. Cinq ans s'écoulèrent entre la date où l'argent fut alloué à Marcius et le moment où l'eau arriva au Capitole : un an de préture, un an de prorogation et trois ans consacrés au débat pour savoir s'il n'y avait pas un interdit religieux. Au 1^{er} siècle apr. J.-C, la durée des travaux s'allongea considérablement : les travaux de l'*Aqua Claudia* et de l'*Anio Novus* débutèrent en 38, et furent achevés en 52, soit 14 ans après. Aucun de ces deux aqueducs n'avait un parcours sur arche supérieur à celui de la *Marcia* mais l'ensemble correspondait au double et les arches de l'*Anio Novus* étaient d'une hauteur remarquable (36 m.).

Pour un chantier provincial, on dispose des documents présentés par Nonius Datus dans la célèbre inscription relative à la construction de l'aqueduc de *Saldæ* (Bougie) : il dut présenter un dossier au gouverneur de Maurétanie césarienne en 137 mais c'est seulement de nombreuses années plus tard, entre 152 et 157, que l'ouvrage fut mis en eau. La difficulté n'avait rien d'extraordinaire : 428 m. à creuser sous un col dans un terrain qui ne semble avoir été ni résistant ni trop tendre (le canal a pu être dégagé et réutilisé par

Se alcuni sembrano non aver conservato legami con la loro città d'origine, altri invece che fecero carriera tra la metà del I secolo e il periodo di Traiano, hanno mantenuto dei legami con la loro città, sia che vi si facessero interrare o che gli abitanti di Nîmes tenessero ad onorarli con delle dediche.

L'epigrafia di Nîmes lascia infine, tra le testimonianze di doni nella città, l'accettazione da parte di un liberto di finanziamenti pubblici, sollecitati a nome della città dai magistrati. Questo raro aspetto della vita finanziaria delle città, sebbene più recente della costruzione dell'acquedotto (seconda metà del II secolo), è da attribuire ad un'operazione finanziaria più complessa di come viene spesso descritta.

Durata dei lavori

Le considerazioni tecniche e finanziarie condizionavano la durata dei lavori. Il testo di Frontino ci fornisce qualche indicazione riguardo la durata dei grandi cantieri degli acquedotti: per l'*Anio Vetus* (63.554 m) costruito nel 272 a.C., tre anni, ossia 21.184 m l'anno, ma con solamente 327 m su muri di sostegno e senza archi. Alla metà del II secolo a.C., la durata di un cantiere non era affatto più lunga. Passano cinque anni tra la data in cui fu concesso il denaro a Marcio e il momento in cui l'acqua arrivò al Campidoglio: un anno di pretura, un anno di proroga e tre di dibattito per accertare che non vi fossero degli interdetti religiosi. Nel I secolo d.C., la durata dei lavori si allungò considerevolmente: i lavori dell'*Aqua Claudia* e dell'*Anio Novus* iniziarono nel 38 e terminarono nel 52, ossia 14 anni dopo. Nessuno di questi due acquedotti aveva un percorso su arco superiore a quello della *Marcia* ma l'insieme corrispondeva al doppio e gli archi dell'*Anio Novus* erano di un'altezza notevole (36m).

Per un cantiere provinciale, siamo in possesso di documenti presentati da Nonio Dato nella celebre iscrizione relativa alla costruzione dell'acquedotto di *Saldæ* (Bugie): dovette presentare un fascicolo al governatore della Mauretania Cesariense nel 137, ma solamente molti anni più tardi, tra il 152 e il 157, l'opera fu varata. La difficoltà non aveva nulla di straordinario: 428 m da scavare sotto una collina, in un terreno che sembra non essere stato né troppo resistente né troppo morbido (è stato possibile sgombrare il canale che venne riutilizzato dagli ingegneri francesi durante

les ingénieurs français à l'époque coloniale) ; des exemples archéologiques attestés montrent que les Romains accomplirent des travaux bien plus complexes.

La durée des travaux était donc liée aux problèmes de financement, aux difficultés du parcours et aussi aux possibilités d'acheminement des matériaux. Mais travaux colossaux et coûts énormes nous ramènent surtout à l'interrogation principale, concernant la technique de construction, que pose la présence de ces ouvrages édifiés pour le seul confort de la cité.

Techniques de construction

L'histoire des techniques et de leurs applications montre que, malgré des investissements considérables, certains problèmes ne pouvaient être résolus de manière satisfaisante. Dans le domaine de l'hydraulique, l'un des grands travaux de l'époque de Claude est la construction de l'émissaire du lac Fucin, réalisée très difficilement et à grand frais. La reprise du travail au siècle dernier fut une occasion d'examiner à partir des traces archéologiques les problèmes rencontrés par les architectes romains et les solutions adoptées. L'un de ceux-ci était la pression exercée latéralement par les terres traversées sur les piédroits du canal. Ce problème ne pouvait être résolu par les architectes anciens, qui ne purent ou ne surent jamais donner à leur canal le profil ovoïde nécessaire. On retrouve ce défaut sur l'aqueduc de la Traconnade, qui amenait à Aix-en-Provence les eaux captées dans le val de Durance : une coupe montre le fléchissement des piédroits du canal.

L'importance des impératifs techniques n'a pas été toujours reconnue, en particulier – et paradoxalement – par des archéologues allemands dont les travaux en ce domaine sont essentiels. En effet, la littérature archéologique allemande renvoie traditionnellement à une explication du tracé des aqueducs par l'histoire des mentalités. L'importante et très précise notice de la *Realencyclopädie* constitue un important jalon pour la diffusion de cette interprétation :

« La différence fondamentale entre esprits grec et romain, écrit A. W. Van Buren, n'apparaît pas moins évidente dans le domaine de la construction des aqueducs que dans les autres [...] : dans tous leurs aménagements, les Grecs s'adaptaient à la nature

l'età coloniale); alcuni esempi archeologici accertati mostrano che i Romani portavano a termine lavori molto più complessi.

La durata dei lavori era dunque legata ai problemi di finanziamento, alle difficoltà del percorso e anche alle possibilità di trasporto dei materiali. Ma lavori colossali e costi enormi ci riportano soprattutto all'interrogativo principale, riguardo la tecnica di costruzione, posto dalla presenza di queste opere edificate per il solo comfort della città.

Tecniche di costruzione

La storia delle tecniche e delle loro applicazioni mostra che, malgrado considerevoli investimenti, alcuni dei problemi non potevano essere risolti in maniera soddisfacente. Nel campo dell'idraulica, uno dei grandi lavori dell'età Claudia è la costruzione dell'emissario del lago Fucino, realizzato con grandi difficoltà e spese ingenti. La ripresa del lavoro nel secolo scorso fu un'occasione per esaminare, a partire da tracce archeologiche, i problemi incontrati dagli architetti romani e le soluzioni adottate. Uno di questi era la pressione esercitata lateralmente dalle terre attraversate sui piedritti del canale. Questo problema non poteva essere risolto dagli antichi architetti, che non poterono o non seppero mai dare al loro canale il profilo ovoidale necessario. Questo difetto si ritrova nell'acquedotto della Traconnade, che portava ad Aix-en-Provence le acque captate nella valle della Durance: una sezione mostra la flessione dei piedritti del canale.

L'importanza degli imperativi tecnici non è stata sempre riconosciuta, in particolare – e paradossalmente – da archeologi tedeschi i cui lavori in questo campo sono essenziali. In effetti, la letteratura archeologica tedesca rinvia tradizionalmente ad una spiegazione del tracciato degli acquedotti attraverso la storia delle mentalità. La prefazione, molto importante e precisa, della *Realencyclopädie* che costituisce un importante punto di riferimento per la diffusione di questa interpretazione:

«La differenza fondamentale tra mente greca e romana, scrive A.W. Van Buren, non appare meno evidente nel campo della costruzione degli acquedotti rispetto agli altri [...]: in tutte le loro opere, i Greci si adattavano alla natura e sapevano trovare delle

et savaient leur trouver des analogies dans les dispositifs apparentés existant dans la nature. Cette adaptation au modèle de la nature et aux dispositions du terrain constitue un principe proprement grec appliqué à la construction des aqueducs ; elle s'oppose à la pratique des Romains. Ceux-ci, dans leur manière impérialiste, préféraient la ligne droite pour conduire les eaux de la source au chef-lieu de la cité ; ils élevaient de cette manière de hautes constructions somptueuses, rendues ainsi indépendantes des contraintes du terrain. »

La différence entre aqueducs grecs et romains permettrait ainsi d'opposer au Romain volontariste et brutal, impérialiste même avec la nature, le Grec astucieux et fin, soucieux de s'adapter en respectant la nature. Le canal suivant les courbes de niveau serait de conception typiquement hellénique, alors que les romains auraient construit des ouvrages que ne déviaient de leur tracé ni les montagnes qu'ils perçaient, ni les vallées sur lesquelles ils jetaient des ponts.

On ne doit cependant pas oublier que l'histoire des aqueducs est un chapitre de l'histoire des techniques. En réalité, le choix d'un tracé adapté au terrain ou le maîtrisant est bien entendu en relation avec les moyens dont dispose le constructeur et sa volonté (« psychologie ») politique. En Grèce, les grands travaux hydrauliques sont en rapport direct avec l'exercice de la tyrannie. Ainsi, dans l'étude qu'il fait de la construction d'un aqueduc grec aux frontières de l'Attique (Oropos), tel auteur rappelle que, si, d'après Strabon (V, 3,8), « les Grecs négligeaient les aqueducs », les tyrans procédèrent à des aménagements hydrauliques car ils y « voyaient le moyen de rendre un grand service aux populations qu'ils administraient, mais aussi de rendre sensible leur puissance par la réalisation même de cette adduction d'eau ». D'après lui, le terme d'hydragogue, qui constitue l'équivalent grec d'aqueduc, « employé aussi pour désigner une canalisation, n'apparaît qu'à partir de l'époque impériale ».

Le canal

L'essentiel de l'ouvrage est évidemment le canal (*specus*) où circule l'eau. Il était couvert dans le cas d'un aqueduc urbain, découvert lorsqu'il s'agissait d'un ouvrage

analogie nei dispositivi simili esistenti in natura. Questo adattarsi alla natura e alla struttura del terreno costituisce un principio strettamente greco applicato alla costruzione degli acquedotti che si oppone alla pratica dei Romani. Questi ultimi, nel loro modo imperialista, preferivano la linea retta per portare le acque dalla sorgente al capoluogo della città; in questo modo venivano erette delle costruzioni alte e sontuose, rese così indipendenti dai vincoli del terreno».²¹

La differenza tra acquedotti greci e romani permetterebbe così di opporre al Romano volontaristico e brutale, imperialista anche con la natura, il Greco finemente ingegnoso, preoccupato di adattarsi rispettando la natura. Il canale che segue le linee di contorno, sarebbe di concezione tipicamente ellenica, mentre i Romani avrebbero costruito opere che non deviavano dal loro tracciato né le montagne che perforavano, né le valli sulle quali gettavano i ponti.

Tuttavia, non bisogna dimenticare che la storia degli acquedotti costituisce un capitolo della storia delle tecniche. In realtà, la scelta di un tracciato adattato al terreno o che lo domina, è, ben inteso, in relazione con i mezzi di cui dispone il costruttore e la sua volontà (“psicologia”) politica. In Grecia, i grandi lavori idraulici sono in rapporto diretto con l’esercizio della tirannia. Così, nello studio che fa sulla costruzione d’un acquedotto greco ai confini dell’Attica (Oropos), un autore ricorda che, se, secondo Strabone (V, 3, 8), «i Greci evitavano gli acquedotti», i tiranni procedettero a delle opere idrauliche poiché vi «vedevano il mezzo per rendere un grande servizio alle popolazioni che amministravano, ma anche di rendere sensibile la loro potenza tramite la realizzazione stessa di quest’adduzione delle acque». Secondo lui, il termine idragogo, che è il corrispondente greco di acquedotto, «impiegato anche per designare una canalizzazione, non comparve che a partire dall’epoca imperiale».

Il canale

La parte essenziale dell’opera è chiaramente il canale (*specus*) in cui circola l’acqua. Esso era coperto nel caso d’un acquedotto urbano, scoperto quando si trattava di

²¹ N.d.t. versione tradotta dal testo francese e non ripresa dalla versione italiana.

d'irrigation. La construction de celui de Nîmes est conforme au schéma le plus courant. Une plate-forme de maçonnerie de mortier de chaux et de petits agrégats, le radier, est aménagée entre deux piédroits maçonnés qui supportent une voûte constituée de claveaux appareillés sur un coffrage. Le *specus* nîmois avait à l'origine des dimensions constantes (1,30 m. de largeur et 1,80 m. de hauteur sous voûte) qui le classent parmi les aqueducs de grand gabarit. L'homogénéité de la construction admet quelques aménagements : l'utilisation de béton banché pour la construction des parois dans des secteurs de la commune de Nîmes où le substrat se prêtait mal à la taille en moellons ; une couverture de dalles sur le Pont du Gard et sur le ponceau de Coste-Belle à Vers ; l'absence de couverture dans les deux tunnels du vallon des Escaunes à Sernhac.

Ailleurs, d'autres solutions sont connues. L'une d'elles, relativement fréquente, consiste à construire le canal en béton coulé dans une tranchée de construction ou un coffrage. Cette technique est signalée en Aquitaine, à Périgueux, à Rodez et à Saintes. Mais elle se rencontre aussi sur le petit aqueduc de saint Antonin à Aix-en-Provence et sur celui de Béziers. Dans tous ces cas, il s'agit d'ouvrages dont le débit était réduit. Pourtant, le canal de la branche de l'aqueduc d'Arles, qui recueille les eaux du versant sud des Alpilles, est construit de la même manière, en deux parties : la partie inférieure est constituée d'un cuvelage de béton coulé ; dans leur partie supérieures, les piédroits sont surmontés de quatre assises de petit appareil qui supportent la voûte. Un autre type de construction a été observé sur le canal de l'aqueduc sud d'Arles au Paradou : une canalisation monolithique que venait ensuite fermer une dalle a été mis en place. Elle se retrouve sur l'aqueduc de Saintes, dans une section qui a été datée de l'époque flavienne.

Dans le cas d'un aqueduc maçonné comme dans celui d'autres ouvrages hydrauliques, l'étanchéité est assurée par un enduit de « mortier de tuileau ». Ce mortier doit son nom à sa composition, un mélange de chaux grasse obtenu avec du calcaire blanc pur et une argile cuite et pulvérisée (débris concassés de brique et de poteries, d'où son nom). Son utilisation semble très ancienne, antérieure à la pouzzolane, une matière minérale pulvérulente provenant essentiellement de l'argile et de la chaux, qui fut employée à Rome. Son nom d'*opus signinum* lui vient d'une ville

un'opera per l'irrigazione. La costruzione di quello di Nîmes è conforme allo schema più usato. Una piattaforma in muratura di malta di calce e piccoli aggregati, la platea, è sistemata tra due piedritti in muratura che supportano una volta costituita da conci modellati su di una cassaforma. Lo *specus* di Nîmes aveva all'origine dimensioni costanti (1,30 m di larghezza e 1,80 m d'altezza sotto volta) che lo fanno rientrare tra gli acquedotti di grande levatura. L'omogeneità della costruzione ammette qualche aggiustamento: l'utilizzo di calcestruzzo colato, per la costruzione delle pareti in settori del comune di Nîmes in cui il substrato mal si prestava al taglio in cubi; una copertura con delle lastre sul Pont du Gard e sul ponticello di Coste-Belle a Vers: l'assenza di copertura nei due canali del vallone degli Escaunes a Sernac. In altri luoghi, si conoscono altre soluzioni. Una di queste, relativamente frequente, consiste nel costruire il canale in cemento colato in una trincea di costruzione o in una cassaforma. Questa tecnica viene segnalata in Aquitania, a Périgueux, Rodez e a Saintes. La troviamo però anche sul piccolo acquedotto di Saint-Antonin ad Aix-en-Provence e su quello di Béziers. In tutti questi casi, si tratta di opere la cui portata era ridotta. Eppure, il canale appartenente al ramo dell'acquedotto d'Arles, che raccoglie le acque del versante sud delle Alpilles, è costruito nella stesa maniera, in due parti: la parte inferiore è costituita da un rivestimento di calcestruzzo colato: i piedritti, nella parte superiore, sono sormontati da quattro assise con strutture costituite da pietre di piccole dimensioni che supportano la volta. Un altro tipo di costruzione è stato osservato sul canale dell'acquedotto sud di Arles nel Paradou: è stata costruita una canalizzazione monolitica chiusa in seguito da una lastra. Questa tecnica si ritrova sull'acquedotto di Saintes, in una sezione che è stata fatta risalire all'età dei Flavi.

Nel caso di un acquedotto in muratura come quello di altre opere idrauliche, l'impermeabilità viene assicurata da un intonaco in "malta di cocchiopesto". Questo tipo di malta deve il suo nome alla sua composizione, un insieme di calce grassa ottenuta con del calcare bianco puro e argilla cotta e polverizzata (detriti frantumati di laterizi e vasellame, da cui il suo nome). Il suo utilizzo sembra molto antico, anteriore perfino alla pozzolana, una materia polverulenta derivante essenzialmente dall'argilla e dalla calce, che fu impiegata a Roma. Il suo nome di *opus signinum* proviene

du Latium, *Signia*. Il n'est cependant pas le seul procédé mis en œuvre pour rendre étanche un canal : Pline (36,181) et Palladius (I, 40) donnent des recettes pour la préparation de différentes sortes de mastic, les *malthae*, qui, en plomberie, servaient à colmater les fissures. La couleur rouge de certains conduits s'expliquerait par l'utilisation de préparations à base de sang de bœuf et de taureau dont Palladius a repris la recette à Faventinus. Les récentes analyses de Max Schvoerer ont montré que, dans le cas de l'aqueduc de Nîmes, la coloration des parois provient d'oxydes ferriques : cette peinture rouge couvre le mortier de tuileau qui n'a été appliqué que sur les parois et ne couvre qu'exceptionnellement le font. Il y a d'ailleurs là un défaut de cuvelage qui a entraîné des fuites dès la mise en eau.

Dans le cas le plus simple, celui où la construction peut suivre les courbes de niveau, le canal est placé dans une tranchée protectrice : c'est le *rivus subterraneus* de Frontin, dont les abords sont frappés d'une servitude. Le remplissage de la tranchée peut faire l'objet de soins particuliers ; ainsi, sur l'aqueduc sud d'Arles, au Paradou, dans une zone basse, on a utilisé une argile dont la couleur tranche avec le sol naturel ; sans doute cette argile évitait-elle les infiltrations. Des aménagements pouvaient aussi être prévus pour protéger le canal principal. Sur l'aqueduc de Cologne, un drain paraît avoir joué un rôle analogue à celui qui est observé l'aval de Sernhac dans la tranchée du chemin de fer : collecter les eaux dans un secteur marécageux.

On accède à la canalisation par des regards placés théoriquement à intervalles réguliers et qui en marquent la présence. Entre Uzès et Nîmes, on en connaît actuellement un nombre relativement réduit. Dans son rapport sur les travaux d'exploration de l'aqueduc romain établi en 1845, C. Dombre relate qu'il avait pu en observer suffisamment pour noter l'irrégularité de leur espacement, de 80 à 100 m. dans les sections rectilignes, la distance se réduisant à 14 m. dans les zones de raccordement caractérisés par des coudes brusques. Les observations sont liées aux conditions de conservation : sur la branche sud de l'aqueduc d'Arles, à Paradou, une fouille de sauvetage en a dégagé une série de quatre. Ces regards permettaient d'accéder à la canalisation

dalla città del Lazio, segni. Tuttavia, non è l'unico procedimento utilizzato per rendere un canale impermeabile: Plinio (36,181) e Palladio (1,40) forniscono le ricette per la preparazione di diversi tipi di mastice, le *malthae*, che in idraulica venivano usate per tappare le fessure. Il colore rosso di certi condotti si spiegherebbe con l'utilizzo di preparati a base di sangue di bue e di toro, la cui ricetta Palladio riprende da Faventinus. Le recenti analisi di Max Schvoerer hanno dimostrato che, nel caso dell'acquedotto di Nîmes, la colorazione delle pareti proviene da ossidi ferrici: questa tintura rossa copre la malta di cocchiopesto che è stata applicata solamente sulle pareti e copre solo eccezionalmente il fondo. D'altronde, in quel punto, vi è un difetto nell'investimento che ha provocato delle perdite fin dal momento della posa in acqua.

Nel caso più semplice, quello in cui la costruzione può seguire le curve di livello, il canale si trova in una trincea protettrice: è il *rivus subterraneus* di Frontino, i cui accessi sono gravati da una servitù. Il riempimento della trincea può essere oggetto di particolari cure; ad esempio, sull'acquedotto sud di Arles, nel Paradou, in una zona bassa, è stato utilizzato un tipo di argilla il cui colore contrasta con il suolo naturale; questo tipo di argilla, senza dubbio, impediva le infiltrazioni. Al fine di proteggere il canale principale, si poteva ricorrere ad alcuni accorgimenti. Sull'acquedotto di Colonia, un canale di scolo sembra aver avuto un ruolo analogo a quello osservato nel tratto a valle di Sernac, nella trincea della ferrovia: raccogliere le acque in un tratto paludoso.

