

Stefano Giovanni Loffi

Piccola Storia dell'Idraulica

libera traduzione, ridotta ma integrata, di

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

Cap. 2 - Le conoscenze dell'antica Grecia

Cremona – 23 gennaio 2006

Cap. 2 - Le conoscenze dell'antica Grecia

Gli antichi Greci, che costituivano un insieme di comunità mai unite in un'unica nazione ma fondatrici di una vasta ed originale cultura che ancor oggi porta frutti in gran parte del mondo, furono grandi navigatori e mercanti, certo in questo aiutati dalle particolarità della propria terra. I frequenti contatti e gli scambi con le altre civiltà del Mediterraneo assicurarono ai 'figli di Elléno' mille opportunità di confronto, di dialogo e di apprendimento.

Quando l'Egitto aprì ad essi le proprie porte, intorno al 650 a.C., non solo in quel regno giunsero dalla Grecia mercanti e navigatori ma anche studenti e uomini di cultura, soprattutto filosofi e matematici.

Molti congegni, pratiche applicazioni di non noti principi di Idraulica (come il sifone, il mantice, la siringa, l'orologio ad acqua), in Egitto normalmente utilizzati da secoli se non da millenni, furono acquisiti dai Greci, rappresentando – in alcuni casi – punto di partenza per nuovi traguardi poi ai soli Greci attribuiti.

Nonostante ciò, ai tempi nei quali la civiltà greca venne in contatto con altre comunità più progredite e consolidate, erano già presenti, sul suo territorio, grandi opere idrauliche.

Per esempio la galleria di drenaggio del lago Capsis, in Boezia, caratterizzata da ben sedici pozzi, il più profondo dei quali misurava 46 metri, oppure il sistema di approvvigionamento dell'acqua sviluppato da Eupalino di Megàra per l'isola di Samo.

Architetto ed ingegnere del tiranno Policrate, intorno alla metà del VI secolo a.C., Eupalino fu artefice di questo acquedotto, per i tempi grandioso. Eròdoto, storico greco del V secolo, lo considerò alla stregua di altre grandi e famose opere di quel tempo, come il tempio di Era, edificato nel decimo secolo a.C. nella stessa isola. Parte dell'acquedotto di Samo era costituita da una doppia galleria, scavata nella roccia, lunga 1463 metri: la superiore di sezione 2,8 x 2,8 metri e l'inferiore 3,8 x 3,8; solo in quest'ultima galleria inferiore scorreva l'acqua. Attraverso quest'opera, la città di Samo aveva garantita l'acqua di una abbondante sorgente (così riferisce Eròdoto). Un problema risolto brillantemente da Eupalino fu l'inizio dello scavo della galleria, partendo da entrambi i lati della montagna e conducendo le traiettorie in modo da renderle rettilinee ed allineate. Di quest'opera sono ancor oggi presenti ampie vestigia.

Negli acquedotti greci scavati in galleria lo schema del doppio cunicolo non era infrequente. A lungo ci si è interrogati per comprendere come mai in quei tempi, nei quali uno scavo in roccia era un'opera di grandissimo impegno (sotto ogni punto di vista), si ricorresse, di fatto, a raddoppiare ogni fatica, realizzando due condotti, dei quali solo l'inferiore destinato a condurre le acque. La tesi oggi più accettata non può non destare stupore: la galleria superiore, collegata all'inferiore da pozzi verticali, svolgeva una funzione di protezione dai movimenti tellurici e dai crolli, che potevano così concentrare la propria energia su di essa, a protezione di quella sottostante, portatrice di acqua. Evidentemente i costruttori greci erano stati in grado di osservare questo fenomeno e di valutarne l'utilità superiore al prezzo dei maggiori costi e lavori di esecuzione, perché corrispondeva ad una miglior garanzia di non vedere pregiudicato il vitale flusso delle acque, qualunque accidente fosse occorso alla galleria superiore.

La ricchezza documentale e scientifico/storica dell'antica Grecia è ricca di testimonianze che ci parlano del progresso della conoscenza scientifica, ed in particolare in Idraulica e nelle scienze ad essa collegate.