Alla canalizzazione si accede tramite dei tombini, situati teoricamente ad intervalli regolari, e che ne segnalano la presenza. Tra Uzès e Nîmes, attualmente, se ne conosce un numero relativamente ridotto. C. Dombre, nella sua relazione del 1845, sui lavori d'esplorazione dell'acquedotto romano, riporta che aveva potuto osservarne sufficientemente da notare l'irregolarità nella spaziatura tra un tombino e l'altro, da 80 a 100 m nei tratti rettilinei, per poi ridursi a 14 m nelle aree di raccordo, caratterizzate da bruschi gomiti. Le osservazioni sono legate alle condizioni di conservazione: sul ramo sud dell'acquedotto di Arles, a Paradou, uno scavo di salvataggio ne ha fatta riaffiorare una serie di quattro. Questi pozzetti permettevano l'accesso alla

pour la nettoyer mais dans la réalité, leur répartition paraît moins régulière que ne le prescrit Vitruve.

Dans la conduite, l'eau coule normalement par gravité. Il faut donc une pente régulière et constante qui, d'après Pline, ne doit pas être inférieure à 20 cm au kilomètre pour assurer un écoulement régulier ; Vitruve, lui, paraît conseiller une pente de 5m au kilomètre (mais le manuscrit est incertain), et Palladius (9,7 m, ce qui est énorme. Le principal inconvénient d'une pente trop forte est une usure rapide du canal. Aussi, les manuels modernes conseillent-ils d'adapter la pente au matériau sur lequel coule l'eau : de 2,115 m. au kilomètre pour des cailloux agglomérés et des schistes tendres à 7,432 m. au kilomètre pour le granite. Mais personne n'a calculé la résistance du mortier dans la période qui suivit la construction d'un canal, et qui devait être variable. Les données archéologiques montrent une plus grande diversité : par exemple, 6,59 m. au kilomètre pour l'aqueduc du Gier à Lyon. Lorsque la pente devenait trop forte, on établissait des systèmes de chute pour éviter la dégradation du canal. Ainsi, sur l'aqueduc de Montjeu qui alimentait Autun, vingt-quatre cascades permettaient de franchir le ressaut correspondant à la cascade du ruisseau de la Toison dans le bois de Brisecou.

Murs de soutènement et arcades

La construction d'un mur de soutènement est nécessaire lorsque le versant devient trop pentu ou lorsque le canal doit franchir un accident de terrain, vallée, dépression ou ensellement sur une ligne de crête. Le plus souvent, ce mur est plein et construit selon la technique du blocage, l'*opus caementicium* des romains. Un tel mur fait barrage sur un versant ; dans le cas du franchissement de ruisseau d'importance secondaire, un passage était ménagé pour les eau selon le dispositif que les architectes désignent sous le terme de « barbacane » et que l'on rencontre dans les architectures antiques, sous les remparts par exemple. Lorsque le mur atteint une certaine hauteur, en général de l'ordre de 2m, il devient nécessaire d'alléger la maçonnerie, pour des raisons d'économie ; des arches reposant sur des piliers (*opus arcuatum*) prennent alors le relais des substructions pour maintenir la canalisation au niveau choisi.

canalizzazione per pulirla, ma in realtà, la loro ripartizione sembra meno regolare di quanto prescritto da Vitruvio.

Nel condotto, l'acqua scorre normalmente a "pelo libero". Dunque, è necessaria una pendenza regolare e costante che, secondo Plinio, non deve essere inferiore a 20 cm al chilometro se si vuole assicurare uno scorrimento regolare; Vitruvio sembra consigliare una pendenza di 5 m al chilometro (ma il manoscritto non è chiaro) e Palladio 9,7, che è enorme. L'inconveniente principale di una pendenza troppo forte è quella di una rapida usura del canale. Quindi, i manuali moderni consigliano di adattare la pendenza al materiale sul quale scorre l'acqua: da 2,115 m al chilometro per dei ciottoli agglomerati e scisti teneri, a 7,432 m al chilometro per il granito. Tuttavia, nessuno ha calcolato la resistenza della malta nel periodo successivo alla costruzione di un canale, e che doveva essere variabile. I dati archeologici mostrano una maggiore diversità: 6,59 m al chilometro per l'acquedotto del Gier a Lione, per esempio. Quando la pendenza diventava troppo forte, si creavano sistemi di caduta per evitare il degrado del canale. Così, sull'acquedotto di Montjeu, che alimentava Autun, ventiquattro cascate permettevano il superamento del dislivello corrispondente alla cascata del ruscello della Toison nella foresta di Brisecou.

Muri di sostegno e arcate

La costruzione di un muro di sostegno si rende necessaria quando il versante diventa troppo in pendenza o quando il canale deve superare un'irregolarità del terreno, vallata, depressione o avvallamento su una linea di cresta. Spesso questo muro è pieno e costruito secondo la tecnica della muratura a secco, l'*opus caementicium* dei Romani. Un muro di questo tipo funge da diga su di un versante; nel caso dell'attraversamento di ruscelli d'importanza secondaria, veniva costruito un passaggio per le acque, secondo il dispositivo chiamato dagli architetti "barbacane" e che si incontra nelle architetture antiche, per esempio, sotto le mura. Quando il muro arriva ad una certa altezza, in generale dell'ordine di 2 m, diventa necessario alleggerire, per ragioni di risparmio, l'opera in muratura; archi, che poggiano su pilastri, (*opus arcuatum*) sostituiscono le costruzioni al fine di mantenere la canalizzazione al livello

L'arche est construite à partir de deux piles ; entre celles-ci, on édifie sur cintre la voûte et les arcs de tête dont les voussoirs sont constitués de briques ou de claveaux taillés et soigneusement parementés ; ils en forme l'ossature. Au-dessus de ces arcs de tête, on monte les parements entre lesquels est coulée la maçonnerie de l'arche. Cette dernière est donc construite par couches horizontales dans la continuité des piles. Enfin, au-dessus, on construit un radier qui v porter le canal. C'est à ce type d'ouvrage qu'appartiennent, sur la commune de Vers-Pont-du-Gard, les ponts à arcades continue de La Lône, Pont-Rou et Valive. Dans cette catégorie on rangera des ouvrages très importantes comme des arches de l'*Aqua Claudia* à Rome, dont les deux niveaux portaient la canalisation à une hauteur de l'ordre de 20m., et les arches de l'*Anio Novus* à Rome qui, d'après Frontin, atteignaient 109 pieds, soit 36m.

Franchissement des vallées

Le franchissement des vallées profondes était assuré par des ponts de deux types. Ce pouvaient être des ponts destinés à maintenir le canal à niveau, cas le plus fréquent. Mais des ponts d'un autre type étaient bâtis lorsque l'on était contraint de recourir au siphon afin de diminuer la hauteur de l'ouvrage à construire.

Dans le premier cas, il faut maintenir le canal à un niveau assez élevé pour que l'eau puisse couler par gravité – d'où l'expression de pont « à niveau ». Mais il faut aussi lui faire franchir un obstacle inquiétant à deux titres : la présence d'une vallée pose un problème topographique ; mais de plus, les eaux qui y coulent, en particulier lors des crues, peuvent menacer les architectures. Les passages du canal sur le pont soulèvent aussi des problèmes particuliers : la pente doit être étudiée avec soin et on dit prévoir des possibilités de détournement des eaux. Le plus remarquable exemple qui ait été publié est celui du grand pont de l'aqueduc de Metz à l'amont duquel on a dégagé un ensemble monumental qi évoque l'architecture d'un nymphée, mais on en connaît aussi un à Ségovie.

scelto.

L'arco viene costruito a partire da due piloni; tra quest'ultimi, si costruiscono su centinatura, la volta e gli archi di testa i cui conci sono costituiti da laterizi o da pietre intagliate e accuratamente rivestite; esse ne formano l'ossatura. Sopra questi archi di testa, vengono montati i paramenti, tra i quali viene gettata la muratura dell'arco. Quest'ultima, dunque, è costruita a strati orizzontali nella continuità dei piloni. Sopra, viene costruita una platea che porterà il canale. È a questo tipo di opera che appartengono, nel comune di Vers-Pont-du-Gard, i ponti su arcuazioni della Lône, Pont-Rou e Valive. In questa categoria si classificheranno alcune opere molto importanti come alcuni archi dell'*Aqua Claudia* a Roma, i cui due livelli portavano la canalizzazione ad un'altezza dell'ordine di m, e gli archi dell'*Anio Novus* a Roma che, secondo Frontino raggiungeva 109 pedi, vale a dire 36 m.

Attraversamento delle valli

L'attraversamento di valli profonde veniva assicurato da due tipi di ponti. Potevano essere ponti destinati a mantenere il livello del canale, caso più frequente. Però, quando si era costretti a ricorrere al sifone per diminuire l'altezza dell'opera da costruire, veniva realizzato un altro tipo di ponte.

Nel primo caso, è necessario mantenere il canale ad un livello abbastanza elevato da permettere lo scorrimento dell'acqua a pelo libero – da cui deriva l'espressione di ponte "a livello". Però, è necessario che superi anche un ostacolo preoccupante per due ragioni: la presenza di una valle crea un problema di ordine topografico; ma per di più, le acque che vi scorrono, in particolar modo durante le piene, possono costituire una minaccia per le costruzioni. Il passaggio del canale sul ponte solleva anche problemi specifici: la pendenza deve essere studiata con cura e devono essere previste possibilità di deviazione delle acque. L'esempio più importante che sia stato mai pubblicato è quello del grande ponte dell'acquedotto di Metz, a monte del quale è stata scoperta una struttura monumentale che richiama l'architettura di un ninfeo. Tuttavia, se ne conosce anche uno a Segovia.

Avec ses 48,77 m., le Pont du Gard, par lequel l'aqueduc de Nîmes franchit le Gardon, est peut-être le plus impressionnant des pont-aqueducs du monde romain. D'autres ne sont pas loin d'une telle hauteur ; le pont de l'aqueduc de Carthage sur l'oued Miliane s'élève à une quarantaine de mètres. Les plus remarquables sont les ponts à trois niveaux qui permettent d'atteindre des hauteurs de l'ordre de 30m. ; c'est en particulier le cas des aqueducs de Tarragone (30 m), de Ségovie (31m), du chabet Illelouïne à Cherchell (30 m), du pont sur la Moselle à Metz (32,50 m).

Mais tout aussi importante que la hauteur du pont est l'ouverture des arches. Dans le cas des parcours sur arches, où les arches ont pour seule fonction d'alléger un mur, des ouvertures de 5,20 à 5,50 m. conviennent. Mais dans celui d'un pont jeté sur un ravin profond ou bien une rivière aux crues violentes, une large ouverture est nécessaire ; on rejoint le problème posé par la construction des pont routiers. Là encore, le pont du Gard se distingue par ses arches majeures de 24m52 m. et 19,20 m. d'ouverture. Les romains savaient construire des arches encore plus larges : 25 m. au pont Aemilius à Rome dès la fin du II^e siècle av. J.-C. ; 22 à 24 m. pour les quatre arches du pont sur la Nera près de Narni sous Auguste ; 34 à 38 m. pour les arches du pont d'El Kantara (Espagne) qui, sous Trajan, permit à une voie de franchir le Tage à une hauteur de près de 54 m. En Turquie, le pont probablement bâti au second siècle par la XVI^e légion près de Kiahta sur la Bôlam-su à 34,20 m. d'ouverture.

La technique la plus usitée dans la construction des ponts consistait à monter des piles dont le fruit (inclinaison) était réalisé soit par une série de décrochement en gradin, soit par une inclinaison régulière du mur donnant un profil trapézoïdal. L'importance de ce fruit transversal est liée à la possibilité d'implanter des fondations. Ainsi, sur l'aqueduc de Cherchell, selon la nature du terrain, le fruit des piles des différents ponts varie de 3,5 % à 5,9 %. Une autre solution consiste à construire des contreforts latéraux. On en connaît aussi bien sur l'aqueduc de Fréjus que sur les ponts espagnols de Mérida et sur les aqueducs de Rome. La présence de contreforts permettait outre de lutter contre la violence des vents.

Con i suoi 48,77 m, il Pont du Gard, con il quale l'acquedotto di Nîmes attraversa il Gardon, è forse il più impressionante dei ponti-acquedotto del mondo romano. Altri però, non son lontani da quest'altezza: il ponte dell'acquedotto di Cartagine sull'uedi Miliane arriva ad una quarantina di metri. Gli esempi più importanti sono quelli dei ponti a tre livelli che permettono di raggiungere altezze di circa 30m; è il caso, in particolare, degli acquedotti di Tarragona (30 m), di Segovia (31 m), del torrense *Illelouîne* a Cherchell (30m), del ponte sulla Mosella a Metz (32,50 m).

Di eguale importanza, è l'apertura degli archi. Nel caso di percorsi su archi, in cui questi ultimi hanno la sola funzione di alleggerire il muro, si consigliano delle aperture di circa 5,20 – 5,50 m. Nel caso invece di un ponte gettato su di un profondo fossato o su di un fiume dalle violente piene, è necessaria un'ampia apertura; ci si ricollega, così, al problema posto dalla costruzione dei ponti stradali. Anche in questo caso, il Pont du Gard si distingue con i suoi archi di 24,52 m e 19,20 m di apertura. I Romani erano in grado di costruire archi ancora più grandi: 25m per il ponte Emilio a Roma, risalente alla fine del II secolo a.C.; da 22 a 24 m per i quattro archi del ponte sulla Nera presso Narni, risalenti al periodo di Augusto; da 34 a 38 m per gli archi del ponto di El Kantra (Spagna) che, sotto Traiano, permise ad una strada di attraversare il Tago ad un'altezza quasi di 54 m. In Turchia, il ponte costruito probabilmente nel secondo secolo dalla XVI legione presso Kiahta sulla Bõlam-su ha un'apertura di 34,20 m.

La tecnica più in uso nella costruzione dei ponti consisteva nell'innalzare dei piloni la cui scarpa (inclinazione) veniva realizzata o da una serie di terrazzamenti, o con un'inclinazione regolare del muro, dando così un profilo trapezoidale. L'importanza di questa scarpa trasversale è legata alla possibilità di fissare le fondamenta. Così, sull'acquedotto di Cherchell, secondo la natura del terreno, la scarpa dei piloni dei diversi ponti varia da 3,5% s 5,9%. Un'altra soluzione consiste nel costruire dei contrafforti laterali. Se ne conoscono sia sull'acquedotto del Fréjus che sui ponti spagnoli di Merida e sugli acquedotti di Roma. La presenza dei contrafforti permetteva, inoltre, di lottare contro la violenza dei venti.

L'effet du vent sur la structure d'un pont ne peut en effet être sous-estimé. Pour l'un des ponts de l'aqueduc de Chercell, on a calculé qu'un vent de 234,6 km/h pouvait renverser l'ouvrage. Une étude de ce type portant sur l'effet de la force du vent sur la structure de Pont du Gard a permis de conclure que des vents d'une vitesse supérieure à 215 km/h désolidariseraient les piliers de leurs supports.

La hauteur des piles est limitée par les risques de déformation latérale (flambage ou flambement). Deux techniques ont été utilisées pour élever les ponts à une hauteur suffisante. La plus usitée est celle des ponts superposés, de hauteur le plus souvent décroissante, les piles supérieures reposant normalement sur l'axe des piles inférieures. Les ponts ainsi construits ont deux à trois étages. Mais on peut également lutter contre la déformation des arches par l'insertion d'entretoises à une certaine hauteur. Cette technique des arches entretoisées est relativement fréquente sur les petits ponts servant à franchir un ravin profond, mais elle est aussi utilisée sur les grands ponts à condition qu'ils ne soient pas trop élevés, comme c'est le cas à Merida en Espagne ou à *Caesarea* et *Saldae* en Algérie. Les deux techniques sont complémentaires. Ainsi, à *Caesarea*, le pont le plus haut, celui du chabet lleloïne, qui paraît avoir eu trois étages, comporte en réalité un premier pont de 8 m. de haut sur lequel sont élevée des piles de plus de 20 m. de haut renforcées à mi-hauteur par un arceau d'entretoisement. Le Pont du Gard comporte deux ponts superposés sur lesquels a été édifiée une série d'arches dont l'ouverture est celle adoptée normalement pour les substructions : le Pont du Gard a rendu familier un profil qui paraît en réalité assez particulier.

Conduites sous pressions : les siphons

L'histoire des progrès techniques est une donnée essentielle pour la compréhension du tracé des aqueducs. Les siphons en fournissent un bon exemple. T. Hode écrit en conclusion d'un article consacré à ces ouvrages :

L'effetto del vento sulla struttura di un ponte non può, effettivamente, essere sottovalutato. Per uno dei ponti dell'acquedotti di Cherchell, si è calcolato che un vento di 234,6 km/h poteva ribaltare tutta l'opera. Uno studio di questo tipo, incentrato sull'effetto della forza del vento sulla struttura del Pont du Gard, ha permesso di arrivare alla conclusione che venti con una velocità superiore ai 215 km/h farebbero sganciare i pilastri dai loro supporti.

L'altezza dei piloni è limitata dai rischi di una deformazione laterale (incurvatura o incurvamento). Per portare i ponti ad un'altezza sufficiente, sono state utilizzate due tecniche. La più in uso è quella dei ponti sovrapposti, spesso di altezza decrescente, con i piloni superiori che normalmente poggiano sull'asse di quelli inferiori. I ponti così costruiti hanno da due a tre ordini. Si può lottare contro la deformazione degli archi anche mediante l'inserimento, ad una certa altezza, di una traversa di rinforzo. Questa tecnica degli archi controventati è relativamente frequente sui piccoli ponti che servivano all'attraversamento di fossati profondi. Questa veniva utilizzata però, anche sui grandi ponti, a condizione che non fossero troppo alti, come nel caso di Merida in Spagna o a *Caesarea* e a *Saldae* in Algeria. Le due tecniche sono complementari. A *Caesarea*, ad esempio, il ponte più alto, quello del torrente Ilelouïne, che sembra aver avuto tre livelli, comporta in realtà un primo ponte di 8 m di altezza, sul quale si innalzano dei piloni alti più di 20 m, rinforzati a mezza altezza da un piccolo archetto di rinforzo. Il Pont du Gard consiste di due ponti sovrapposti, sui quali è posta una serie di archi la cui apertura è quella adottata normalmente per le sostruzioni: il Pont du Gard ha reso familiare un profilo che in realtà sembrava abbastanza caratteristico.

Condotte sotto pressione: i sifoni

La storia del progresso tecnico è un dato essenziale per la comprensione del tracciato degli acquedotti. I sifoni ne forniscono un buon esempio. T. Hodge a conclusione di un articolo dedicato a questo tipo di opere scrive:

« Les Romains n'ont pas construit les Arches majestueuses du Pont du Gard simplement pour leur côté grandiose... La vraie raison est d'ordre économique. C'est parce que les ponts-aqueducs étaient moins coûteux que les siphons inversés. » Inversement, on se remit à construire des siphons à partir du XVII^e siècle, quand de nouveaux procédés de fabrication eurent abaissé le coût des canalisations de fonte. Ainsi, sous Louis XIV, pour l'aqueduc alimentant Versailles en eau, Vauban avait proposé la construction d'un siphon (« aqueduc rampant ») au-dessus de l'Eure. Louvois avait refusé cette solution à cause de son coût ; mais élever un ouvrage de 73 m. de haut se heurtait à de redoutables obstacles, et finalement, on opta pour l'installation d'un siphon empruntant des tuyaux de fonte sur les arches achevées du premier étage.

Le mot *siphon* apparaît alors pour désigner « un tube courbé utilisé pour transférer un liquide d'un niveau donné à un niveau inférieur, en passant par un niveau supérieur aux deux autres ». Le mot, emprunté au latin *sipho* et au grec *siphôn*, signifie tube creux. La technologie du siphon était partiellement maîtrisée au cours de l'Antiquité. Tout le système de distribution d'eau aux fontaines de Poméi est fondé sur des conduites de plomb munies de robinets et alimentant des châteaux d'eau secondaires qui assurent à la fois une régulation et une réduction de la pression. Mais surtout, on connaît plusieurs exemples remarquables d'utilisation de siphons dans des cas où la construction d'un pont était irréalisable. À Lyon, en particulier, cette technique dut être systématiquement utilisée. Il ne s'agit pas en fait de véritables siphons – qui, eux, permettent de franchir une ligne de hauteur sans creuser un tunnel -, mais de « siphons inversés », qui utilisent le procédé des vases communicants, quand une dépression aurait obligé à construire un pont trop élevé.

L'un des plus étonnants est celui que réalisa dans la première moitié du II^e siècle av. J.-C. le roi de Pergame, en Asie Mineure, pour alimenter en eau sa capitale. Pergame était construite sur une colline culminant à 300 m. et séparée des montagnes situées au nord par une dépression profonde de près de 190 m. et large d'environ 3 km. Les ingénieurs grecs réussirent à y placer une conduite forcée formée de tuyaux métallique de 0,30 m de diamètre externe encastré dans des plaques verticales de trachyte, distantes de 1,20 m.

«I Romani non hanno costruito gli archi maestosi del Pont du Gard semplicemente per il loro aspetto grandioso... La vera ragione è di ordine economico. Il motivo è che i ponti-acquedotti erano meno costosi dei sifoni rovesci».