Ad esempio, l'ampio lavoro del fisico e storico Ctesias, che visse circa cento anni dopo Eupalino. Ctesias trattò il complesso della storia dell'Assiria e della Persia, in un'opera di 23 volumi, ed in essa, per la prima volta, riporta considerazioni ed osservazioni sul comportamento delle acque nei fiumi naturali: primi accenni di Idraulica fluviale.

Taléte di Miléto (640–546 a.C.) fu uno dei primi studiosi greci che si dedicò alla scienza presso i sacerdoti di Memphis e di Tebe, custodi del sapere egizio. Da questi trasse la cultura e lo stimolo per fondare la più antica scuola greca di filosofia: la Scuola Iònica. Egli ottenne particolare fama tra i suoi concittadini grazie alla corretta interpretazione dell'eclissi solare (Taléte trasse le principali conoscenze che lo portarono a questa scoperta dagli Egiziani, da molto tempo déditi alle osservazioni astronomiche); a lui è riconosciuto il mérito d'aver attribuito all'anno solare una durata di 365 giorni, dimostrandone la miglior adeguatezza rispetto al tradizionale anno lunare di 360 giorni, sebbene tale osservazione fosse già presente in scritti degli scienziati egizi.

Taléte proseguì nello sviluppo della Geometria, sòlida e piana, migliorando quanto già noto agli Egizi, ed introdusse la Geometria lineare; fu sua l'idea, che tanto successo ebbe per tanto tempo, che la Terra fosse piatta e l'acqua l'origine di tutte le cose.

Forse il più rilevante contributo allo sviluppo dell'Idraulica fu la tesi, originale della Scuola Iònica, secondo la quale lo studio della Natura debba essere condotto attraverso l'osservazione diretta, per descrivere e poi comprendere ogni fenomeno nel suo manifestarsi: un approccio quanto mai ùtile nello studio dei fenomeni idraulici.

Un più giovane contemporaneo di Taléte, Pitàgora di Samo (Samo ca 575 – Metaponto ca 497 a.C.), è degno di essere qui ricordato, sebbene non si conoscano di lui contributi diretti all'Idraulica. Nei documenti che parlano della sua vita, storia e leggenda si confondono: si dice che, come Taléte, sia stato introdotto nelle più riservate conoscenze scientifiche dai sacerdoti dei templi egizi; con questi condivise la prigionia in Babilonia, dove rimase per vent'anni. È certo che avvicinò le culture egizia, mesopotàmica e, probabilmente, indiana.

Pitàgora fu uno dei primi a sostenere che la Terra fosse sférica ed espresse il suo concetto di universo che anticipava, sebbene con poco convincimento, la teoria avanzata da Copérnico più di duemila anni dopo; resta famoso, per tutti, per il teorema sui triangoli rettangoli detto, appunto, il *Teoréma di Pitàgora*.

Verso il 535 si stabilì a Crotone, nella penisola italiana, dove fondò la Scuola Itàlica, prima vera accademia filosofica, ispirata al principio che la conoscenza fosse un mezzo di elevazione dello spirito, unendo l'interesse per la scienza ad un ascetismo dalle ferree régole. A séguito di una congiura, Pitàgora fu costretto a trasferirsi a Metaponto, sul finire del sesto sécolo, e la Scuola Itàlica si sciolse per ricostituirsi poco dopo a Taranto, ad òpera dei suoi discepoli, dove fiorì fino alla fine del quarto sécolo prima di Cristo, dando vita ad una corrente filosofica detta Pitagorismo. La Scuola Itàlica, detta anche Pitagòrica, ebbe grande influenza sulla cultura della Magna Grecia, sviluppando studi soprattutto in Matematica ed in Astronomia.

I Pitagòrici ritenevano che i numeri fossero il principio di tutte le cose; ogni cosa, quindi, è riconducibile a numeri ed a forme geométriche; ogni forma geométrica è scomponibile in piani, linee e punti sino a singole unità: i numeri. La comprensione della realtà giunge nella descrizione di ogni aspetto di essa attraverso i numeri.

All'importanza dell'osservazione, professata dalla Scuola Iònica di Taléte, si aggiunse quindi quest'altro approccio, quantomai stimolante, che mérita una sottolineatura, perché l'atteggiamento di fronte a ciò che si osserva ma non si comprende è determinante nel progresso delle scienze.