Viceversa, si è ricominciato a costruire sifoni a partire dal XVII secolo, quando nuovi processi di fabbricazione abbassarono il costo delle canalizzazioni di ghisa. Infatti, sotto Luigi XVI, per l'acquedotto che alimentava Versailles, Vauban aveva proposto la costruzione di un sifone ("acquedotto rampante") sotto l'Eure. Louvois aveva rifiutato questa soluzione a causa del suo costo; tuttavia, erigere un'opera di 73 m di altezza incontrava dei temibili ostacoli, e finalmente, si optò per l'installazione di un sifone costituito da tubi di ghisa posizionati sui fornicati finiti del primo ordine.

La parola *sifone* veniva dunque usata per designare « un tubo ricurvo utilizzato per il trasporto di un liquido da un dato livello ad uno inferiore, passando per un livello superiore agli altri due». La parola, presa in prestito dal latino *sipho* e dal greco *siphôn*, significa tubo concavo. La tecnologia del sifone, nell'Antichità, era conosciuta solo in parte. L'intero sistema di distribuzione dell'acqua alle fontane di Pompei è basato su dei condotti di piombo, muniti di rubinetti, che alimentavano dei castelli d'acqua secondari che assicuravano sia una regolazione che una riduzione della pressione. La cosa più importante però, è che si conoscono molti esempi importanti di utilizzo di sifoni nei casi in cui la costruzione di un ponte era irrealizzabile. A Lione, in particolar modo, questa tecnica deve essere stata utilizzata sistematicamente. Non si tratta, di fatto, di veri sifoni – che permettono di superare una determinata altezza, senza dover scavare un canale –, ma di «sifoni rovesci», che utilizzano il processo dei vasi comunicanti, quando invece una depressione avrebbe obbligato a costruire un ponte troppo alto.

Uno dei più straordinari è quello che realizzò, nella prima metà del II secolo a.C., il re di Pergamo, in Asia Minore, per rifornire d'acqua la sua capitale. Pergamo era costruita su una collina di 300 m e separata dalle montagne situate a nord da una depressione di quasi 150 m di profondità e di circa 3 km di lunghezza. Gli ingegneri greci riuscirono a porvi una condotta forzata formata da tubi metallici, di circa 0,30 m di diametro esterno, incastrati in lastre verticali di trachite, distanti 1,20 m. Gli

Les ingénieurs modernes ont évalué la vitesse du courant à 1,20 m/s et le débit à 45 l/s. Il s'agit là d'une authentique prouesse technique comparable aux plu grandes réalisations hydrauliques de notre temps. Deux siècles plus tard, les ingénieurs romains réalisèrent un exploit comparable dans la construction des aqueducs de Lyon. Les archéologues ont dénombré huit siphons dont le plus remarquable traverse, à Beaunant, la vallée de l'Yzeron sur une largeur de 2,6 km. Ces siphons étaient constitués de tuyaux de plomb d'un diamètre moyen de 27 cm. Passant sur un pont dont la hauteur diminuait d'autant la dénivellation à franchir. Un pont à siphon se reconnaît à sa largeur qui, pour supporter les tuyaux en batterie, est beaucoup plus large qu'un pont à canal. Le mieux conservé, celui de Beaunant, à 17 m de hauteur et la dénivellation à franchir est de 123m. La quantité de plomb utilisée pour de tels ouvrages est impressionnante : 12 à 15.000 tonnes, soit le cinquième de la production européenne en 1700.

Normalement, les tuyaux de plomb d'un siphon sont placés sur un ouvrage maçonné. Il devait en être ainsi à Lyon, mais, en fait, on ignore la manière exacte dont était franchi un fleuve comme le Rhône : les tuyaux reposaient-ils sur un pont ou directement dans le lit du fleuve ? Même problème pour Vienne et Arles où l'on doit envisager soit un pont portant un canal où l'eau s'écoulait par gravité, soit plutôt un pont routier ; cette solution dont on n'a pas de preuve archéologique paraît attestée par Frontin lorsqu'il explique que l'approvisionnement en eau du Trastevere pouvait être interrompu pour la réparation des ponts (Frontin XI, 79-86). Quant à l'hypothèse d'un siphon dans le fleuve, elle repose sur la découverte de fragments de tuyaux de plomb trouvés dans le lit du Rhône entre 1870 et 1882.

Franchissements souterrains : les tunnels

Les Romains construisaient des tunnels lorsqu'un point haut interdisait le passage d'une vallée dans une autre et qu'ils ne pouvaient ni le contourner ni le surpasser. Mais on n'hésitait pas à faire passer un ouvrage en souterrain, même quand le contournement de l'obstacle était apparemment aisé. À une époque où la construction en grand appareil était très prisée, tailler l'emprise d'une canalisation dans le rocher était une

ingegneri moderni hanno valutato la velocità della corrente a 1,20 m/s e la portata a 45 l/s. Si tratta di un'autentica prodezza tecnica, da considerare alla stregua delle più grandi realizzazioni idrauliche dei nostri tempi. Due secoli più tardi, gli ingegneri romani realizzarono un'impresa simile con la costruzione degli acquedotti di Lione. Gli archeologi hanno contato otto sifoni di cui il più importante attraversa, a Beaunant, la valle dell'Yzeron su una larghezza di 2,6 km. Questi sifoni erano costituiti da tubature di piombo di 27 cm circa di diametro, che passavano su di un ponte la cui altezza diminuiva proporzionalmente il dislivello da superare. Un ponte a sifone si riconosce dalla sua larghezza che, per supportare i tubi in batteria, è molto più largo di un ponte a canale. Il meglio conservato, quello di Beaunant, ha 17 m di altezza e il dislivello da superare è di 123.. La quantità di piombo utilizzato per questo tipo di strutture è impressionante: da 12 a 15.000 tonnellate, ossia, un quinto della produzione europea nel 1700.

Normalmente i tubi di piombo di un sifone si trovano su di una struttura in muratura. Doveva essere così a Lione, ma, in realtà, si ignora la modalità esatta con la quale veniva attraversato un fiume come il Rodano: le tubazioni riposavano su di un ponte o direttamente nel letto del fiume? Stesso problema per Vienne e Arles, dove si deve pensare o ad un ponte che trasportava un canale in cui l'acqua scorreva a pelo libero, o piuttosto ad un ponte stradale; questa soluzione, di cui non abbiamo alcuna prova archeologica, sembra essere confermata da Frontino, quando spiega che l'approvvigionamento idrico di Trastevere poteva essere interrotto per la riparazione dei ponti (Frontino XI, 79-86). Riguardo invece l'ipotesi di un sifone nel fiume, essa si basa sulla scoperta di frammenti di tubature di piombo, trovati nel letto del Rodano tra il 1870 e il 1882.

Attraversamenti sotterranei: i tunnel

I Romani costruivano tunnel quando un punto elevato, non potendo né essere aggirato, né superato, impediva il passaggio da una valle ad un'altra. Non esitavano però a far passare una struttura sottoterra, anche quando aggirare l'ostacolo era apparentemente facile. In un'epoca in cui la costruzione nella roccia era una scelta usata

option fréquemment retenue. Ainsi, sur l'aqueduc voisin d'Arles, à l'aval du pont par lequel est assuré le franchissement du Vallon des Arcs, on a choisi de tailler sur plusieurs dizaines de mètres dans la crête du chaînon de la Penne un fossé large de plus de deux mètres dans lequel était ensuite maçonné un canal, alors qu'il aurait été possible d'appuyer le canal au rocher.

On connaît sur l'aqueduc de Nîmes une brève série de tunnel à Sernhac. Il en existait un à l'entrée dans Nîmes, au col de la Crois-de-Fer. Ces ouvrages surprennent dans la mesure où ils ne sont rendus nécessaires par aucune contrainte topographique. L'explication qui a paru la plus vraisemblable fait appel à la prise en compte de travaux et d'ouvrages antérieurs comme les carrières de Sernhac ou l'enceinte de Nîmes.

La technique de percement d'un tunnel comme de longue date, était bien maîtrisée par les Romains. Les travaux de ce type sont très nombreux. Malgré la célébrité que lui assure son inscription, le tunnel de 428 m. que construisit Nonius Datus pour l'aqueduc amenant l'eau de Toudja à Bougie sous le col d'El Abel n'est sans doute pas un grand exploit technique : très tôt, grâce aux techniques minières, on sut creuser des galeries qui pouvaient avoir plusieurs kilomètres, comme le montre l'exemple célèbre du tunnel de Samos. Le plus important ouvrage de ce type en Gaule du Sud est incontestablement le tunnel de plusieurs kilomètres qui permettait aux eaux captées dans le val de Durance, près de Jouques, d'atteindre *Aquae Sextiae* (Aix-en-Provence) en passant plusieurs dizaines de mètres sous le plateau de Venelles.

Pour repérer les directions, les ingénieurs géomètres disposaient de la *dioptra*, qui avait été perfectionnée par Héron d'Alexandrie et adaptée aux visées atmosphériques. Il s'agissait d'un goniomètre de visée dont l'alidade était munie d'un niveau d'eau ; elle était utile pour les mesures angulaires. Après avoir jalonné le tracé du canal, on creusait des puits à partir de la surface jusqu'au niveau souhaités, puis on reliait chaque puit par des galeries horizontales dans lesquels le canal était construit. Le problème était de faire se rejoindre les galeries lorsque les puits étaient espacés (cas des galeries creusées à grande profondeur) o lorsque

frequentemente. Infatti, nel vicino acquedotti di Arles, a valle del ponte attraverso il quale viene assicurato l'attraversamento del Vallon des Arcs, si è preferito scavare, su svariate decine di metri, sulla cresta della catena montuosa della Penne, un fossato largo più di due metri nel quale veniva in seguito costruito un canale in muratura, quando sarebbe stato possibile appoggiare il canale alla roccia.

Sull'acquedotto di Nîmes, e più precisamente a Sernac, si conosce una breve serie di tunnel. All'entrata a Nîmes, ne esisteva uno, sul valico della Croix-de-fer. Queste opere sorprendono nella misura in cui non sono state rese necessarie da alcun problema topografico. La spiegazione che è apparsa più verosimile è basata sul fatto di aver preso in considerazione i lavori e le opere precedenti, come le cave di Sernac o le mura di Nîmes.

La tecnica dello scavo di un tunnel, conosciuta già da molto tempo, era molto conosciuta dai Romani. I lavori di questo tipo sono molto numerosi. Malgrado la celebrità che gli assicura la sua iscrizione, il tunnel di 428 m che costruì Nonio Dato per l'acquedotto che portava l'acqua da Toudja a Bejaïa, sotto il valico di El Abel, probabilmente non è una grande impresa a livello tecnico: molto presto, grazie alle tecniche minerarie, si è stati in grado di forare delle gallerie di molti chilometri, come mostra il celebre esempio del canale di Samo. L'opera di questo tipo più importante nella Gallia del Sud è incontestabilmente il canale, di svariati chilometri, che permetteva alle acque captate nella valle della Durance, vicino Jouques, di raggiungere *Aquae Sextiae* (Ain-en-Proence), percorrendo molte decine di metri sotto l'altopiano di Venelles.

Per stabilire le direzioni, gli ingegneri geometri disponevano della *dioptra*, che era stata perfezionata da Erone di Alessandria e adattata alle condizioni atmosferiche; si trattava di un goniometro con mirino la cui alidada era munita di un livello d'acqua; era utile per le misurazioni angolari. Dopo aver picchettato il tracciato del canale, si scavavano dei pozzi a partire dalla superficie fino al livello desiderato, poi si collegava ogni pozzo attraverso delle gallerie orizzontali nelle quali veniva costruito il canale. Il problema era quello di collegare le gallerie nel momento in cui i pozzi erano distanti uno dall'altro (caso di gallerie scavate a grande profondità) o quando

celles-ci étaient creusées sans puits intermédiaire en partant des deux côtés d'une montagne comme dans le cas du projet de galerie pour l'aqueduc de Bougie. Dans ce cas – et c'est une caractéristique des technologies antiques – le savoir-faire du topographe (le *librator*) palliait la simplicité de l'appareillage ; mais les données archéologiques sont là pour nous prouver que des galeries étaient menées en souterrain sur des distances considérables (aqueduc de Bologne). Avec des techniques extrêmement simples, les Iraniens ont su construire des *qanats* (galeries souterraines destinées à l'irrigation) dont le plus long atteint une centaine de kilomètres. À Lyon, le siphon de Chagnon a été abandonné au profit d'un tracé long qui a entraîné la construction d'un tunnel (« la Cave du Curé »).

Tout cet ensemble complexe nécessitait un savoir-faire déjà sophistiqué tant pour mener à bien les travaux que pour assurer ensuite le bon fonctionnement de l'aqueduc et une efficacité optimale.

Le chantier nîmois

Le premier à s'être intéressé systématiquement à l'organisation d'un chantier d'aqueduc est l'architecte russe I.-S. Nikolaev en 1967. À partir d'une tentative de reconstitution de chantier, de son organisation dans le secteur du Pont du Gard et d'une évaluation du rendement moyen de la main-d'œuvre, il avance deux hypothèses sur le nombre d'ouvriers qui auraient été occupés sur le chantier. Pour lui, tout dépend du type d'engin de levage utilisé et de ses performances. Dans le cas d'une utilisation d'engins moins performants, un millier d'hommes, dont 200 environ qualifiés, étaient nécessaires, si l'on utilisait 5 à 6 grandes grues, du type de celle représentée sur le relief des Haterii, le nombre d'ouvrier pouvait être réduit de 25 à 30%. Mais dans les deux hypothèses, les délais étaient identiques : deux à trois ans. Ces évaluations mériteraient d'être reprises en fonction des travaux réalisés depuis sur les techniques de levage ; ils s'appuient sur une meilleure connaissance des textes de Vitruve et des *architecti* et *mechanici* antiques et sur les représentations d'engins, dont on dispose parallèlement aux observations faites sur les monuments construits.

L'analyse des galeries de Sernhac, et particulièrement celle des traces d'outils sur les parois, a permis de restituer l'organisation du chantier de creusement et sa durée probable :

queste ultime erano scavate senza pozzi intermedi partendo da due versanti di una montagna, come nel caso del progetto della galleria per l'acquedotto di Bejaïa. In questo caso – ed è caratteristico delle tecnologie antiche – le conoscenze del topografo (il *librator*) ovviavano alla semplicità della struttura; i dati archeologici però, provano che venivano costruite delle gallerie sotterranee e a distanze considerevoli. Con delle tecniche estremamente semplici, gli iraniani hanno saputo costruire dei *qanat* (gallerie sotterranee destinate all'irrigazione) di cui il più lungo raggiungeva un centinaio di chilometri. A Lione, il sifone di Chagnon è stato abbandonato in favore di un lungo tracciato che ha comportato la costruzione di un canale ("la Cave du Curé").

Tutto questo complesso sistema richiedeva conoscenze tecniche già sofisticate, sia per portare a termine i lavori che per assicurare, dopo, il buon funzionamento dell'acquedotto e un'efficacia ottimale.

Il cantiere di Nîmes

Il primo ad essersi sistematicamente interessato all'organizzazione di un cantiere di un acquedotto è l'architetto russo L-S. Nikolaev nel 1967. A partire da un tentativo di ricostituzione del cantiere, della sua organizzazione nel settore del Pont du Gard e da una valutazione del rendimento medio della mano d'opera, si avanzano due ipotesi riguardo il numero di operai che sarebbero stati impiegati nel cantiere. Secondo Nikolaev, tutto dipende dalla capacità delle macchine di sollevamento usate. Nel caso di utilizzo di macchine meno efficienti, erano necessari un migliaio di uomini, di cui circa 200 qualificati; utilizzando da 5 a 6 gru, simili a quella rappresentata sul rilievo degli Haterii, il numero degli operai poteva venire ridotto del 25-30%. Nelle due ipotesi, però, i tempi erano identici: da due a tre anni. Queste valutazioni meriterebbero d'essere riprese in funzione dei lavori realizzati successivamente sulle tecniche di sollevamento; queste si basano su una migliore conoscenza dei testi di Vitruvio e degli *architecti* e *mechanici* antichi e sulle rappresentazioni delle macchine, di cui siamo a conoscenza parallelamente alle osservazioni fatte sui monumenti costruiti.

L'analisi delle gallerie di Sernac, e in particolar modo quella delle tracce di utensili sulle pareti, ha permesso di restituire l'organizzazione dei cantieri di scavo e la sua

deux mois pour six équipes réparties sur soixante mètres aux Cantarelles. Pour ce qui est des terrassements sur le reste du parcours, on ne possède aucune donnée aussi précise. On observera toutefois que ces travaux, effectuée pour l'implantation du canal en tranchée, à flanc de coteau et pour les fondations des ouvrages d'art, ont rencontré des rendements différents et une main-d'œuvre regroupée par équipes spécialisées et habituées à employer des méthodes et des outils appropriés à chaque type de substrat. Cette main-d'œuvre était globalement peu qualifiée, mais une hiérarchie parmi les terrassiers pouvait exister. Il faut en effet plus d'habileté et d'expérience pour exécuter un enrochement dans des calcaires durs que pour creuser une tranchée dans des terrains détritiques plus tendres.

La mise en œuvre des matériaux dans la construction a pris des formes diverses. Il convient de distinguer l'aménagement des fondations et des élévations et, dans ces dernières, la construction en grand appareil à joints vifs et la maçonnerie à parement en petit appareil. Le grand appareil suppose une préparation des matériaux en dehors du chantier et l'intervention, en amont des maçons, de plusieurs corps de métier : carriers, charpentiers (cintre, engins, instruments de levage) ; forgerons (outils, clouterie), chauffourniers et donc bûcherons et transporteurs.

Aucun four à chaux contemporain de la construction de l'aqueduc n'a été trouvé. Nous supposons seulement la présence de fours (à chaux ou à tuiles) dans le quartier des Grands Aires au sud-est de Vers-Pont-du-Gard où une très importante quantité de blocs rubéfiés de molasse et de tuiles antiques jonchent le sol.

La fouille des ponts à arcades de Vers a révélé que le mortier était préparé sur place comme le montre la couche de sable quartzéux à 1,20 m. du monument sur le sol de bouchage d'une des arches. Sur le travail des maçons, elle nous a appris que les moellons étaient retaillés sur les échafaudages fixes au bâti par des boulins transversaux. En témoignent cette couche de brasier qui se perd à un mètre environ du monument et les trous rectangulaires ménagés à intervalles réguliers dans les parements.

possibile durata: due mesi per sei squadre ripartite su sessanta metri alle Cantarelles. Per quel che riguarda i lavori di sterro sul resto del percorso, non abbiamo nessun dato così preciso. Tuttavia, si osserverà che questi lavori, effettuati per l'installazione del canale in trincea, a fianco di una collinetta e per le fondamenta degli acquedotti, hanno incontrato dei substrati di origine e resistenza diverse. Bisogna dunque immaginare delle rese differenti ed una mano d'opera raggruppata in squadre specializzate e abituate ad usare metodi e mezzi appropriati ad ogni tipo di substrato. Questa mano d'opera era in generale poco qualificata, tuttavia, poteva esistere una gerarchia tra gli sterratori: effettivamente è necessaria una maggiore abilità ed esperienza per eseguire una massicciata in calcari duri, che per scavare una trincea in terreni detritici più teneri.

Nella costruzione, la posa in opera dei materiali ha preso diverse forme. È necessario distinguere tra la struttura delle fondazioni e quella degli alzati e, in quest'ultimo caso, tra costruzione in opera quadrata a giunti vivi e la muratura con paramenti di pietre di piccole dimensioni. La muratura in opera quadrata prevede una preparazione dei materiali, al di fuori del cantiere e l'intervento, a monte dei muratori, di svariate maestranze: cavapietre, carpentieri (centine, macchinari, strumenti per il sollevamento), fabbri (utensili, chioderia), fornaciai e quindi taglialegna e trasportatori.

Non è stato ritrovato alcun forno a calce contemporaneo alla costruzione dell'acquedotto. Si può ipotizzare solamente la presenza di forni (a calce o a tegole) nel quartiere di Grand-Aires a sud-est di Vers-Pont-du-Gard, in cui una quantità importante di blocchi rossastri di molassa e di antiche tegole ricoprono il suolo.

Lo scavo delle arcuazioni di Vers ha rivelato che la malta veniva preparata sul posto come viene mostrato dallo strato di sabbia quarzosa a 1,20 m dal monumento sul suolo di chiusura di uno degli archi. Riguardo il lavoro dei muratori, dallo scavo abbiamo appreso che le pietre da costruzione venivano ritagliate sui ponteggi, fissati alla struttura attraverso travicelli trasversali. A testimonianza di ciò, vi è questo strato di braci che si perde a un metro circa dal monumento e i fori rettangolari ad intervalli regolari presenti nei paramenti.

On a observé en plusieurs endroits que le cuvelage des parois verticales du canal avait été réalisé après les travaux de maçonnerie, en particulier après la pose des premiers claveaux de la voûte si ce n'est de la voûte toute entière et, dans ce dernier cas, après enlèvement des cintres. Partout, le chanfrein supérieur du béton de tuileau vient mourir sur le sommet de la première rangée des claveaux posés généralement en léger retrait.