La Scuola Itàlica giunse alla conseguente conclusione: non esiste alcun aspetto della Natura che non possa essere compreso; l'unico limite alla ricerca è la capacità di scoprire il modo, comunque già determinato, di tradurre ogni fenomeno in espressioni numéricas che lo descrivano pienamente. Nulla, quindi, è inarrivabile per la comprensione della mente; nulla è mistero impenetrabile: il vantaggio, nello sviluppo del sapere è strabiliante!

Un'altra importante scuola di pensiero sorse nell'antica Grecia ad òpera di uno dei più importanti tra i filosofi greci che si formarono culturalmente in terre straniere: Demòcrito (Abdera

ca 465 – ca 370 a.C.); nato in Tracia ad Abdera, nel 465 a.C., trascorse quasi sette anni in Egitto e poi viaggiò in Persia, in India ed in Etiopia. Fu allievo di Leucippo di Miléto, padre dell'atomismo. Scrisse 70 opere delle quali restano solo 300 frammenti, comunque sufficienti per testimoniarne una cultura che spazia dalla Cosmologia, alla Matematica, alla Geografia, alla Medicina . . .

Fu fondatore della Scuola Atòmica, i cui insegnamenti influenzarono la filosofia greca per molti sécoli. Perfezionando l'atomismo di Leucippo, Demòcrito considerò che l'universo fosse costituito da una quantità costante di materia e di vuoto; la materia è a sua volta composta da un infinito numero di particelle elementari o àtomi, solidi, omogenei ed indivisibili, differendo tra loro soltanto in forma, peso ed ordine. Come la materia, anche il moto era considerato eterno, con una sua origine in un moto precedente e così via all'infinito. Nulla considerò di fortuita formazione o di origine superiore e credette che ogni cosa in natura fosse dovuta a processi quasi meccanici, secondo un processo rigorosamente deterministico: c'è sempre una lògica in tutti gli avvenimenti.

Nei successivi due o tre sécoli le tre Scuole (Iònica, Itàlica ed Atòmica) produssero una vasta serie di documenti manoscritti su diversi aspetti del pensiero filosofico, ma di questi abbiamo oggi soltanto loro frequenti citazioni da parte degli scrittori successivi.

Per la Scuola Iònica l'aria era il principio base della vita. Per la Scuola Itàlica il fuoco era la vera essenza dell'universo; le due dottrine concordavano tuttavia sul fatto che il fuoco, l'aria, l'acqua e la terra fossero le quattro principali forme della materia.

La Scuola Atòmica considerò la parte di spazio vuoto essenziale tanto quanto quella occupata dalla materia. La Scuola Itàlica similmente sostenne che i vuoti esistevano tra le particelle elementari con le quali è composta la materia; vuoti che così consentono i movimenti relativi tra le particelle ed il miscuglio di materiali diversi senza un apparente mutazione del volume. La Scuola Iònica, al contrario, affermò che il vuoto assoluto fosse impossibile e che lo spazio tra le particelle fosse sempre occupato dall'aria.

L'essenza di quelle teorie è ripresa e testimoniata negli scritti di molti filosofi greci: elaborata da alcuni, modificata da altri, ma invariabilmente agganciata – per quanto qui interessa – sull'esistenza o meno del vuoto.

Il filosofo Platone, che visse ad Atene tra il 428 ed il 347 a.C., rappresentò un estremo allontanamento dalle idee originali di Taléte, impostate sull'importanza dell'osservazione, mentre fu notevolmente affine a Pitàgora nella passione per la Matematica, scienza dei numeri che è la massima espressione della 'purezza concettuale'. Il grande rigore delle conclusioni logiche della Matematica spinse Platone a sostenere che la Matematica può portare alle verità assolute per cogliere l'essenza della realtà. Molte altre scienze hanno questa capacità, secondo Platone, ma non la Fisica, che egli considera una semplice osservazione dei fenomeni alla quale non va attribuito alcun mérito né capacità di conoscenza.