Ce cuvelage est le résultat de trois opérations successives puisque le béton de tuileau a été appliqué par des maçons en deux couches différentes, puis peint en rouge. Ces travaux supposent la même préparation des matériaux que pour le gros ouvrage, mais ils impliquent, en outre, l'intervention d'équipes chargées de la récupération, du transport, du concassage et du tamisage des briques, tuiles et amphores cassées. Après achèvement de la voûte, sont extradados était toujours recouvert d'un enduit de mortier de sable et de chaux, y compris lorsqu'elle devait disparaître sous un épais remblai.

Partout où le canal était implanté en tranchée profonde (piémont des garrigues d'Uzès, haute Vistrenque), il a fallu remblayer après la construction. Cette opération n'était toutefois pas nécessaire à flanc de coteau, comme dans les Bois de Remoulins. Contrairement aux deux étapes précédentes qui nécessitaient une main-d'œuvre qualifiée et spécialisée en raison de son lien direct à la construction, celle-ci, comme la première, pouvait être assurée par des manœuvres.

Chaque fois qu'est intervenue sur l'aqueduc une nouvelle phase de construction liée à des aménagements, des consolidations ou des restaurations, plusieurs des opérations qui viennent d'être décrites ont été reprises. Les traces de ces interventions successives permettent d'apprécier des similitudes et des différences par rapport aux techniques utilisées au départ. Mais si l'archéologie permet d'identifier les techniques et les corps de métier et même d'appréhender l'organisation pratique du chantier, elle n'est ici d'aucun secours pour reconnaître l'organisation sociale du travail. L'épigraphie nîmoise, si riche par ailleurs, ne fournit dans ce domaine aucun indice.

In svariati luoghi, si è osservato che il rivestimento delle pareti verticali del canale era stato realizzato dopo i lavori di muratura, in particolare dopo la posa dei primi conci della volta, se non dell'intera volta e, in quest'ultimo caso, dopo aver tolto le impalcature. Ovunque le smussature superiore del calcestruzzo di cocchiopesto va a morire sulla sommità della prima fila di conci posti generalmente in posizione leggermente arretrata.

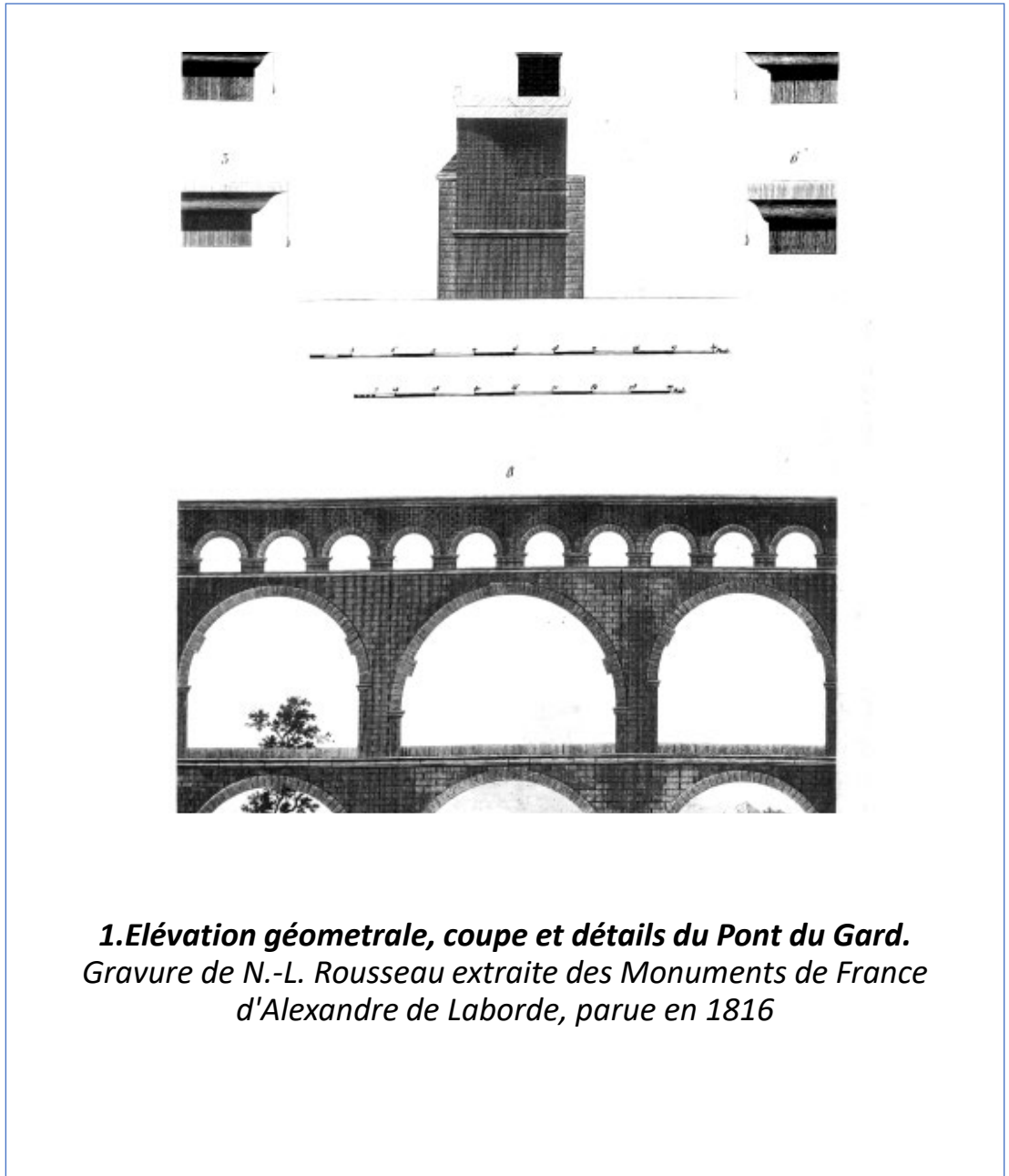
Questo rivestimento è il risultato di tre operazioni successive poiché il calcestruzzo di cocchiopesto è stato applicato da muratori in due strati diversi, in seguito dipinti di rosso. Questi lavori prevedono la stessa preparazione dei materiali necessaria per il rustico, ma in più, implicano l'intervento di squadre incaricate del recupero, trasporto, frantumazione e setacciatura dei mattoni, tegole e anfore rotte. Dopo il completamento della volta, il suo estradosso veniva sempre ricoperto di un intonaco di malta di sabbia e calce, anche quando andava a scomparire sotto uno spesso strato di riporto.

Laddove il canale era impiantato in una profonda trincea (ai piedi delle garighe d'Uzès, alta Vistrenque), dopo la costruzione è stato necessario rinterrare. Questa operazione, tuttavia, non era necessaria sui fianchi delle colline, come nelle Foreste di Remoulins. Contrariamente alle due tappe precedenti che necessitavano una mano d'opera qualificata e specializzata a causa del legame diretto con la costruzione, questa, come la prima, poteva essere assicurata da manovali.

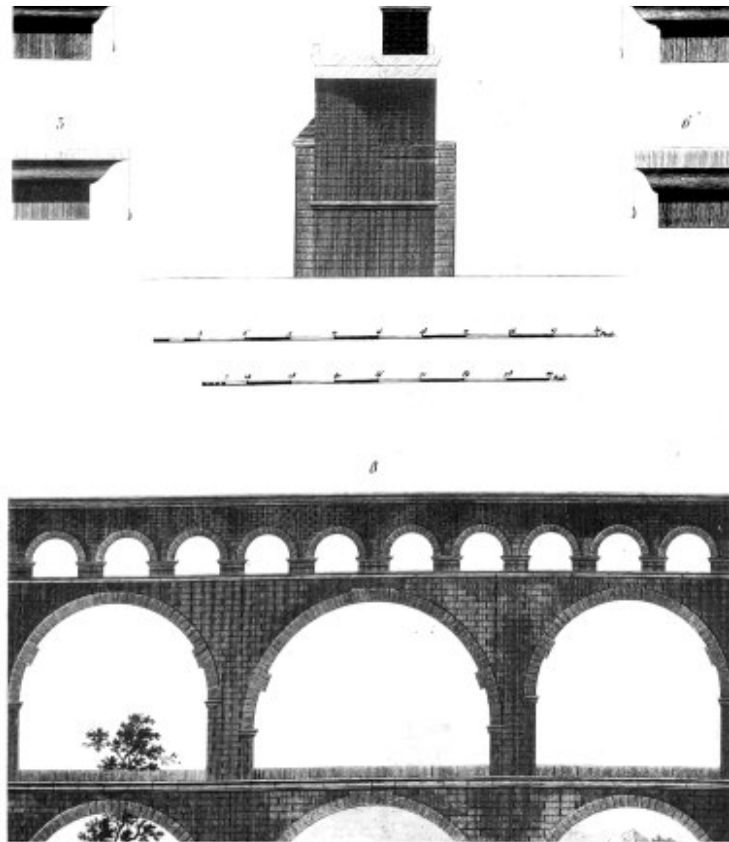
Ogni volta che sull'acquedotti è intervenuta una nuova fase di costruzione legata a lavori, di consolidamento o di restauro, molte delle operazioni appena descritte sono state riprese. Le tracce di questi interventi successivi permettono di valutare le similitudini e le differenze in rapporto alle tecniche utilizzate all'inizio. Ma se l'archeologia permette d'identificare le tecniche e le maestranze e persino di capire l'organizzazione pratica del cantiere, in questa sede non è di alcun aiuto per riconoscere l'organizzazione pratica del cantiere, in questa sede non è di alcun aiuto per riconoscere l'organizzazione sociale del lavoro. L'epigrafe di Nîmes, d'altronde così ricca, in questo campo non dà alcun indizio.

appendice

APPENDICE



1.Elévation géométrale, coupe et détails du Pont du Gard.
*Gravure de N.-L. Rousseau extraite des Monuments de France
d'Alexandre de Laborde, parue en 1816*



1. Alzato geometrico: sezione e particolari del Pont du Gard.
Incisione di N. -L. Rousseau estratta dai "Monumenti di Francia"
di Alexandre De Laborde, uscito nel 1816



2 Une portion de l'aqueduc de Dougga, en Tunisie

Cet aqueduc, qui alimentait les grands thermes de Dougga, date probablement de la période des Sévères, au III^e siècle apr. J.-C. Ses piles et ses arches sont construites avec des blocs de grand appareil à bossages



3. L'aqueduc de Cherchell, en Algérie

L'aqueduc de Caesarea conduisait les eaux de Menacer à Cherchell sur un parcours de 45 km. L'aqueduc daterait de la première moitié du I^{er} siècle apr. J.-C. mais la construction du pont du Chabel Ielouïne au II^e siècle apr. J.-C. aurait permis de raccourcir son tracé initial. Les deux étages supérieurs du pont sont entretoisés.



2. Parte dell'acquedotto di Dougga in Tunisia

Quest'acquedotto che alimentava le grandi Terme di Dougga, risale probabilmente al periodo dei Severi, III secolo d.C. I suoi piloni e gli archi sono costruiti con blocchi in opera quadrata a bugne.



3. Acquedotto di Cherchell, in Algeria

L'acquedotto di Cesarea conduceva le acque da Menacer a Cherchell su un percorso di 45 km. L'acquedotto risalirebbe alla prima metà del I° secolo d.C., ma la costruzione del ponte dello chabel Ilelouine nel II secolo d.C., avrebbe permesso di ridurre il suo tracciato iniziale. I due ordini superiori sono stati controventati.



4. Le pont d'Ambrussum à Lunel

Malgré sa masse imposante et la présence d'avant-becs épaulant ses piles, des eaux ont fini par endommager les arches de cet ouvrage qui permettait à la voie Domitienne de franchir le lit du Vidourle



4. Il Ponte di Ambrussum a Lunel

Malgrado la struttura imponente e la presenza di antibecchi che sostengono i piloni, le acque hanno finito per danneggiare gli archi di quest'opera idraulica che permetteva alla via Domiziana di attraversare il letto del Vidourle



5. L' *Aqua Claudia, Via Latina*

Long de près de 70 km, cet aqueduc de Rome qui prenait sa source près de l'aqua Marcia, dans la vallée de l'Ainio, est l'un des grands travaux du règne de l'empereur Claude. La construction ultérieure d'ouvrages d'art permit de raccourcir la longueur de son tracé.



5. L'Aqua Claudia, Via Latina

Lungo quasi 70 km, quest'acquedotto di Roma che aveva la sua sorgente vicino a quella dell'Aqua Marcia, nella Valle dell'Aniene, è uno dei grandi lavori del regno dell'imperatore Claudio. L'ulteriore costruzione di opere idrauliche permise di ridurre la lunghezza del suo tracciato.



6. L'aqueduc d'Arles à Fontvieille. Le vallon des Arcs était franchi par deux ponts-aqueducs. A l'ouest (à droite sur le cliché), l'un conduisait les eaux des Aipilles jusqu'Arles. À l'est, un second ouvrage alimentait les seize moulins de Barbegal.



7. La Tour Magne, à Nîmes

Tour ma1eure de l'enceinte de la ville, élevée sur une ancienne tour gauloise, sa position au-dessus du sanctuaire dynastique et la qualité de son décor architectural indiquent qu'elle glorifiait également le culte impérial. L'enceinte et la tour datent des années 16-15 av. J.-C.



6. L'acquedotto di Arles a Fontevieille

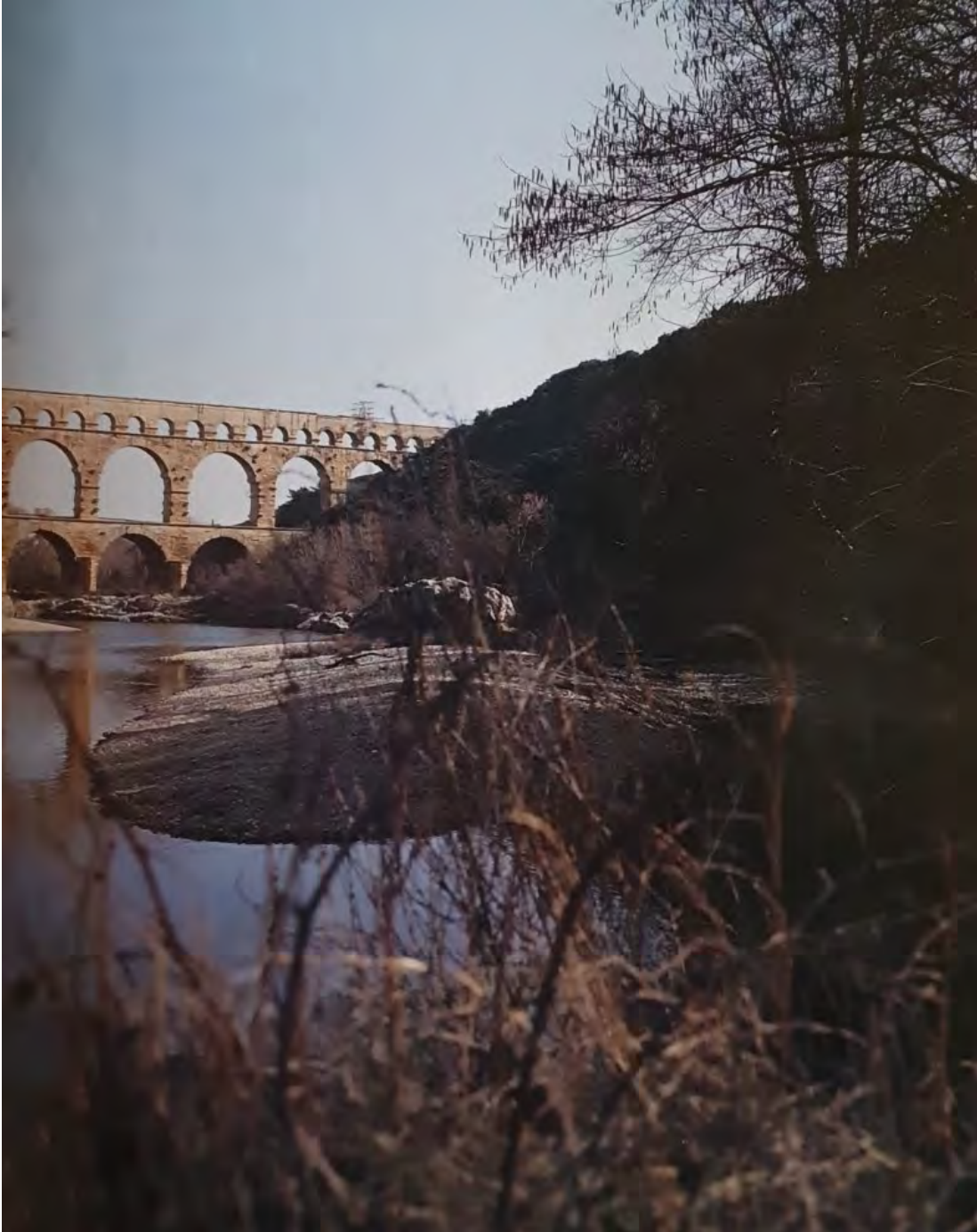
Il Vallon des Arcs era attraversato da due ponti-acquedotti. Ad ovest (a destra nella foto), uno conduceva le acque dalle Alpilles fino ad Arles. Ad est, una seconda struttura alimentava i sedici mulini di Barbegal



7. La tour Magne, a Nimes

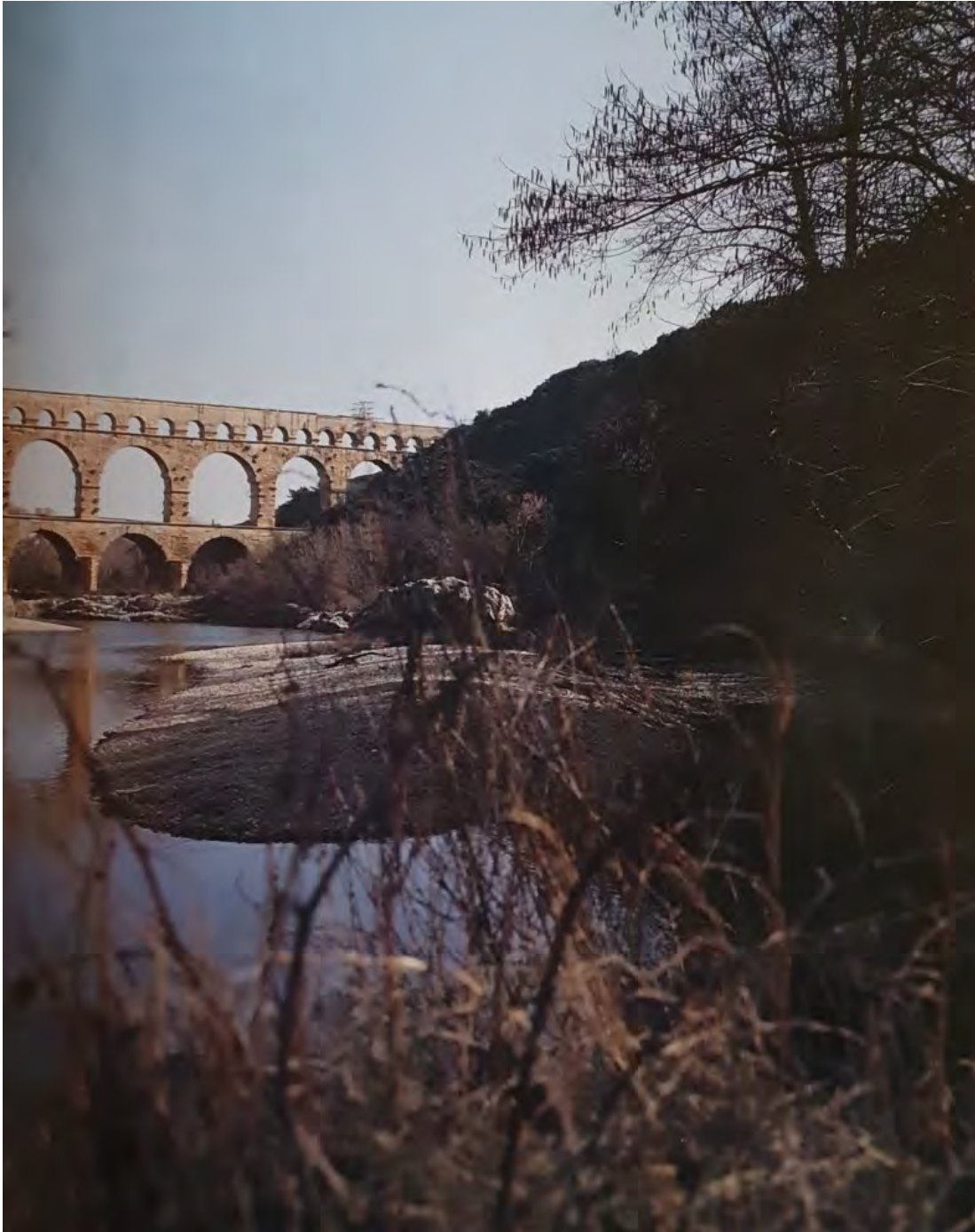
Torre maggiore delle mura della città, eretta su di una vecchia torre gallica, la sua posizione al di sotto del santuario dinastico e la qualità della sua collocazione indicano che glorificava anche il culto imperiale. Le mura e la torre risalgono agli anni 16-15 a.C.

y



8. Le pont du Gard

Construit vers le milieu du 1^{er} siècle apr. J.-C., il développait une élévation de 350 mètres de longueur compte tenu des 12 arches disparues de son troisième étage



8. Le Pont du Gard.

Costruito verso la metà del ° secolo d C., sviluppava un alzata di 350 metri di lunghezza tenuto conto dei 12 archi scomparsi del terzo ordine



9. Les piles de l'aqueduc de Bougie, en Algérie

Pont à deux étages en grand appareil de l'aqueduc de Saldae, l'actuelle Bejaïa. Sur son parcours, un tunnel a été tracé, maladroitement creusé et rectifié par l'ingénieur Nonius Datus, de la III^e légion auguste de Lambèse, en 151-152 apr. J.-C.