L'evidente contrasto con l'atteggiamento di Demòcrito, sostenitore dell'osservazione e della capacità di questa di fornire la spiegazione fisica e matematica dei fenomeni osservati, trovò la filosofia di Platone vincente, 'seppellendo' lo stimolo della ricerca fenomenologica sino al XVI secolo. Platone fondò un'Accadémia, chiamata Prima Accadémia, che continuò ad esistere ed operare per molti sécoli, al punto che ancor oggi una corrente di pensiero è chiamata 'platonismo', che ripete e rinnova le basi del suo pensiero: l'identificazione dell'idea con la realtà e la conseguente oggettivizzazione della spiritualità, la massima considerazione del puro pensiero e la corrispondente svalutazione dell'esperienza e delle scienze empiriche, l'esaltazione dell'intuizione intellettuale come conoscenza perfetta.

Il più autorevole 'prodotto' di questa scuola – forse l'unico di particolare nota – fu Aristòtele (Sagira 384 – Càlcide 322 a.C.), il cui pensiero estese per millenni, ed estende tuttora, la propria influenza sulle culture di quasi l'intero pianéta.

Aristòtele nacque a Sagira, una colonia greca sulle coste nord ovest del mar Egeo, figlio di un médico. Tra l'età di 18 e 37 anni, trasferitosi ad Atene, fu discepolo di Platone fino alla morte di questi. Nel 343 fu chiamato da Filippo, re di Macedonia, affinché fosse precettore del suo figlio Alessandro, al quale Aristòtele infuse l'idea della superiorità della cultura ellénica e della sua naturale tensione alla diffusione ed al dominio. Nel 335 Aristòtele tornò ad Atene e vi fondò la sua scuola, detta Licéo perché aveva la sua sede tra i viali che circondavano il tempio di Apollo Licéo. Aristotele era solito tenere le lezioni passeggiando tra questi viali e da questo la sua scuola fu detta Peripatética e Peripatétici i suoi discepoli. Sebbene allievo di Platone, egli se ne distaccò, rigettando il concetto di Platone delle idee come realtà vera e riabilitando l'importanza degli eventi e dei fenomeni.

Aristòtele fu analista di grande spessore, studiando, attraverso l'osservazione, ogni aspetto della vita naturale; studiò il movimento degli astri, il moto delle cose e degli esseri viventi. La grande influenza, che si protrasse per molti secoli, del pensiero di Aristòtele ebbe risvolti negativi soprattutto nel campo della Meccanica e della Fisica, dove la naturale mèta è nella comprensione stessa del fenomeno osservato.

Gli scritti di Aristòtele rappresentano una vera e propria enciclopedia della logica peripatética: Fisica, Psicologia, Biologia, Astronomia, Metafisica, Ètica e Politica (intesa come scienza – cosa oggi quasi irriverente . . . per il concetto stesso di scienza!), con particolare ênfasi sull'evoluzione delle conoscenze in ogni campo.

In considerazione dei loro effetti sulla storia dell'Idraulica è più interessante notare che i suoi commenti sul moto dei fluidi erano relativamente brevi, incidentali; in essi è sempre presente la sua convinta negazione dell'esistenza del vuoto: “. . . non vi è alcuna ragione che possa sostenere l'esistenza del vuoto, come non v'è ragione dell'esistenza dello zero come numero.” In altri fenomeni egli portò conclusioni corrette ma senza alcuna dimostrazione: così il galleggiamento del legno nell'acqua è dovuto al fatto che questo materiale contiene spazi al suo interno; il nuoto è meno faticoso nell'acqua di mare perché è salata.

Se tutti i precedenti filosofi avevano considerato il moto dipendere da un altro moto e così via sin dalle origini delle cose, Aristotele attribuì il movimento di ogni cosa come prodotto della naturale tendenza di ogni elemento a ritornare al proprio stato iniziale; ma analizzando il moto 'violento', cioè il movimento di oggetti ai quali è stata applicata una intensa e rapida spinta iniziale ed intensa forza di lancio, Aristotele giunse ad una conclusione paradossale: il mezzo attraversato (aria o acqua che fosse) è responsabile della resistenza al moto ma anche del suo sostentamento: “. . . le cose che sono lanciate si muovono, anche se ciò che diede il loro primo impulso più non le tocca, per la ragione della mutua sostituzione, perché l'aria . . . le spinge con un movimento più veloce del moto naturale dell'oggetto . . . ”