10. Un dallage de poids!

Le Pont du Gard et le ponceau du vallon de Coste-Belle sont recouverts par un dallage dont certains éléments pèsent environ deux tonnes.



9. I piloni dell'acquedotto di Bugia, in Algeria.

Ponte a due ordini in opera quadrata dell'acquedotto di Saldæ, l'attuale Bejaïa. Sul suo percorso è stato tracciato un tunnel, scavato maldestramente e rettificato dall'ingegnere Nonio Dato, della III legione augusta di Lambesis, nel 151-152 d. C.



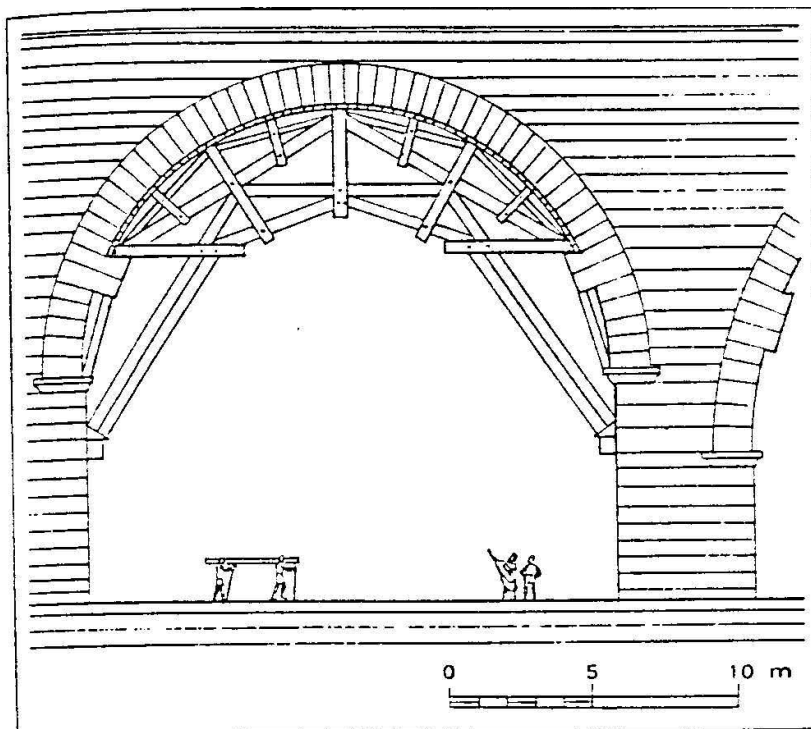
10. Una pavimentazione di peso!

Il l'ont du Gard e il ponticello del Vallon de Coste-Belle sono ricoperti da una pavimentazione di cui alcuni elementi pesano circa due tonnellate



11. Le canal de l'aqueduc de Nîmes

Section type du canal dans les portions construites en tranchée et remblayée, en amont du pont de Bornègre. L'extrados de la voûte est construit en claveaux grossièrement équarri et recouvert d'un enduit de mortier. Les dépôts des parois ont été récupérés.



12. La construction d'une arche

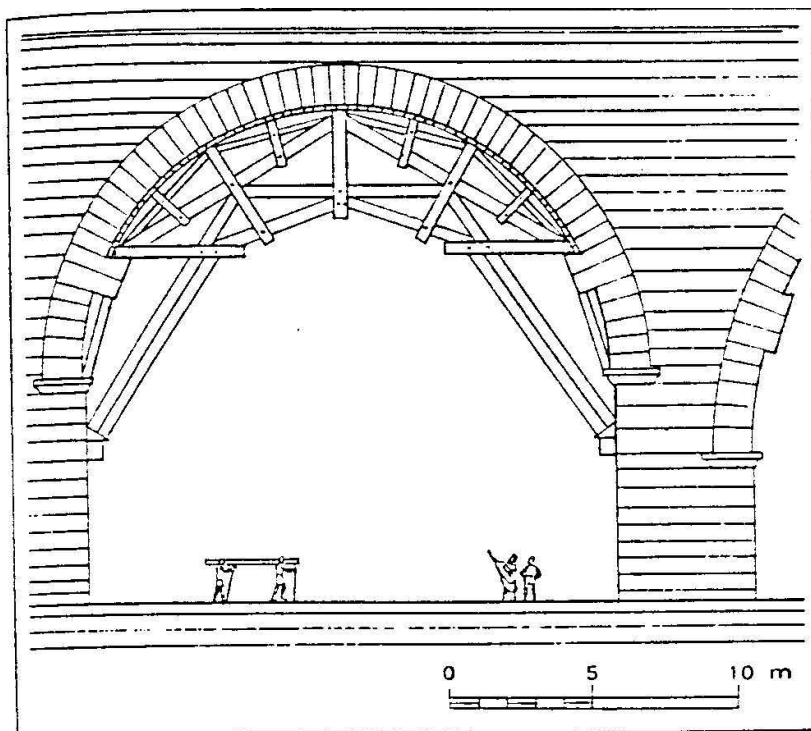
Proposition de restitution du cintre pour l'une des grandes arches du second étage du Pont du Gare. Le cintre prend appui sur les blocs saillants des piles, sur les impostes et les voussoirs débordants.

Dessin de J.-P. Adam



II. Il canale dell'acquedotto di Nimes

Immagine di una sezione costruita in trincea e rinterrata, a monte del ponte di Bornègre. L'estradosso della volta è costruito in conci squadrati grossolanamente e ricoperto con un intonaco di malta. I depositi delle pareti sono stati recuperati



12. La costruzione di un arco

Proposta di restituzione della centina per uno dei grandi archi del secondo ordine del Pont du Gard. La centina si appoggia sui blocchi sporgenti dei piloni, sulle imposte e i conci prominenti. Disegno di J.-P. Adam.



13. Les arches du deuxième étage du Pont du Gard,
La vue montre les saillies d'appui des cintres et les trois rangs parallèles des claveaux.



13. Gli archi del secondo ordine del Pont du Gard

L'immagine mostra gli aggetti d'appoggio delle centine e i tre ricorsi paralleli di conci



14. Le pont de Lamoutte

Ce pont compte parmi les ouvrages d'art qui jalonnent l'aqueduc de Fréjus. Ce dernier a vraisemblablement été construit au 1^{er} siècle, et fut plusieurs fois restauré au cours de l'Antiquité.



14. Il ponte di Lamoutte

Questo ponte è tra le opere idrauliche che costellano l'acquedotto di Fréjus. Quest'ultimo è stato costruito verosimilmente nel 1° secolo e, nel corso dell'Antichità, fu più volte restaurato.



15. Poni romain d'El Kantara

En Espagne, ce pont routier proche de la frontière portugaise comporte un arc construit à l'aplomb d'une pile médiane où une dédicace célèbre les évergètes ayant financé sa construction.



16. L'aqueduc de Carthage près de Zaghouan

Le pont à deux étages de l'oued Miliane, avec une longueur de 126 m et une hauteur de 34 m était considéré comme une des merveilles du monde par El Kairouani.



15. Ponte romano d'El Kantara

In Spagna, questo ponte stradale vicino alla frontiera portoghese è costituito da un arco costruito perpendicolarmente ad un pilone mediano in cui una dedica celebra i finanziatori che ne hanno permesso la costruzione



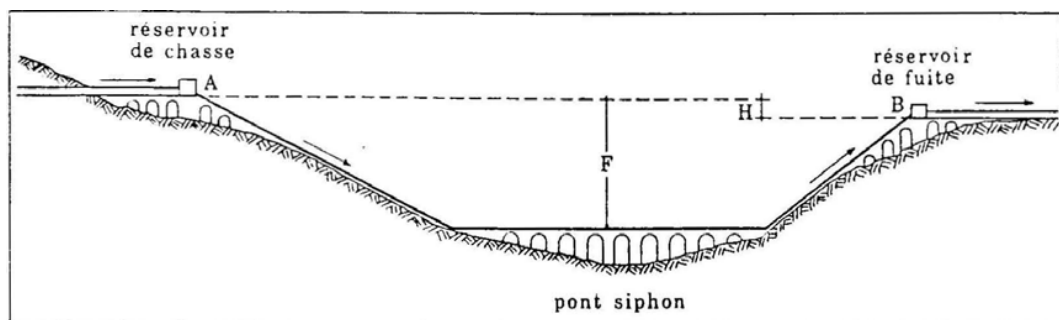
16. L'acquedotto di Cartagine vicino Zaghouan

Con una lunghezza di 126 m e una altezza di 34 m, il ponte a due ordini dell'uedi Miliane veniva considerato, da El Kairouani, come una delle meraviglie del mondo



17. Les arches de l'aqueduc de Mérida

L'aqueduc de Los Milagros, probablement construit sous le règne de Trajan (98-117 apr. J.-C.), enjambait une large dépression pour desservir la ville antique de Mérida. Ses piles sont épaulées par de puissants contreforts et reliées par des entretoises.



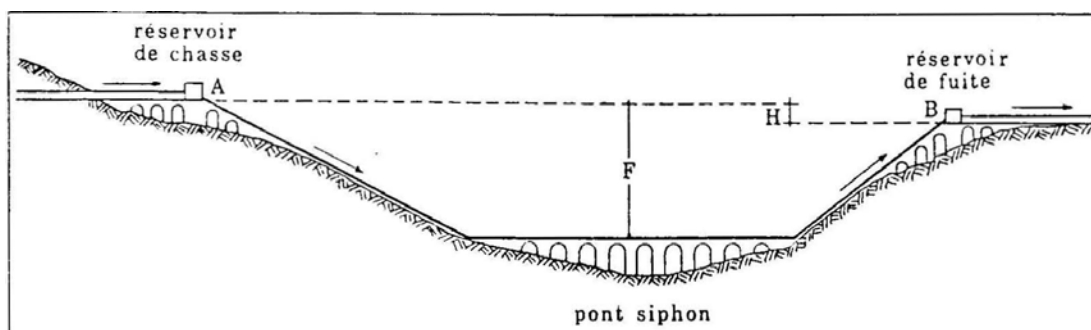
18. Fonctionnement des siphons lyonnais

De A à B, l'eau circule dans une batterie de canalisations de plomb étanches. F: dénivellé à franchir, réduit par la hauteur du pont-siphon. H: dénivellation ou perte de charge entre les deux siphons. Le sens d'écoulement de l'eau est matérialisé par des flèches. Dessin de J.-P. Adam.



17. Gli archi dell'acquedotto di Merida

L'acquedotto di Los Milagros, costruito probabilmente sotto il regno di Traiano (98-117 d. C.), per servire la città antica di Merida, attraversava una grande depressione. I suoi piloni sono sostenuti da possenti contrafforti e legati da controventi.



18. Funzionamento dei Sifoni lionesi

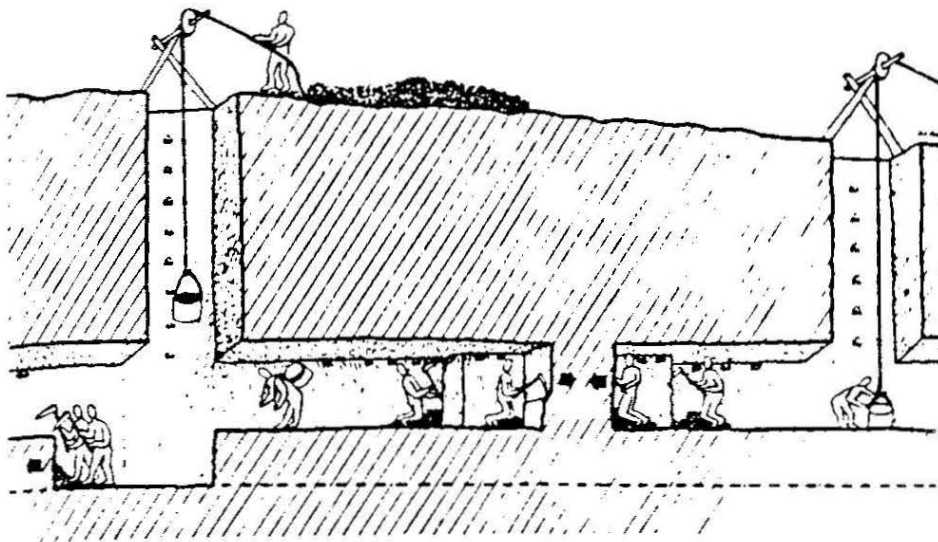
Da A a B, l'acqua circola in una batteria di canalizzazioni impermeabili di piombo
F: dislivello da superare, ridotto dall'altezza dei ponti-sifone. H: dislivello o perdita di
pressione tra i due sifoni. Il verso in cui l'acqua scorr viene rappresentato dalle frecce.

Disegno di J.-P. Adam.



19. L'aqueduc de Gier, près de Lyon

Vue de l'un des réservoirs au départ du franchissement de la vallée de l'Yzéron, près de Chaponost, large de plus de deux kilomètres et profonde d'une centaine de mètres. Des aqueducs à siphon furent construits également à Aspendos et à Saintes mais en général, les Romains préféraient contourner les dépressions trop profondes par un long canal à pente constante et à écoulement gravitaire



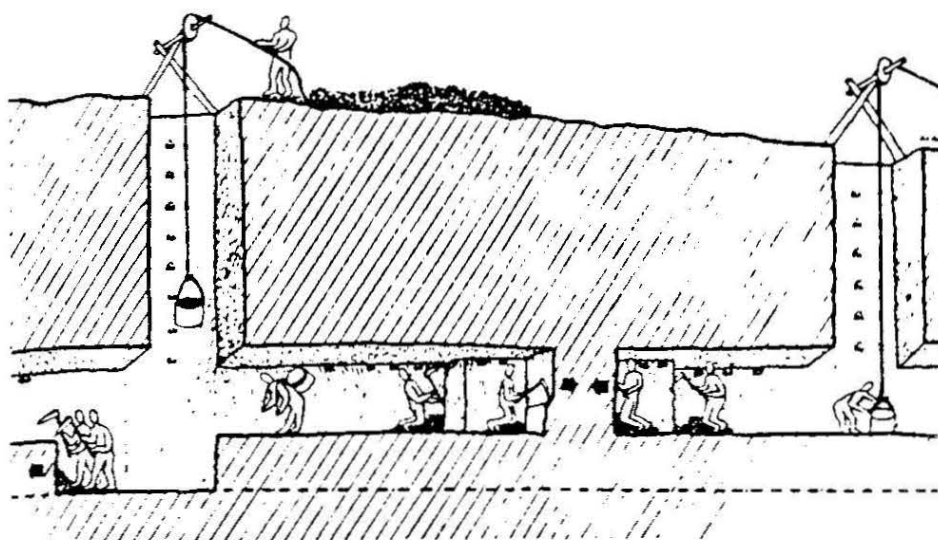
20. Un chantier souterrain

Reconstitution du creusement d'une galerie illustrant les postes de travail et les techniques utilisées. Le percement simultané de deux galeries et leur jonction permettait d'écourter la durée du chantier et de réduire les imprécisions de pilotage.



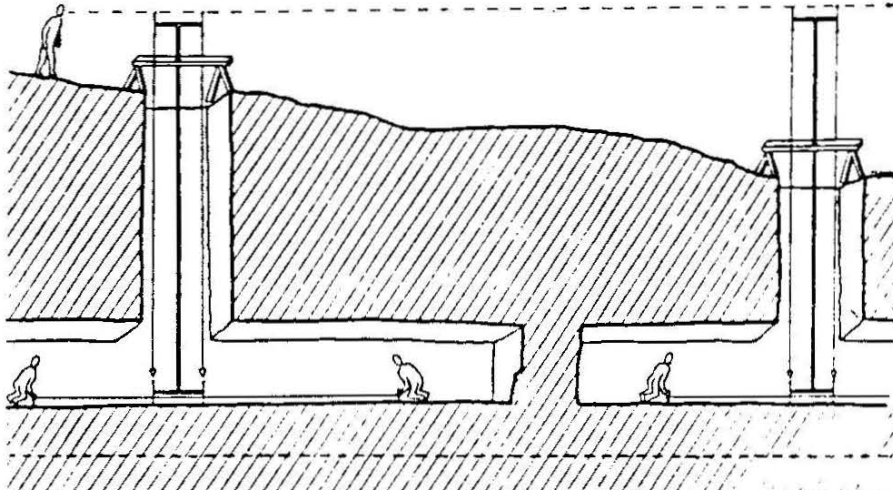
19. L'acquedotto di Gier, vicino Lione .

Immagine di uno dei serbatoi prima dell'attraversamento della valle dell'Yzéron, vicino Chaponost, largo più di due chilometri e profondo un centinaio di metr. Acquedotti a sifone furono costruiti anche ad Aspendos e a Saintes, ma in generale, i Romani preferivano girare intorno alle valli troppo profonde, attraverso un lungo canale a pendenza costante e a scorrimento per gravità.



20. Un cantiere sotterraneo

Ricostruzione dello scavo di una galleria che illustra i luoghi di lavoro e le tecniche utilizzate. L'apertura simultanea di due gallerie e il loro raccordo permetteva di diminuire la durata del cantiere e la riduzione delle imprecisioni di pilotaggio.



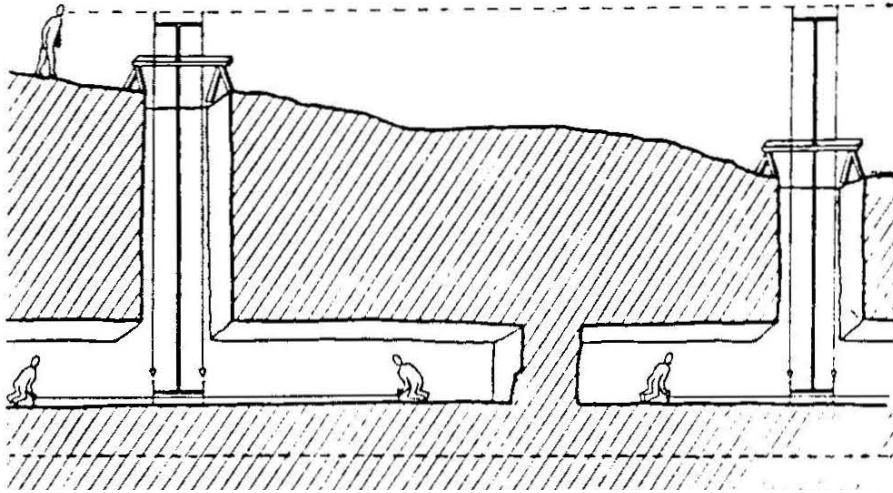
21. Pilotage du creusement des galeries

Dispositif théorique de nivellement et d'orientation qui aurait pu servir lors du creusement des galeries souterraines de l'aqueduc.



22. Le tunnel de Cantarelles

Elle montre les séquelles d'une erreur de pilotage lors du creusement simultané des deux galeries : à leur jonction, on observe un décalage important, ultérieurement corrigé, de l'axe du tunnel



21. Pilotaggio dello scavo delle gallerie

Dispositivo teorico di livellamento e di orientamento che sarebbe potuto servire al momento dell'apertura delle gallerie sotterranee dell'acquedotto.



22. Il tunnel di Cantarelles

Mostra le conseguenze di un errore di pilotaggio al momento dell'apertura simultanea delle due gallerie: nel punto di raccordo, si osserva uno spostamento importante, ulteriormente corretto, dell'asse del tunnel

GLOSSAIRE FRANÇAIS > ITALIEN

AQUEDUCS ROMAINS	AQUEDOTTI ROMANI
<p>affranchi (n, m) À Rome, exclave affranchi (<i>libertinus</i>).</p>	<p>liberto (n, m) Nell'Antica Roma, chi, per atto del proprio padrone (o durante l'Impero per sentenza del magistrato) veniva affrancato, mediante manomissione, dalla schiavitù, continuando però a rimanere soggetto a particolari limitazioni della libertà personale e della capacità giuridica.</p>
<p>agrégats (n, pl, m) Assemblage hétérogène de substances ou éléments qui adhèrent entre eux.</p>	<p>aggregati (n, pl., m) Prodotto della disgregazione delle rocce, sia allo stato incoerente (ghiaie, sabbie) sia cementati a formare un conglomerato quelli incoerenti, naturali o ottenuti per frantumazione di rocce, vengono usati come ossatura di conglomerati cementizi. Sono detti anche inerti.</p>
<p>alidade (n, f) Organe fondamental de tous les appareils d'arpentage et d'astronomie servant à des mesures de précision. Instrument servant essentiellement au nivellement, permettait de lire sur un disque circulaire gradué, auquel on pouvait donner une position rigoureusement horizontale grâce à un niveau d'eau, la distance angulaire de deux points visés. Grâce à l'importance technique de l'alidade, les Grecs ont désigné par le terme <i>dioptra</i>, toute une série d'instruments optiques qui étaient conçus d'après le modèle du dioptré simple, ou bien munis d'une ou de plusieurs alidades.</p>	<p>alidada (n, f) In origine, asticciola, dotata di traguardi, unita abitualmente a un arco di cerchio graduato e girevole in un piano parallelo a quello dell'arco, destinata a individuare la direzione della visuale; più genericamente, parte di uno strumento misuratore di angoli, in particolare, goniometro, solidale con il collimatore (traguardo o cannocchiale), munita di uno o più noni con i quali si fanno le letture sul cerchio graduato.</p>
<p>aqueduc (n, m) Du latin <i>aqua</i> "acqua" et <i>ducere</i>, "condurre". L'aqueduc, l'un des symboles de la Romanité, est une construction en maçonnerie ou tranchée, creusée dans le roc et le sol destinées à amener l'eau, grâce à une pente régulière, de son lieu</p>	<p>acquedotto Sistema di canalizzazione e di condotte per il rifornimento dell'acqua. È con i Romani che la tecnica di costruzione degli acquedotti raggiunse, nell'Antichità, il livello più alto. I ponti e gli archi romani, realizzati per condurre l'acqua alle</p>

<p>de jaillissement jusqu' à son point d'utilisation. Il sert généralement à alimenter les villes en eau potable, mais aussi dès l'Antiquité, à permettre le fonctionnement des minoteries. Le terme «aqueduc» dans le vocabulaire courant, évoque essentiellement les arches d'un pont qu'empruntait le canal d'amenée de l'eau. En réalité, ces arches ne sont que la partie la plus spectaculaire d'ouvrage qui ne comportaient pas forcément des ponts ; certains sont même entièrement souterrains.</p>	<p>centrali di distribuzione dovevano essere costruiti in modo da mantenere una pendenza costante per permettere all'acqua di scorrere senza ostacoli nella direzione desiderata. Erano formati da condotti impermeabilizzati con pozzi d'aerazione aperti a intervalli regolari nelle volte. L'acquedotto per funzionare deve essere rigido almeno a livello dello speco, dove una minima lesione pregiudicava rapidamente il funzionamento dell'opera</p>
<p>arc (n, m) Courbure présentée par la partie supérieure (couvrement) d'une baie. L'arc est constitué par les claveaux ou voussoirs agencés pour se soutenir les uns les autres et supporter les charges sous-jacentes de l'édifice.</p>	<p>arc (n, m) Struttura architettonica ad andamento curvo verticale, costituita da conci cuneiformi disposti radialmente. A causa di questa disposizione la forza di gravità che preme sul concio centrale (chiave di volta) si divide in due forze laterali che si scaricano sulle spalle di sostegno dell'arco. La larghezza massima è detta <i>corda</i>, l'altezza massima fra la corda e la chiave di volta è detta <i>freccia</i>.</p>
<p>arcade (n, m) Baie ouverte par un arc. C'est en fait un ensemble architectural formé par les deux piédroits et les claveaux du couvrement</p>	<p>arcata (n, f) Struttura a forma di arco poggiate in genere su pilastri di diametro piuttosto ampio. Oppure, serie di archi in successione.</p>
<p>arceau (n, m) Partie cintrée d'une arcade, d'une voûte, d'une ouverture</p>	<p>archetto (n, m) L'archetto è sostanzialmente un piccolo arco cieco, che può essere ricavato nello spessore di una parete come una nicchia o più frequentemente aggettare su di essa. Fin dall'età classica, ebbe una funzione eminentemente decorativa.</p>
<p>arche (n, f) Voûte de faible épaisseur formant baie dans certains types de constructions tels que ponts, arcs de triomphe</p>	<p>fornice (n, m) apertura di un arco in edifici quali porte civiche, archi trionfali, arcate di ponti.</p>
<p>architectus (n, m) Concepteur d'un projet architectural. Il dessine et donne la composition harmonique (<i>proportio</i>) du monument. Il est</p>	<p>architectus (n, m) Veri e propri ingegneri idraulici. Essi svolgevano un ruolo fondamentale, dipendendo dalla loro perizia tecnica, interamente, quanto riguardava la</p>

parfois chargé de la surveillance du chantier	costruzione e la manutenzione degli acquedotti, dal sistema di captazione alle sorgenti, alla distribuzione capillare delle acque in città.
architrave (n, f) Linteau de pierre, rectiligne, reposant directement sur les colonnes et constituant la partie inférieure de l'entablement.	architrave (n, f) Elemento architettonico rettilineo orizzontale che poggia sui pilastri o sulle colonne. Costituisce la parte inferiore della trabeazione negli ordini classici.
argile (n, f) Terre ductile et plastique à cru. Lorsqu'elle est humide, elle est utilisée pour le modelage et la sculpture, le moulage etc. Produite par la décomposition des roches silico-alumineuses avec la base essentielle du feldspath comme le granite et le gneiss. Pour être utilisée l'argile doit être traitée, purifiée et dégraissée par un éventuel mélange à d'autre substance tels le sable, la poudre de fritte	agilla (n, f) Roccia formata da vari costituenti mineralogici, provenienti dall'alterazione dei feldspati, minerali silicatici operata prevalentemente da agenti atmosferici. Materia dalle sorprendenti qualità: plastica e malleabile se imbevuta d'acqua; in grado di conservare la forma che la mano ha modellato e di diventare, essiccando, un corpo solido. In molte regioni l'argilla cruda essiccata al sole fu considerata un materiale efficace che presto rivelò la sua totale impermeabilità in seguito alla cottura (argilla cotta). L'argilla cruda si divide in grassa e magra (naturalmente mischiate con sabbia).
arpentage (n, m) Mesure de la superficie des terres. Technique utilisée pour cette mesure. L'arpentage des terrains consiste à les découper en triangles et en trapèzes, dont on mesure les côtés et les angles. La mesure des distances se fait horizontalement sur le terrain en pente (par cultellation, la <i>cultellatio</i> des Romains). Dans l'Antiquité on utilisait des instruments tels que la dioptra	agrimensura (n, f) Ramo della topografia che si occupa di determinazioni relative ad appezzamenti di terreno, quali per esempio, la misurazione e ripartizione delle aree, la confinazione ecc. Nell'Antichità, gli strumenti più usati erano la dioptra, la groma e il corobate: l'allineamento, la misurazione del terreno, detta <i>cultellatio</i> , l'odierna coltellazione e il rilievo topografico. Per le operazioni più semplici, gli strumenti adoperati dagli agrimensori non differiscono in nulla da quelli che ancora all'inizio del nostro secolo venivano usati negli ambienti rurali.
Arpenteur (agrimensor) (n, m) C'est lui qui réglait la division des terres, le long des eux directions principales, kardo et decumanos, les champs étant	agrimensore (n, m) L' <i>agrimensor</i> romano, per la varietà degli strumenti può essere paragonata a un moderno geometra.

<p>séparés par ses soins, par un espace intermédiaire, dit <i>finis</i>, large de cinq pieds et dont la moitié était prise sur chacune des terres contigües. Il surveillait aussi la mise en place et le respect des bornes.</p>	
<p>arrière-bec (n, m) Massif saillant d'une pile de pont où d'aqueduc le plus souvent en grand appareil, épaulant la pile sur sa face aval par rapport au lit d'un torrent ou d'une rivière.</p>	<p>retrobecco (n, m) Sperone murario, detto anche rostro, che nei ponti su fiumi sporge a monte di ciascuna pila, [...] per regolare il moto delle acque, dividendone la massa fra le arcate</p>
<p>assise (n, f) Suite d'éléments constructifs placés sensiblement sur le même niveau dans une maçonnerie</p>	<p>assisa (n, f) Corso o filare di pietre o mattoni di un muro.</p>
<p>avant-bec Massif saillant d'une pile de pont ou d'aqueduc, généralement en éperon et en grand appareil, destiné à épauler une pile et à diviser les eaux torrentielles qui passent sous les arches d'un ouvrage d'art</p>	<p>antibecco (n, m) Sperone che fungeva da frangiflutti posizionato sulla parte basse del pilone.</p>
<p>bancher (v) Couler (du béton, du pisé) dans des banches</p>	<p>gettare (v) colare in apposite <i>casseforme</i></p>
<p>barrage (n, m) Construction « barrant » plus où moins complètement un cours d'eau pour constituer un réservoir.</p>	<p>diga (n, f) Opera idraulica di sbarramento permanente o temporaneo, nel corso di un fiume, avente lo scopo di modificarne il deflusso.</p>
<p>barbacane (n, f) Passage étroit de section rectangulaire assurant le passage des eaux pluviales et de ruissellement sous un ouvrage d'art franchissant un vallon peu profond et dont le bassin versant est réduit.</p>	<p>barbacane (n, m) Apertura a forma di feritoia che si pratica in muri di sostegno delle terre, in briglie e sim., allo scopo di permettere lo scolo verso l'esterno delle acque di filtrazione.</p>
<p>batterie (n, f) Le mot désigne non pas seulement l'ensemble des pièces d'artillerie, mais aussi de dispositif architectural qui le reçoit.</p>	<p>batteria (n, f) Complesso di apparecchi o di macchine o di altri dispositivi cooperanti a una medesima funzione.</p>

<p>béton (n, m) Mélange du mortier – du sable et de l’eau – avec des cailloux : l’Antiquité romaine nommait un tel mélange, <i>opus caementicium</i>, c’est-à-dire littéralement l’appareil de cailloux. Le liant antique utilisé dans le mortier et dans l’<i>opus caementicium</i> n’est que de la chaux pure ou ne contenant naturellement que peu d’agile</p>	<p>calcestruzzo (n, m) Il termine latino corrispondente è <i>structura caementicia, opus caementicium</i>. Il nome deriva dai <i>cementa</i>, i frammenti di pietra uniti alla malta a formare un impasto adoperato come nucleo interno dei muri in abbinamento con tutte le cortine tradizionalmente note, tanto di grande che di piccola pezzatura. I Romani scoprirono che sostituendo alla sabbia la pozzolana, si otteneva un impasto di straordinaria resistenza. Esiste una differenza tra calcestruzzo romano e quello moderno. Essa consiste nella preparazione: quello romano è un composto, nel muro, di calce e frammenti lapidei, mentre quello moderno è un composto di calce e pietrisco che viene preparato prima e che si mette in opera entro le casseforme senza aggiungervi altri materiali in un second tempo.</p>
<p>blocage (n, m) Mélange qui, ici encore, comporte plusieurs matériaux rocheux et de l’eau et durcissant de la même manière que le béton ; les éléments servant d’agrégats sont de dimensions supérieures à 5mm et peuvent être des cailloux et/ou des éclats de pierre. Mais, à la différence du béton, le mélange n’est pas préparé à l’avance et coulé ; les éléments solides sont jetés ou disposés sur une couche de mortier (ou béton) dans laquelle ils s’enfoncent</p>	<p>muratura a secco (n, f) Muratura costruita con pezzi di pietra squadrati o informi, senza interposizioni di malta.</p>
<p>bossage (n, m) Saillie laissée à la surface d’un moellon comme ornement d’un mur</p>	<p>bugnato (n, m) Paramento architettonico esterno costituito da bugne (pietre in vista), usato nell’architettura romana e medievale.</p>
<p>boulin (n, m) Poutre de bois horizontale, pénétrant ou traversant une maçonnerie et destinée à supporter le platelage de l’échafaudage au moment de la construction d’un édifice.</p>	<p>travicello (n, m) Trave di modeste dimensioni, solitamente in legno, che può essere usata con funzioni costruttive varie. Nelle strutture formate da un’ossatura di travi aventi dimensioni diverse, ognuna delle travi secondarie che si appoggiano su</p>

	<p>quelle principali di sostegno, e sostengono a loro volta i tavolati o le cantinelle portanti il manto.</p>
<p>brique (n, f) Il a tenu une place importante dans les constructions antiques. On distingue deux sortes de briques : les briques crues, séchées au soleil ; les briques cuites au four. La brique crue était faite d'une terre argileuse à laquelle on mélangeait de la paille finement hachée. La brique cuite, faite également de terre argileuse, était cuite dans des fours. Ils étaient de forme carrée, rectangulaire, triangulaire.</p>	<p>mattone (n, m) I laterizi erano fabbricati con argilla impastata con acqua e spesso con sabbia, paglia e pozzolana fine. I mattoni crudi venivano fabbricati in autunno o inverno e fatti essiccare fino all'estate successiva. I mattoni cotti, dopo essere stati fatti essiccare, cuocevano nella fornace.</p>
<p>bronze (n, m) Alliage de cuivre et d'étain en proportions variables suivant les époques et les différents usages qu'on en fait. Les limites varient des 70% à 90% de cuivre pour 30 à 10% d'étain. L'augmentation de ce dernier pourcentage rend le bronze plus facile à travailler, forgeable à basse température, mais le risque de cassures augmente au même temps.</p>	<p>bronzo (n, m) Lega costituita essenzialmente di rame e stagno. È possibile ottenerlo fondendo contemporaneamente i minerali di rame e stagno, ma un risultato migliore si ottiene con fusione separata dei due metalli, rifondendoli nuovamente e mescolandoli in un secondo momento.</p>
<p>caillou (n, m) Fragment de pierre, de roche, de petite ou moyenne dimension</p>	<p>ciottolo (n, m) Piccolo sasso tondeggiate, liscio per l'azione levigatrice dell'acqua fluente di fiumi o torrenti</p>
<p>cailloutis (n, m) Amas de petits cailloux concassés</p>	<p>ghiaia (n, f) Materiale detritico incoerente, formato per oltre il 50% da elementi, spesso arrotondati, di medie e piccole dimensioni (2-10 cm).</p>
<p>calcaire (n, m) Roche consistant largement en carbonate de calcium</p>	<p>calcare (n, m) roccia sedimentaria, costituita essenzialmente di calcite, usata come pietra ornamentale o da costruzione, per la produzione di calce viva e di alcune varietà di cementi; ha un colore che varia dal bianco al giallastro fino al bruno.</p>
<p>castellum (château d'eau) 8n, m) Chez Vitruve et Frontin, ce terme désigne un réservoir ou un château d'eau. Vitruve décrit un bassin répartiteur d'où</p>	<p>castellum (castello d'acqua) (n, m) Costruzione generalmente situata all'inizio dell'area urbana per la distribuzione dell'acqua alle utenze, con</p>

<p>partent plusieurs conduites calibrées, maçonnées ou en plomb, destinées à l'alimentation des différents quartiers de la ville, des fontaines et des édifices publics, et en particulier des thermes.</p>	<p>funzioni di "ripartitore terminale". Consisteva in una costruzione massiccia, a torre, una o più camere di decantazione e la vasca dalla quale, per mezzo di prese, l'acqua veniva ripartita e immessa nelle condutture urbane di adduzione.</p>
<p>chaux (n, f) Elle est obtenue par calcination de pierre calcaire vers 1.000°C, opération pendant laquelle elle va abandonner son gaz carbonique. Le produit restant, un oxyde de calcium, est appelé chaux vive. On a alors des pierres pulvérulentes en surface, qu'il convient d'hydrater pour obtenir un liant. Cette hydratation ou <i>extinction</i> se fait par immersions et provoque la dislocation des blocs, qui fusionnent, dégagent une forte chaleur et se transforment en pâte qui est la <i>chaux éteinte</i>. C'est ce matériau plastique que l'on va mêler aux <i>agrégats</i> pour obtenir les <i>mortiers</i>. Les Romains ont utilisés systématiquement la chaux, comme liant, pour la confection de mortier liant les maçonneries de moellons</p>	<p>calce (n, f) Si ottiene attraverso la cottura di una delle tante varietà di pietra calcarea (carbonato di calcio discretamente puro). Alla cottura liberava anidride carbonica. Restava ossido di calcio detto appunto calce viva. La calce viva era trasferita in apposite vasche, dette di <i>spegnimento</i>, e immersa nell'acqua. Iniziava allora una reazione molto violenta durante la quale si sviluppava calore che spesso raggiungeva i 300 gradi. Una parte dell'acqua evaporava, mentre il resto veniva assorbito dalla calce che si spappolava, aumentando fortemente di volume. A ciclo concluso si aveva la calce spenta, da cui con successive aggiunte di acqua si otteneva: il <i>grassello</i>, il <i>latte di calce</i>, l'<i>acqua di calce</i>. La calce, inoltre, si distingue in due tipi <i>calce grassa</i> (calcare puro) e <i>calce magra</i> (calcare impuro). Vi sono due tipi di calce: aerea & capace di far presa solo a contatto con l'aria) e idraulica (capace di far presa sia nell'aria che nell'acqua. I Romani non la conoscevano.</p>
<p>chaux grasse (n, f) Résultat de calcination et extinction de calcaire pur ou contenant 0,1% à 1% d'argile.</p>	<p>calce grassa (n, f) Calce che ha un contenuto di ossidi di calcio non inferiore al 94%. Esse derivano da calcari puri, aventi grana cristallina fine. In età romana era adatta soprattutto per gli impieghi in luoghi coperti o riparati, o per gli intonaci.</p>
<p>cintre (n, m) Support robuste, pour l'édification de la voûte, ayant le profil exact de la courbe à construire. Le cintre est constitué d'au</p>	<p>centina (n, f) Struttura arcuata temporanea, adatta a formare e sostenere l'arco o la volta durante la costruzione. Le centine</p>

<p>moins deux arcs de cercle en bois solidement triangulés, reliés par un plancher demi-cylindrique appelée <i>couchis</i> qui est le moule de la voûte. L'ensemble devant prendre appui, soit directement sur le sol à l'aide e poteaux, soit à hauteur de la naissance afin d'économiser du bois, solution très fréquemment choisie par les romains.</p>	<p>nell'edilizia romana erano sostanzialmente di due tipi di legno (di gran lunga più frequenti) e di terra (sporadiche). Esse potevano essere limitate al solo tempo di costruzione (come nelle volte in blocchi a secco) o restare in opera più a lungo per consentire il tiro delle mura-ture. Con il termine centina in genere si indica l'intera armatura, ma in realtà esso individua solo la parte arcuata, sorretta e irrigidita da diversi elementi (puntelli, cunei, ganasce, braghe ecc.) e unita ad altre centine da un tavolato disposto secondo la linea generatrice della volta: <i>manto della centina</i>. Il legname deve essere stagionato e il più possibile privo di nodi. Le centine si dividono in due grandi categorie: <i>fissa a terra</i> e <i>quelle a sbalzo</i>. Le prime erano più sicure ma anche più ingombranti</p>
<p>Cintre (n, m) Courbure de la surface intérieures d'une voûte, d'un arc</p>	<p>intradosso (n, m) Superficie interna dell'arco.</p>
<p>claveau (n, m) Bloc de pierre de taille appartenant à un arc appareillé (arc de tête d'une voûte)</p>	<p>concio 8n, m) Blocco di pietra squadrato da costruzione.</p>
<p>coffrage (n, m) Dispositif qui moule e maintient le béton</p>	<p>cassaforma (n, f) Nelle costruzioni edilizie, cassa di legno o di metallo, sostenuta da apposita armatura, che con la sua forma interna riproduce esattamente strutture da eseguire, mediante un getto di calcestruzzo.</p>
<p>conduite (n, f) Canalisation qui conduit un liquide, un fluide</p>	<p>condotta (n, f) tubazione o sistema di tubazioni destinato al trasporto di un fluido per gravità o in pressione. Nel mondo romano, i tubi erano generalmente di piombo o terracotta debitamente "incamiciate" in un conglomerato cementizio.</p>
<p>consul (n, m) À Rome, au temps de la République, titre porté par les deux magistrats, élus</p>	<p>console (n, m) Nell'antica Roma, ognuno dei due supremi magistrati, creati, con poter</p>

<p>annuellement, qui partageaient le pouvoir suprême.</p>	<p>annuale, all'inizio della Repubblica, insigniti del comando militare, della facoltà di convocare e presiedere le adunanze senatoriali e popolari, del diritto di proporre leggi, della cura dell'amministrazione finanziaria e dei lavori pubblici. Eletti anche durante l'Impero, vi ebbero funzioni più limitate, relative alla sola competenza giurisdizionale.</p>
<p>contrefort (n, m) Pilier, saillie, mur massif servant d'appui à un autre mur qui supporte une charge</p>	<p>contrafforte (n, m) Elemento architettonico di rinforzo, funzionale ad assorbire e scaricare la spinta proveniente perlopiù dalle volte interne di n edificio, tipico perciò della tecnica edilizia romanica e gotica.</p>
<p>corbeau (n, m) Bloc de pierre de taille saillant, mouluré ou sculpté, qui assure la retombée de la poussée d'un arc ou support une charge verticale quelconque</p>	<p>beccatello (n, m) Mensola di sostegno delle travi o, nell'architettura militare medievale, struttura a sbalzo a forma di archetto atta a sorreggere un ballatoio sporgente dal muro affinché i difensori potessero dominare dall'alto gli assalitori.</p>
<p>Courbe de niveau (n, f)</p>	<p>curva di livello (n, f) Linea che unisce i punti del terreno che hanno la stessa quota. Le c., dette anche <i>isoipse</i>, si ottengono immaginando di intersecare la superficie topografica mediante piani orizzontali, paralleli e disposti con dislivello costante che viene detto <i>equidistanza</i>.</p>
<p>décrochement (n, m) Rupture dans la continuité d'une assise dont le plan inférieur au moins suit une verticale ou une oblique avant de reprendre son horizontalité</p>	<p>solifluzione (n, f) Lento movimento che si verifica lungo versanti montuosi nei terreni superficiali contenenti materiali limosi e argillosi imbevuti d'acqua.</p>
<p>dépression (n, f) À l'intérieur d'une surface plate, partie basse dont la taille varie de quelques mètres carrés à quelques kilomètres carrés. (Une dépression est souvent occupée par un lac, une zone d'évaporation ou de circulation souterraine).</p>	<p>depressione (n, f) Porzione più o meno vasta di superficie terrestre che si trova a un livello inferiore a quello del mare o a quello medio della regione circostante</p>
<p>dioptra (n, f)</p>	<p>dioptra o diottra (n, f)</p>