Partendo dall'impossibilità dell'esistenza del vuoto, quindi che un oggetto che attraversa un fluido non può lasciare dietro a sé una scia dove il fluido non torni istantaneamente, Aristotele, era quindi convinto che il fluido, attraverso il quale il corpo lanciato procede, è compresso davanti al proiettile, ma è immediatamente rimpiazzato dietro ad esso, cioè nello spazio che il corpo lascia dietro a sé, producendo una spinta all'avanzamento. L'idéa, figlia del rifiuto che il vuoto possa esistere anche solo per un attimo, che fosse lo stesso fluido, attraversato dall'oggetto in moto, responsabile del movimento si diffuse come la 'Teoria del mezzo del moto'.

Sebbene Aristotele, abbandonando l'impostazione del suo maestro Platone, fu un deciso sostenitore dell'osservazione, riprendendo concetti di Demòcrito, e pensasse che la conoscenza dovesse continuamente progredire negli insegnamenti e nella documentazione, dopo la sua morte le sue opere vennero come cristallizzate dai tanti che ne seguirono la via, al punto che costituirono esse stesse il principale ostàcolo al progresso.

Fu così che, anche se altri scienziati e filosofi ottennero riconoscimenti nella antica Grecia, per circa sette secoli gli scritti di Aristotele vennero considerati come la più alta espressione culturale sui molti fondamentali aspetti della vita civilizzata. Alle sue opere è addirittura attribuito il mérito d'aver custodito la vera scienza dal generale 'disfacimento sociale e culturale' del Medio

Evo. Nessuno può dire quale diverso sviluppo avrebbe subito il pensiero se Aristotele non fosse esistito; molti considerano infatti che il generalizzato, scrupoloso e spesso àcritico séguito dei suoi scritti produsse una diffusa stagnazione della ricerca.

Al potere di una nazione, purtroppo, si è spesso associata l'espansione a danno dei popoli vicini; la Grecia antica non poteva non soggiacere a questa régola della Storia umana, forse smentita solo in questi ultimi decenni, anche se, purtroppo, non ovunque nel mondo.

Le attività béliche, anche nel passato più remòto, in époque, cioè, caratterizzate da tali e tante 'infanziae culturali', erano causa del più ràpido progresso di quella parte della conoscenza legata allo sviluppo degli strumenti di guerra, di conquista e di 'colonizzazione'. Con il passare dei sécoli, agli eserciti seguirono e poi vennero affiancati gli uomini votati sia alla ricerca teòrica che alle applicazioni pratiche e tecnologiche, chiamati a produrre non solo migliori strumenti di offesa ma anche alla realizzazione di òpere di consolidamento delle acquisizioni territoriali. La tecnologia nelle costruzioni, le conoscenze in Fisica ed in Meccanica divennero così una componente importante negli esérciti.

Nelle spedizioni militari dell'antica Grecia iniziarono a comparire stabilmente ingegneri/costruttori, ben prima del regno di Alessandro Magno (356 – 323 a.C.). Il re macédone diede ad essi una posizione privilegiata, perché essenziali nella costruzione sia di macchine da combattimento e mezzi di trasporto, sia nella realizzazione di nuove grandi opere civili, se non intere città, come Alessandria d'Egitto, edificata intorno all'anno 332 a.C.. Questa città, assieme a tante altre omònime che Alessandro fondò lungo il suo vittorioso cammino, doveva essere germe e suggello della supremazia della cultura ellénistica attraverso la gloria del popolo macédone. Lo scopo fu raggiunto, superando persino le intenzioni originarie. Sotto il regno dei Tolomei, dal IV al I secolo a.C., Alessandria divenne la capitale intellettuale del mondo ellénico, anche se, paradossalmente, isolata, per volontà di quest'ultima dinastia di faraoni, rispetto alla cultura ed al mondo d'Egitto. Tutti i manoscritti, allora esistenti nelle culture del Mediterraneo ed oltre, furono acquistati o copiati per la biblioteca di Alessandria, magnifico edificio dedicato alle Muse che divenne, sebbene in terra d'Egitto, il núcleo della maggiore università greca.

Tra i molti sviluppi Alessandrini si può, per esempio, citare la Matematica che, con Euclide (Alessandria IV/III sécolo a. C.), elevò la città a maggior riferimento per la cultura scolastica greca fondandovi una Scuola di Matematica che restò famosa per sécoli.

Euclide non fu, però, soltanto un matematico: nella sua òpera più importante, '*Elementi*', egli dettò le régole per un rigido processo deduttivo della scienza, fondato sulla seguente successione: enunciazione, esempio, specificazione, costruzioni aggiuntive, dimostrazione, conclusione. La dimostrazione, a sua volta, è condotta attraverso l'analisi, la sintesi, la confutazione dell'assurdo, l'eshaustione e la determinazione. Il linguaggio tecnico e il nuovo e codificato formalismo euclideo costituirono un modello di esposizione scientifica a lungo insuperato, anche se di Euclide tutti ricordano, quantomeno come gradita eco dell'esperienza scolastica, soltanto i due teorémi sui triangoli rettangoli che portano il suo nome.

Anche Archiméde (Siracusa 287–212 a.C.), matematico e fisico siracusano, figlio di Fidia, un astrònomo, completò i propri studi alla scuola euclidéa di Alessandria. Tornato a Siracusa, mantenne stretti contatti con i matematici Alessandrini, in particolare con Eratóstene.

Come per Pitàgora, anche sulla figura di Archiméde la storia si confonde con la leggenda, rendendo difficile il separare con certezza la realtà dalla fantasia, quest'ultima da Archiméde stesso aborrita perché da essa scaturiscono concetti indegni della vera scienza. I suoi studi abbracciarono molteplici settori della scienza, tuttavia la sua notorietà è legata soprattutto alle scoperte in Geometria ed in Idraulica.

È universalmente noto l'episodio della sua vita – non privo di alòne leggendario – nel quale intuì, e poi enunciò, il principio di galleggiamento, mentre faceva il bagno: tale fu la sua gioja

– narra la ‘cronaca’ – che Archimede, gridando “*hēurēka!*” (ho trovato!), si lanciò, senza vestiti, in strada.

Il *Principio di Archimede* oggi è così ricordato:

“Qualsiasi corpo pesante, se immerso in un liquido, riceve una spinta, diretta dal basso verso l’alto, che è uguale al peso del volume di liquido occupato dal corpo medesimo.”

. . . la conseguenza è evidente ma resta opportuna qualche considerazione.

Immergendo un corpo in un liquido, possiamo dedurre la densità, rispetto a quella del liquido stesso, semplicemente osservandone il comportamento: se affonda ha maggiore densità, minore, se galleggia; ecco perché, ad esempio, come non desta alcuno stupore vedere un pezzo di legno galleggiare sull’acqua, altrettanto banale dovrebbe sembrare il veder galleggiare un chiodo di ferro immerso nel mercurio!

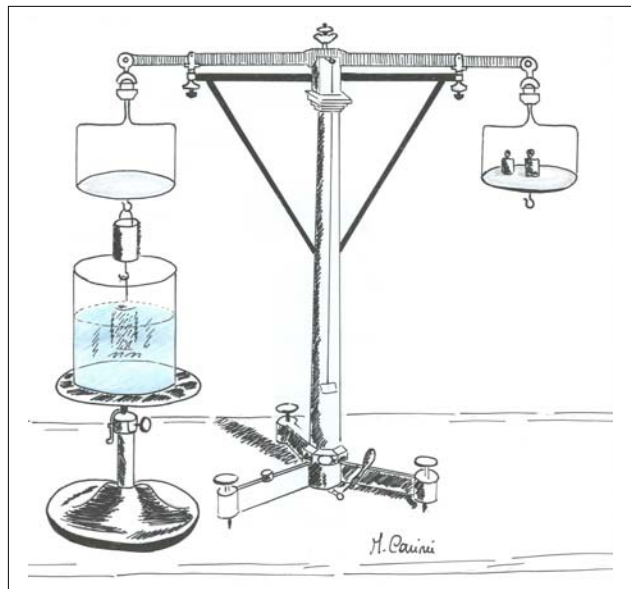
In realtà la densità dedotta in tale modo dovrebbe essere chiamata *densità apparente*, perché la spinta di Archimede è pari al peso del volume della parte immersa dell’oggetto, quindi del liquido spostato, e non tiene conto del fatto che il corpo immerso possa avere dei vuoti non comunicanti con il liquido nel quale è immerso: una nave fatta di metallo, materiale più denso dell’acqua, galleggia perché fatta anche di vuoti; affonda quando i vuoti entrano in comunicazione con l’acqua . . . riempiendosi.