Goniomètre de visée dont l'alidade était munie d'un niveau d'eau ; elle était utile pour les mesures angulaires	Strumento munito di un mirino e di un traguardo, usato per tracciare gli allineamenti e misurare gli angoli piani
drain (n, m) Conduit souterrain, servant à évacuer l'eau des sols trop humides	canale di scolo (n, m) Canale utilizzato per convogliare acque o liquidi di scarico
échafaudage (n, m) Assemblage provisoire normalement en bois, dans l'Antiquité classique, permettant d'accéder aux différents niveaux d'un édifice pour sa construction ou sa réparation.	impalcatura (n, f) o ponteggio (n, m) Struttura provvisoria destinata a sostenere gli operai e i materiali occorrenti per l'esecuzione di un'opera nonché a dare accesso a tutti i piani di lavoro; è generalmente costituita da strutture in legno. Il ponteggio poteva essere esterno (posto lungo il perimetro della fabbrica) o interno (limitato ai singoli piani).
élévation (n, f) Composition des faces verticales visible du bâtiment ou réalité architectural ou dessin qui la représente.	alzato (n, m) In architettura è il disegno di un edificio o di parte di esso in proiezione verticale.
enduit (n, m) Revêtement semi-liquide ou plateau qu'on étend par couches sur une surface où il se fixe en séchant, jouant aussi un rôle de décoration et/ou de protection.	intonaco (n, m) Strato di malta di limitato spessore, che si applica sulla superficie delle murature esterne o delle pareti interne, per proteggerle dall'azione degli agenti atmosferici, per impermeabilizzarle, per costruire su di esse una superficie uniforme.
enrochement (n, m) Ensemble des quartiers des roche, de blocs de béton que l'on entasse sur un sol submergé ou mouvant, pour servir de fondations ou de protection à des ouvrages immergés.	massicciata 8n, f) Parte del corpo stradale, formato da ghiaia e pietrisco compresso in modo da ottenere una superficie liscia e resistente.
entretoise (n, f) Structure maçonnée, linéaire ou sur arche, construite entre deux piles pour les relier, les stabiliser et éviter leur flambement	traversa (di rinforzo) (n, f), controvento (n, m) Nelle costruzioni, elemento disposto in senso trasversale rispetto ad altri con funzione di sostegno o rinforzo, di ripartizione dei carichi o anche di impedimento.
extrados (n, m) Face extérieure d'un arc où d'une voûte.	estradosso (n, m) Superficie esterna di un arco o di una volta
faille (n, f)	faglia (n, f)

<p>Fracture de l'écorce terrestre, suivie du glissement d'une des deux lèvres (ou bord de chaque compartiment) le long de l'autre</p>	<p>Frattura di masse rocciose accompagnata da spostamento relativo della due pareti (o <i>labbri</i>) lungo il piano di frattura o di <i>faglia</i>, che può essere verticale o inclinato.</p>
<p>fonte (n, f) Technique ancienne apparue vers 2500 av. J.C. connue par la plupart des civilisations, pour la mise en forme des métaux ou alliages en fusion, en les versant dans des moules aux formes adaptées, produit de la fonte du fer.</p>	<p>fusione (n, f) Passaggio di un corpo dallo stato solido a quello liquido per effetto del calore, che consente ai suoi componenti di vincere le forze intermolecolari; la f. avviene ad una temperatura, peculiare per ogni sostanza (<i>punto di f.</i>) che si mantiene invariata fino alla fine del processo (ad eccezione di alcune sostanze, come il vetro che passano per uno stato fluido intermedio). Per quasi tutte le sostanze la f. comporta un aumento del volume. In fonderia, formazione d'un'opera d'arte, di un pozzo meccanico e sim. Versando nell'apposita forma il metallo fuso.</p>
<p>fonte (n.f) Alliage de fer et de carbone obtenu dans les hauts fourneaux par le traitement des minéraux de fer au moyen de coke métallurgique</p>	<p>ghisa (n. f) Prodotto siderurgico consistente in una lega ferro-carbonio contenente carbonio in un percentuale compresa tra 1,5% e 6,5 % oltre a diversi altri elementi (manganese, zolfo ecc.), generalmente dura e fragile, è usata principalmente per lavori di fonderia.</p>
<p>forum (n, m) Dans l'Antiquité romaine, place publique généralement située à l'intersection du <i>cardo maximus</i> et du <i>decumanus maximus</i>. Le forum était bordé par des bâtiments officiels tels que temples, basiliques, curie ainsi que par des boutiques de marchands ou de corporations (<i>scholae</i>). Il constituait le centre de la vie politique, économique et religieuse.</p>	<p>foro (n, m) La piazza centrale nella città romana, corrispondente all'<i>agorà</i> dei greci. Di forma rettangolare, porticata circondata da basiliche, mercati e monumenti, costituiva il centro della vita cittadina, in cui si trattavano affari e si amministrava la giustizia.</p>
<p>fruit (n, m) Valeur additionnée de la différence d'épaisseur d'une maçonnerie entre la base et le sommet d'un pont ou d'un aqueduc.</p>	<p>scarpa (n, f) Inverso della pendenza del piano inclinato costituente la scarpata di una trincea, di un rilevato o il paramento di un muro di sostegno, ossia la contingente</p>

	dell'angolo che il piano stesso forma con l'orizzonte.
garrigue (n, f) Terrain aride à sous-sol calcaire de la région Méditerranéenne, aussi la végétation broussailleuse qui couvre ce genre de terrains.	gariga (n, f) Associazione vegetale tipica dei terreni calcarei e rocciosi delle regioni mediterranee, costituita da arbusti e suffrutici molto bassi, sempreverdi, tra i quali vegetano abbondanti specie erbacee.
grand appareil (opus quadratum) (n, m) Technique de construction antique mettant en œuvre des blocs de dimensions importantes et nécessitant de techniques spécifiques pour leur levage et leur bardage	opera quadrata (opus quadratum) (n, f) Struttura muraria realizzata con grandi blocchi parallelepipedi di pietra posti in opera a filari sovrapposti.
granite (n, m) Roche consistant surtout en quartz et en feldspath alcalin ; variété à gros grains d'une famille dont les variétés à gros grains sont appelées rhyolites.	grnaito (n, m) Roccia eruttiva intrusiva molto acida, a struttura granulare con grana normalmente media e fine, di colore biancastro, grigiastro, rosato o rossastro, spesso con macchiettature più scure, caratterizzate dall'associazione del quarzo con feldspati alcalini e alcalino-calcici e con uno o più minerali femici.
gravure (n, f) Ce terme recouvre diverses techniques permettant de réaliser en creux ou en relief un motif à la surface d'une substance dure soit pour la décorer soit pour l'utiliser en impression, pour en reproduire le dessin.	Incisione (n, f) Disegno a incavo o a rilievo su una lastra metallica, una tavoletta lignea o altro materiale, che può essere trasferita per mezzo della stampa su un supporto cartaceo.
gros ouvrage (n, m) En construction, cloisons, plafonds, sols etc.	rustico (n, m) Complesso delle strutture di un edificio (ossatura portante e murature) prive di rivestimento e delle altre opere di finitura superficiale.
imposte (n, f) Bloc de pierre de taille, généralement mouluré, situé au sommet d'un jambage et recevant la poussée d'un arc ou d'une voûte par l'intermédiaire d'un sommier.	imposta (n. f) Membratura sporgente dalla quale ha inizio l'arco.
jambage (n. m) Chacun des deux montants verticaux d'une baie de cheminée, de fenêtre, de porte.	stipite (n, m) Ciascuno dei due elementi architettonici verticali, detti anche piedritti, che delimitano in larghezza il vano di una struttura in muratura.

<p>légion (n, f) Dans l'Antiquité romaine, corps d'armée composé d'infanterie et de cavalerie</p>	<p>legione (n, f) Nella Roma Atinca, nome con cui era indicata orginiariamente la leva dei cittadine, quindi l'intero esercito, e infine l'unità tattica e organica dell'esercito. Quest'ultima costituita in un primo temp da 60 centurie (30 manipoli) di fanteria di linea, dalla fanteria leggera e dalla cavalleria, poi strutturata in dieci coorti (ciascuna formata da 3 manipoli e 6 centurie); la <i>X legione</i>, la fedelissima fra quelle di Giulio Cesare.</p>
<p>levé topographique (n, m) Ensemble des mesures nécessaires pour la réalisation d'une carte ou d'un plan. Il comprend la détermination de l'emplacement de tous les objets (propriétés, constructions, végétation, hydrographie, forme du terrain, etc.) devant figures sur le plan</p>	<p>rilevamento topografico (n, m) Operazione inversa a quella dell'impianto, rappresenta il corollario dei lavori del geometra. Veniva applicata per l'esecuzione di piante dettagliate in un contesto urbano, mediante la determinazione della posizione e l'altitudine di alcune parti del terreno. In mancanza di informazioni più minuziose, si può supporre l'uso della groma per lavori di questo tipo.</p>
<p>librator (n, m) Technicien spécialiste d'opérations de mesure et, plus précisément, du nivellement ; l'instrument qu'il utilise est généralement le chorobate mais il peut aussi recourir à un appareil plus élaboré, la dioptré.</p>	<p>librator (n, m) Tecnico addetto alla misurazione della pendenza dell'acqua. Il compito principale era proprio quello di realizzare delle livellazioni e queste, soprattutto nel caso degli acquedotti, delle bonifiche ecc.</p>
<p>maçonnerie (n, f) Ouvrage de construction à base de pierres, de briques, des moellons, etc., généralement assemblés entre eux à l'aide d'un liant (plâtre, ciment, mortier, etc.).</p>	<p>muratura (opera in) (n, f) Struttura muraria costituita da diversi elementi (pietra, laterizio) sovrapposti gli uni agli altri con l'interposizione o no (a secco) di materiale cementante.</p>
<p>mastic (n, m) Masse de consistance plastique employée pour les rebouchages.</p>	<p>mastice (n, m) Prodotto semisolido, risultante dal miscuglio di sostante malleabili ma atte a indurirsi: di composizione diversa seconda dell'uso.</p>
<p>moellon (n, m) Pierre de construction maniable en raison de son poids et de sa forme. Pierre</p>	<p>pietra da costruzione (n, f) Dnominazione generica di materiali lapidei naturali (calcari, rocce silice,</p>

de grosseur intermédiaire entre le bloc et le caillou	arenarie ecc.) usati nelle costruzioni di blocchi irregolari o opportunamente sagomati.
molasse (n. f) Grès tendre, mêlé d'argile, de quartz	molassa (n. f) Formazione rocciosa costituita da arenarie e cemento calcareo, argille calcari, conglomerati, usata come pietra da mola.
mortier (n, m) Mélange d'un ou plusieurs matériaux rocheux meubles et d'eau durcissant à la suite d'une réaction chimique, étant susceptible d'assurer la liaison entre deux éléments rocheux solides.	malta (n. f) Impasto di più elementi: terra argillosa e graniglia o paglia; oppure terra ad altro contenuto di calcio mescolata a inerti, o calce e sabbia, o pozzolana. La malta comune è costituita da sabbia (2 parti in volume) grassello (1 parte) e acqua.
mortier de chaux (n, m) Chaux mêlée à des proportions variables de matériaux divers appelés agrégats jouant en fait le même rôle que les dégraissant mêlés à l'argile.	malta di calce (n. f) Legante formata da una miscela di calce, sabbia e pozzolana.
mortier de tuileau (n, m) Mélange de chaux grasse obtenu avec du calcaire blanc pur et une argile cuite et pulvérisée (débris concassés de briques et de poteries).	malta di cocchiopesto (n, f) Malta realizzata con l'impasto di polvere di cocchiopesto.
Nymphée (n, m) En principe, fontaine jaillissante dédiée aux nymphes ; en fait, fontaine monumentale ornée de statues de divinités et où les eaux tombent en cascade dans un bassin.	ninfeo (n, m) Grotta o costruzione consacrata alle ninfe con nicchie, absidi e fontane; fontana monumentale nelle grandi ville rinascimentali.
Oppidum (n, m) Terme utilisée par César dans la guerre des Gaules pour désigner une agglomération fortifiée ; dans le vocabulaire technique des archéologues, désigne une agglomération préromaine ou indigène.	oppidum (n, m) Opera di difesa militare fortificazione che ha lo scopo di far sì che i pochi si difendano dai molti aumentando il valore difensivo. Può essere permanente, provvisoria o campale.
opus (n, m) Terme employé par l'architecte Vitruve au 1 ^{er} siècle av. J.-C. pour désigner la caractéristique des différents appareils selon lesquels sont construits les murs romains	Opus (n, m) Ciascuno dei vari sistemi di tecnica edilizia antica (<i>opusquadratum, incertum, mixtum, ecc.</i>)

<p>opus caementicium (n, m) Technique de construction d'un mur composé d'une maçonnerie porteuse d'une canalisation (pont à arcades continues).</p>	<p>opus caementicium (opera cementizia) (n, m) Struttura del nucleo interno di un muro, ottenuta mediante l'impasto, per gettate successive, di scaglie di pietra (caementa) e malta di pozzolana e calce.</p>
<p>opus signinum (n, m) Maçonnerie composée de chaux grasse et fragments d'argile cuite provenant du concassage de tuiles, d'amphores et de céramiques. L'ensemble constitue, après prise et séchage, un matériau étanche d'une extrême solidité. Il est surtout employé pour le revêtement des sols de circulation, en enduit de cuvelage pour les parois des aqueducs et en chape de couronnement pour éviter les infiltrations d'eaux pluviales. L'italien emploie aussi « cocchiopesto ».</p>	<p>opus signinum (n, m) Impasto di minuti frammenti laterizi e di malta, usato come rivestimento impermeabile di muri e pavimenti (cocchiopesto).</p>
<p>Oued (n, m) Cours d'eau temporaire des régions arides d'Afrique du Nord, le plus souvent dessèché, mais pouvant avoir des crues brusques et importantes</p>	<p>oued, uedi o uad (n, m) torrente temporaneo, tipico delle regioni desertiche.</p>
<p>ouvrage d'art (n, m) Construction (pont, tranchée, tunnels), nécessaires à l'établissement d'une voie.</p>	<p>opera d'arte (n. f) Il termine designa tutti i manufatti murari e cementizi necessari all'esecuzione di lavori stradali.</p>
<p>par gravité (écoulement) Pour un écoulement par gravité, il faut donc une pente régulière et constante qui, d'après Pline, ne doit pas être inférieures à 20 cm au kilomètre pour assurer un écoulement régulier.</p>	<p>a pelo libero (scorrimento) Deflusso naturale dell'acqua per forza di gravità, in una condotta a pendenza costante ed equilibrata.</p>
<p>parement (n, m) Revêtement apparent, en pierre de taille, d'un mur.</p>	<p>paramento (n, m) Ognuna delle superfici laterali di una struttura muraria; nel caso dei comuni muri a spessori costante, ognuna delle due facce verticali del muro.</p>
<p>petit-appareil (n, m) Technique de construction antique d'un mur composé de deux parements de moellons de petites dimensions disposés par assises horizontales, liés à bain</p>	<p>Struttura con pietre di piccole dimensioni (n, f) Muratura in piccole pietre legate con malta di calce in uso a partire dal II secolo a.C. L'uso di questa tecnica doterà i Romani di una straordinaria tecnica</p>

de mortier de chaux et reliés par une maçonnerie de blocage intermédiaire.	edilizia; non solo verranno sfruttati tutti i tipi di roccia e di materiali artificiali, ma verranno sperimentati tutti i modi possibili di taglio, di accostamento e di paramento.
piedroit (n, m) Partie latérale d'une porte ou d'une baie assumant la transmission verticale d'une charge supportée par un linteau, une plate-bande appareillée d'une voûte ou d'un arc.	piedritto (n, m) Elemento architettonico verticale interposto talvolta fra il capitello e l'imposto dell'arco (composto da "piede" e "diritto").
pile (n, f) pilier de maçonnerie soutenant les arches (d'un pont)	pilone (n, m) Piedritto alto e robusto, in grado di resistere a forze notevoli; specialmente a sostegno di cupole e arcate di ponti.
plomb (n, m) Métal très dense d'un gris bleuâtre, facilement fusible, se laissant bien travailler et laminier.	piombo (n, m) Elemento chimico di imbolo pb. Metallo di color bianco buastro che all'aria diventa rapidamente opaco per la formazione di ossidi e carbonati. È presente in natura in numerosi minerali, il più importante, la galena, dalla quale principalmente si estrae. Viene usato nella fabbricazione di contenitori deformabili, tubazioni ecc.
poutrage (n, m) Assemblage de poutres, grosse pièce de bois équarrie, servant de support (dans une construction, une charpente).	travatura (n, f) Nella tecnica delle costruzioni, struttura di più travi connesse tra loro, utilizzata per coperture di notevole luce, ponte ecc.
pouzzolane (n, m) Le nom vient de la ville de Pouzzoles. Matière minérale pulvérulent provenant essentiellement de l'argile et de la chaux, qui fut employée à Rome. Cette poudre, mêlée avec la chaux et les pierres cassées, rend la maçonnerie ferme aussi sous l'eau.	pozzolana (n, f) Prodotto di deiezione vulcanica in forma di lapillo minuto; in antico sembra si cavasse perlopiù in cuniculi. Normalmente se unito al grassello, dà malta idraulica (nella proporzione di 3 a 1).
préture (n. f) Dignité, magistrature du préteur, magistrat judiciaire qui avait pouvoir de faire exécuter et interpréter la loi. Sous l'Empire, gouverneur des Provinces.	pretura (n, f) Nell'antica Roma, ufficio del pretore, magistrato che amministrava la giustizia. Nel passaggio alla repubblica, la carica di p. comportava anche attribuzioni militari identificandosi con quella del

	console. Al pretore spettava anche l'amministrazione delle province.
proportio (n, f) Composition harmonique d'un monument fondée sur des rapport arithmétiques simples ou sur des constructions géométriques faisant intervenir des valeurs irrationnelles.	proportio (n, f) Commisurabilità tra le singole parti di una figura nel "rapporto" armonico euritmico con il tutto, mediante un modulo per conseguire un ideale di bellezza.
qanat (n, m) Canal souterrain qui s'avance sous une élévation de terrain, à la recherche de l'eau d'infiltration. Cette dernière, une fois rencontrée, coule dans le canal qui la conduit en pente douce, jusqu'à la plaine desséchée au pied de la colline ainsi percée tous le 30 mètres environs, le canal est percé de puits verticaux très étroits qui rejoignent le sol supérieur. Ils servent à l'aération des mineurs et à l'évacuation des terres pendant la construction et au nettoyage des boues qui engorgent peu à peu le canal en cours d'utilisation.	qanat Lungo canale sotterraneo tipico dell'architettura idraulica dell'Iran.
radier (n, m) Revêtement plateforme (de charpente, de maçonnerie) couvrant le sol d'une installation hydraulique, d'un canal, et servant de fondation	platea (n, f) Blocco di muratura, costituito da archi e volte rovesce, o da una piattaforma con nervature in cemento, esteso a tutta la base della costruzione sovrastante.
redemptor (n, m) Entrepreneur chargé de la réalisation d'un ouvrage à la suite d'une adjudication	redemptor (n, m) Il redemptor o impresario era, nell'Antica Roma, l'appaltatore.
regard (n, m) Ouverture destinée à faciliter les visite et les réparation (dans une canalisation, un égout, une cave).	tombino (n,m) Apertura di accesso, generalmente sulla verticale del condotto: erano quelli serviti per lo scavo in galleria del condotto stesso e poi rimasti in funzione per la manutenzione. Attraverso di essi si facevano infatti i controlli e gli espurghi. Con questo scopo, sui manufatti sopraelevati erano scaglionati dei portelli.
remblai (n, m) Terre rapportée à cet effet ; ouvrage ou levée de terres rapportées.	riporto (materiale di) (n, m) Materiale proveniente da scavi o da demolizioni usato per riempire depressioni o per formare rilevati o argini.

<p>rhéteur (n, m) Maître de rhétorique, art de bien parler, technique de la mise en œuvre des moyens d'expression (par la composition, les figures).</p>	<p>retore (n, m) Presso gli antichi Greci, nome con cui si indicavano gli oratori e i maestri d'eloquenza (e in questo senso il termine si usa ancora con preciso riferimento al mondo greco-romano).</p>
<p>sable quartzeux (n, m) Le sable est une arénite ou roche détritique meuble composée de grains dont la taille est comprise entre 2 mm et 63 microns. La nature des grains peut-être quelconque, et si l'élément figuré majoritaire ou exclusif est le quartz, on parlera de sable quartzeux. Le sable est souvent assimilé à un sable quartzeux ; en effet, le quartz est un minérale ubiquiste, résistant mieux à l'altération et à l'usure.</p>	<p>sabbia quarzosa (n, f) La sabbia è una roccia sedimentaria clastica, incoerente, derivata dalla disgregazione di rocce preesistenti, costituita da minuti frammenti di minerali e rocce, scarsamente alterabili e di notevole durezza, di dimensioni variabili da 0,05 a 2 mm, utilizzata a seconda della composizione, nella preparazione di malte e calcestruzzi. Se il minerale predominante è il quarzo, viene detta sabbia quarzosa.</p>
<p>saillie Partie d'un ouvrage qui avance, dépasse le plan, l'alignement</p>	<p>aggetto Sporgenza verso l'esterno di un elemento architettonico o costruttivo rispetto alle adiacenti parti della struttura e soprattutto alle parti sottostanti da cui l'elemento stesso è portato. Con senso più generico, riferito a qualsiasi corpo e elemento che sporga da una parete verticale.</p>
<p>schiste (n, m) Roche ayant acquis une structure feuilletée, sous l'influence des contraintes tectoniques.</p>	<p>scisto (n, m) Rocchia metamorfica caratterizzata da una disposizione regolare, in piani grossolanamente paralleli dei componenti minerali lamellari o fibrosi che le conferisce una più o meno facile divisibilità; presente in tutti gli orizzonti geologici soprattutto in quelli antichi.</p>
<p>sesterce (n, m) Monnaie romaine originairement en argent qui valait deux as et demi ou un quart de dernier. Il disparut avec la réforme monétaire de Dioclétien.</p>	<p>sesterzio (n, m) Antica moneta romana, di argento durante la Repubblica, poi di ottone, quando divenne l'unità monetaria (il cosiddetto grande bronzo). Nel III sec. il sesterzio scomparve dalla circolazione</p>
<p>siphon (n, m) Tube courbé utilisé pour transférer un liquide d'un niveau donné à un niveau</p>	<p>sifone (n, m) Conduttura idraulica a forma di U rovesciata, con il braccio d'entrata più lungo</p>

<p>inférieur, en passant par un niveau supérieur aux deux autres.</p>	<p>di quello d'uscita, che si usa per portare un liquido da un livello ad un altro inferiore valicando un ostacolo più alto del livello superiore.</p>
<p>siphon inversé (n, m) Il utilise le procédé des vases communicants, quand une dépression aurait obligé à construire un pont trop élevé.</p>	<p>sifone rovescio (n, m) Sistema di conduzione dell'acqua basato sul principio dei vasi comunicanti, per portare l'acqua da un livello inferiore ad uno superiore.</p>
<p>sommier (n, m) Pierre qui supporte la retombée d'une voûte, d'un cintre.</p>	<p>pulvino (n, m) Elemento della colonna inserito tra il capitello e l'imposta dell'arco, di forma quadrangolare o di piramide tronca.</p>
<p>specus (n, m) Conduit naturel ou artificiel permettant le passage d'un fluide.</p>	<p>Speco (specus) (n, m) Canale di conduzione dell'acqua, in pietra o in muratura, entro un cunicolo sotterraneo o sopra costruzioni in muratura piena oppure su arcuazioni.</p>
<p>tétrarque (n, m) Chef d'une tétrarchie, gouvernement d'un territoire partagé en quatre parties. État résultant de la fraction d'un territoire en parties (la Judée fu divisée en quatre tétrarchies).</p>	<p>Tetrarca (n, m) Ognuno dei sovrani dei piccoli regni di Giudea.</p>
<p>trachyte (n, m) Roche consistant essentiellement en feldspaths alcalins et en minéraux ferromagnésiens</p>	<p>trachite Roccia eruttiva, effusiva, prevalentemente costituita da feldspati, sanidino e plagioclasio, cui si associano, in quantità subordinata, miche, pirosseni e anfiboli su una pasta di fondo per lo più olocristallina.</p>
<p>tranchée (n, f) Fouille en longueur, généralement aménagée (par des murs des soutènement etc.) pour donner passage à une voie de communication (route, canal).</p>	<p>trincea (n, f) Scavo dove, nell'Antichità romana correva lo speco dell'acquedotto, solitamente rivestita di opere murarie con paramento intonacato, fondo in calcestruzzo o in lastre di pietra foderate di cocciopesto.</p>
<p>vanne (n, f) Panneau vertical mobile disposé dans une canalisation pour en régler le débit.</p>	<p>paratoia Dispositivo mediante il quale si regola il deflusso di un corso d'acqua, costituito essenzialmente da un elemento piano o sagomato che, alzandosi e abbassandosi, nella corrente, impedisce in parte o del tutto il passaggio dell'acqua.</p>

<p>visée (n, f) Opération qui permet l'implantation de l'immense majorité des édifices, des centuriations et des insulae. L'instrument autorisant cette opération doit donc comporter un dispositif ayant deux axes de visée perpendiculaires, divisant l'espace en quatre quadrants : cet instrument, qui est de nos jours l'équerre optique, était dans l'Antiquité la <i>groma</i>.</p>	<p>traguado (n, m) Sul terreno possono presentarsi due situazioni particolari per le quali si richiede il ricorso a tale operazione: sia che a partire da una linea nota e picchettato si debba tracciare una direzione perpendicolare, sia che a partire da un punto isolato si debba tendere una linea retta. Queste diverse operazioni di traguado sono spesso affiancate dalle misurazioni di distanza, che devono sempre essere prese orizzontalmente per essere riportate in pianta. Allineamenti e i traguadi ortogonali, permettono di risolvere la maggior parte dei problemi topografici.</p>
<p>vousoir (n, m) Pierre taillée qui entre dans la construction d'une voûte ou d'un arc.</p>	<p>concio (n, m) Prisma triangolare tronco. Blocco di pietra facente parte di una struttura muraria e lavorato in modo da assumere forme definite.</p>
<p>voûte (n, f) Couvrement en maçonnerie, délimitant la partie supérieure de l'édifice à couvrir et prenant appui latéralement sur des murs ou de grandes arcades, ceux-ci sont à la voûte ce que les pieds-droits sont à l'arc.</p>	<p>volta (n. f) Struttura di copertura caratterizzata dalla concavità geometricamente definita dalla superficie interna dell'arco. A differenza dell'arco, che copre un passaggio, la volta copre un ambiente</p>
<p>Voûte en berceau (n, f) Voûte engendrée par un arc en plein cintre</p>	<p>Volta a botte (n, f) Volta costituita da una struttura semicilindrica poggiate su due muri paralleli</p>

RINGRAZIAMENTI

Un grazie infinite innanzi tutto alla Professoressa Bisirri che dopo tutti questi anni, mi accolta nuovamente e mi ha motivato a riprendere questo lavoro enorme cominciato più di 20 anni fa.

Non posso non ringraziare i miei relatori di allora, il Prof. Vizzaccaro e la Prof.ssa Caramis, per avermi guidata in un lavoro che forse era più grande di me. Ringrazio ora, oltre alla Prof.ssa Bisirri, come relatrice, anche i miei correlatori, i Professori, Furell, Vannecke et Paparusso, per la loro disponibilità nei miei confronti, pur non avendo avuto modo di conoscerci durante i corsi.

Un grazie a tutti i miei amici architetti ed ingegneri che si sono trovati a dover rispondere alle mille domande su metodi architettonici e ingegneristici antichi.

Ringrazio anche i miei colleghi di lavoro in Mazars, per avermi permesso di ritagliarmi dei piccoli spazi per poter lavorare su questa tesi.

Grazie a tutti!

Francesca

BIBLIOGRAFIA

Testi e riviste specializzate

- ✓ Adam Jean Pierre, *Grands Manuels Picard, La construction romaine (matériaux et techniques)*, Picard, Paris 1984
- ✓ Adam Jean Pierre, *L'arte di costruire presso i Romani*, Longanesi & C., Milano 1990
- ✓ Adam Robert, *Manuale di Architettura Classica*, Sugarco Edizioni, Varese 1990 - Titolo originale 'Classical Architecture' trad. di Sonia Franchi
- ✓ Adorno Piero, *L'Arte Italiana Vol. 1 – Dall'Arte Cretese-Micenea all' Arte Gotic*, Casa Editrice D'anna, Firenze 1985
- ✓ Angela Alberto, *Una giornata nell'antica Roma – vita quotidiana, segreti e curiosità*, Rai Eri, Roma 2007, Arnoldo Mondadori Editore Spa, Milano 2007
- ✓ Angela Alberto, *Persia, alla corte dei re* in “*Viaggio nella Storia*”, Raicom Spa, Roma, 2016 – Centauria, Milano 2016
- ✓ Angela Alberto, *La forza dell'Impero* in “*Viaggio nella Storia*”, Raicom Spa, Roma, 2016 – Centauria, Milano 2016
- ✓ Angela Alberto, *Augusto, come nasce un Impero* in “*Viaggio nella Storia*”, Raicom Spa, Roma, 2016 – Centauria, Milano 2016
- ✓ Antonietti, Allasia, Flammini - *New Highway To Tourism* - Sei - Torino 1992
- ✓ AA.VV - *Manuale di Storia dell'arte* - Vol. I - Electa • Bruno Mondadori - Milano 1988
- ✓ AA.VV. - *Roma l'urbe nei secoli dalle origini al 2000* – pubblicazione periodica settimanale de *Il Messaggero* - Casa Editrice Bonechi – Firenze 1998
- ✓ AA.VV -*Archeo* - monografia n° 5/2000 ·~ *Giordania antichi regni del deserto* - De Agostini Rizzoli periodici - Milano 2000
- ✓ AA.VV - *Archeo* - monografia n° 1/2001 - *Iran, Viaggio tra i tesori dell'antica Persia* - De Agostini Rizzoli periodici - Milano 2000

Bibliografia

- ✓ AA.VV - *Archeo* - monografia n° 2/2001 - *Creta la grande isola* – De Agostini Rizzoli periodici - Milano 2001
- ✓ AA.VV - *Archeo* - dal numero 3 al numero 7 - De Agostini Rizzoli periodici - Milano 2001
- ✓ Bersi Paola, Ricci Carlo - *Leggere l'immagine. La storia dell' arte* -Zanichelli – Bologna 1993
- ✓ Bianchi Bandinelli Torelli - *L'arte nell'antichità classica - Etruria e Roma 2* - UTET - Torino 1976
- ✓ Cairoli Fulvio Giuliani - *L'Edilizia nell'Antichità* - Nuova Italia Scientifica - Roma 1990
- ✓ Carandini Andrea - *Schiavi in Italia, gli strumenti pensanti dei romani tra tarda Repubblica e medio Impero* - NIS – 1988
- ✓ Castriota David - *The Ara Pacis Augustae* - Princeton University Press – Princeton 1995
- ✓ De Finizio Claudio - *Sulla portata degli antichi acquedotti* – *Tipografia Genio Civile - Roma 1930*
- ✓ De Pilati Maria, Barbieri Eleonora, Nardelli Flavia - *Geografia del Turismo in Europa* - Zanichelli_ - Bologna 1991
- ✓ Döring Mathias, *Aqua per Gadara*, in “*Archeologia sotterranea*”, Anno III, n. 3, *Sotterranei di Roma*, Roma, 2012. Edizione kindle
- ✓ Fabietti Renato - *L'uomo dalla preistoria alla fine dell'Impero romano* -Ghisetti e Corvi editori - Milano 1990
- ✓ Fiche, Paillet, Fabre - *Aqueduc de Nimes - Gard* - Paris 1991
- ✓ Guidi Federica, *Vacanze Romane – Tempo libero e vita quotidiana nell'antica Roma*, Mondadori Libri Spa, Milano 2015, Edizione kindle
- ✓ Giuliana Antonio - *Storia dell' arte greca* - NIS - Roma 1989
- ✓ Gross, Pierre - *L'architecture romaine du début du III siècle ... Vol.1 (les monuments publics)* - Picard Editeur - Paris 1996
- ✓ Hodge A. Trevor - *Roman Aqueducts & Water Supply* - Duckworth - Londra 1992

Bibliografia

- ✓ Holloway, R. Ross - *The archeology of early Rome and Latium* • London; New York - Routledge – 1994
- ✓ Maura Giancarlo - *Materiali per l'Edilizia* - II edizione - Edizioni Dei -Roma- 1990
- ✓ O' Connor Colin - *Roman Bridges* - Cambridge University Press - Cambridge 1993
- ✓ Perkins, John B. Ward - *Architettura Romana* - Electa - Milano 1989
- ✓ Petrignani Achille -*Tecnologie dell'Architettura* - Serie Gorlick – Gorlick - Istituto Geografico De Agostani Novara S.p.A. - Novara 1987
- ✓ Lorenzo Quillici, *Acquedotti di Roma* in “Archeo” pag. 50 a 97 n° 5, De Agostini Rizzali Periodici, Milano 1989
- ✓ Ravaglioli Armando - *Questa è Roma*, Roma Tascabile, collana diretta da Armando Ravaglioli, Tascabili Economici Newton – Newton, Roma 1994
- ✓ Robertson D. S., *Greek and Roman Architecture*, Cambridge University Press, Cambridge 1992
- ✓ Roman Danièle, Yves, *Rome, l'identité romaine et la Culture hellénistique*, CDU Sedes, Francia 1995
- ✓ Sear Frank, *Roman Architecture*, Routledge London, Londra 1998
- ✓ Sheerin, S. Seath J., White G., *Spotlight on Britain*, Oxford University Press, Oxford 1991
- ✓ Stacciali A. Romolo, *Gli acquedotti di Roma antica*, Roma Tascabile, collana diretta da Armando Ravaglioli, Tascabili Economici Newton, NEWTON - Roma 1996
- ✓ Traina Giusto, *Ambiente e paesaggi di Roma antica*, NIS, Roma 1990

Atlanti

- ✓ AA.VV., *Atlante Geografico Metodico De Agostini*, Istituto Geografico de Agostini, Novara 1992
- ✓ Grande atlante geografico e storico - Torino - UTET . 1991

Bibliografia

- ✓ AA.VV., *Le Grand Atlas de L'Art*, Edition Klincksieck, Paris 1997
- ✓ AA.VV., AA.VV., *Le Grand Atlas de L'Art*, Edition Klincksieck, Paris 1997

Dizionari, guide ed enciclopedie

- ✓ Aicher, Peter J., *Guide To the Aqueducts of Ancient Roma*, Bolchazy Carducci, Illinois 1995
- ✓ AA.VV. *Nuova Enciclopedia dei Ragazzi Mondadori* - Verona 1983 - Arnoldo Mondadori Editore
- ✓ AA.VV., *Encyclopaedia Universalis*, Voi 1 e 2 – Vol. 1 pagg. 168 a 177, 182 a 183. Voi 2 pagg. 585 a 591, France S.A 1993
- ✓ AA.VV., Guida d'Europa "Francia", T.C.I. (Touring Club Italiano), Milano 1984
- ✓ AA.VV., Guida d'Europa "Turchia", T.C.I. (Touring Club Italiano), Milano 1984
- ✓ AA.VV., *La Bibbia* - Edizioni Piemme - Alessandria 1990
- ✓ AA.VV., *Thermal Regions Italia*, Istituto Geografico De Agostini, ENIT, Novara 1991
- ✓ AA.VV., *Guida D'Italia* - Istituto Geografico de Agostini – Novara 1991
- ✓ Kouvelakis Paul, *Grecia, Peloponneso*, Ente Nazionale Ellenico per il Turismo-Sezione Pubblicazioni, Grecia 1989
- ✓ Lidaki Dafne, *Grecia Centrale*, Ente Nazionale Ellenico per il Turismo, Sezione Edizioni - n° 1° gennaio 1989, Grecia 1989
- ✓ Mauro Lucentini, Paola Lucentini, Eric Lucentini, Jack Lucentini, *La grande guida di Roma*, Cap. Il pp., Newton &Compton Editori 125 – 264, Roma 1999
- ✓ Ginouve, René, *Dictionnaire Methodique de l'architecture Greque et Romaine – Vol. I e III*, École française d'Athènes, École française de Rome – Roma, Atene 1985
- ✓ Girard, Jacques, *Dictionnaire Critique et Raisonné des Termes d'Art et d'Archéologie*, Editions Klincksieck, Paris 1997

Bibliografia

- ✓ Grassi Luigi, Pepe Mario, *Dizionario dei Termini Artistici*, TEA (su licenza UTET) Milano 1994
- ✓ Hornby A. S., *Advanced Learner's DICTIONARY*, Oxford University Press, Oxford 1995
- ✓ Marolli Giorgio - *Dizionario tecnico italiano-inglese/ Technical Dictionary english-italian* - 11 ° edizione, Hoepli Editori, Milano 1989
- ✓ Robert Paul - *Le Nouveau Petit Robert - Dictionnaires Le Robert* - Paris 199

SITOGRAFIA

- ✓ https://www.archeorome.com/ostie_antique.fullonicae.html blog sugli schiavi di Ostia Antica
- ✓ www.britannica.com, 2023 Encyclopædia Britannica Inc.
- ✓ <https://www.britishmuseum.org> Sito Istituzionale del British Museum
- ✓ www.comune.roma.it Sito istituzionale del comune di Roma
- ✓ <https://www.histoire-et-civilisations.com> Le Monde, Histoire & Civilisation, articolo *Les aqueducs, ces chef d'œuvre de l'ingénierie romaine*, copyright 2020
- ✓ <https://journals.openedition.org/mefra/3250>, *L'acqua come elemento di lusso nella cultura romana: da Varrone alla Historia Augusta*, OpenEdition, infrastructure complète d'édition numérique, portée par OpenEdition Center, Unité d'appui et de recherche du CNRS, d'Aix-Marseille Université, de l'EHESS et d'Avignon Université.
- ✓ <https://www.mei.edu/publications/qanats-and-water-cooperation-sustainable-future>, *Qanat and water cooperation for a sustainable future*, 19/01/2014, MEI@75 – Peace, prosperity, partnership, Middle East Institute
- ✓ www.provincia.roma.it Sito istituzionale della provincia di Roma
- ✓ <https://www.raiplay.it/video/2018/06/Passaggio-a-Nord-Ovest-bcac9dba-d94f-473b-9369-b0aa73ab9549.html>, *L'ingegneria nell'antica Roma*, in "Passaggio a Nord Ovest". 30/06/2018
- ✓ <https://www.raiplay.it/video/2020/06/Passaggio-a-Nord-Ovest-46d90bae-259e-428d-9913-32c2e5bb8e5a.html>, *L'arco simbolo dell'abilità architettonica e ingegneristica dei Romani* in "Passaggio a Nord Ovest", st 2019/20
- ✓ <https://www.raiplay.it/video/2022/01/Passaggio-a-Nord-Ovest-b62c3053-43c4-4f8c-911d-bd436ca76aba.html>, *Gli acquedotti romani*, in "Passaggio a Nord Ovest", st. 2021/2022
- ✓ <https://www.renzogarrone.com/argomenti/iran/165-qanat-story-l-acqua-nei-deserti-iraniani.html>; *Qanat story, l'acqua nei deserti iraniani*, Renzo Garrone blog.

Sitografia

- ✓ <https://www.romanoimpero.com>, copyright 2009 Romanoimpero
- ✓ <https://www.sotterraneidiroma.com>. I sotterranei di Roma – Sotterranei di Roma, Tour sotterranei, spelearcheologia
- ✓ <https://www.techno-science.net> partenaire HD-Numérique
- ✓ <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Aqueducs-de-Rome.html>, Techno-science.net
- ✓ <https://it.techdico.com>, Dizionario tecnico multilingue, TermDico SaS
- ✓ <https://www.traianvs.net>, TRAIANVS, The European portal of water engineering, 199-2020
- ✓ https://www.traianvs.net/pdfs/2015_roman_water_supply_system.pdf, TRAIANVS,
- ✓ <https://www.traianvs.net/dictionnaire/index.htm>
- ✓ www.treccani.it, Sito ufficiale dell'enciclopedia Treccani
- ✓ <https://www.turismoroma.it>, Sito turistico ufficiale della città di Roma
- ✓ <https://www.tuttogreen.it/per-un-uso-sostenibile-dellacqua-ritorna-lantica-tecnica-idraulica-del-qanat/>, *Per un uso sostenibile dell'acqua, ritorna l'antica tecnica idraulica del qanat*, Tutto Green – Guida Pratica alla green economy, copyright Tuttogreen srl.
- ✓ <https://www.visite-guidate-roma.com>, Associazine Culturale Roma bella
- ✓ <https://www.vita-romae.com>, copyright vita-romae.com 2013-2022
- ✓ <https://www.vitantica.net/2019/02/22/raccolta-acqua-piovana/>, *La raccolta dell'acqua piovana nell'antichità*, 02/2019, blog Daniele Bagnoli.
- ✓ <https://whc.unesco.org/en/list/1506/> Unesco, *The Persian Qanat*, The World Heritage Convention
- ✓ https://www.wikiwand.com/it/Tecnologia_ellenistica, Wikiwand, the Wikipedia reader
- ✓ <https://www.wikipedia.org> The free encyclopædia

Sitografia

- ✓ <https://www.worldheritagesite.org/list/The+Persian+Qanat>, *The Persian Qanat*, sito WHO
- ✓ <https://www.youtube.com/watch?v=2DwilnCEkDI>, programma Mediaset, *Capolavori dell'ingegneria romana*, 2015.