Archimede, però, proseguì in una successiva conclusione:

“due corpi di identico volume, ma di materiale differente, immersi nello stesso liquido saranno spinti verso l’alto da una forza identica: misurandone il peso residuo si può concludere quale dei due sia più denso.”

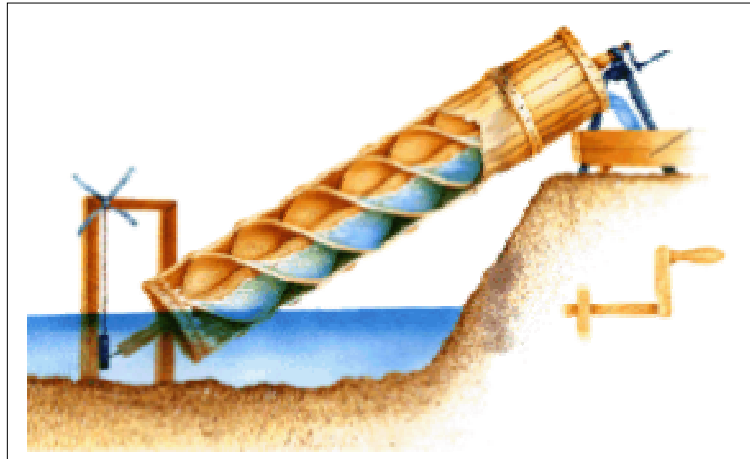
Fu così evidente, allo scienziato siracusano, che questo fenomeno poteva essere utile per valutare la densità della materia di ogni corpo rispetto alla densità dell’acqua, presa come riferimento; sua fu l’invenzione dello strumento per effettuare queste misurazioni: la bilancia idrostatica, detta *Bilancia di Archimede*. Con essa Archimede risolse un quesito postogli da Gerone, tiranno di Siracusa, che desiderava sapere se la corona a lui preparata fosse interamente d’oro e non invece composta anche da metalli meno preziosi; la difficoltà era l’ovvio ordine di non rovinarla. Archimede dimostrò, attraverso la sua bilancia, che in realtà la corona era composta di oro ed argento e non di solo oro, sapendo anche definire le proporzioni tra i due metalli.

Sotto la protezione di Gerone, del quale era amico e forse parente, Archimede realizzò molte invenzioni: macchine per il sollevamento, sistemi di leve (gli si attribuisce la frase *‘Dàtemi un punto di appoggio e vi solleverò il mondo.’*), macchine da guerra, tra le quali gli specchi ustori (grandi paraboloidi che concentravano la luce ed il calore del sole) ed il cannone a vapore (in un cilindro metallico, il ‘fumo d’acqua’, così era chiamato nell’antichità il vapor acqueo, era portato in pressione e poi liberato, permettendo il lancio di pesanti proiettili; vedremo presto che anche



Erone provò l'energia che poteva racchiudersi nel 'fumo d'acqua' ma solo con Leonardo da Vinci, diciassette secoli dopo, vennero riprese le esperienze sulla forza del vapore in pressione).

Sebbene compaia già in alcuni documenti egizi, anche se in forma semplificata, ad Archimede è attribuita l'invenzione della vite d'acqua, oggi detta *Vite di Archimede* o *còclea*: pompa dalla tecnologia particolarmente semplice, che costituì un importante progresso nel sollevamento delle acque, soprattutto per l'irrigazione dei campi.



Siracusa, nel 209 a.C., fu assediata dai Romani, che la conquistarono dopo tre anni di assedio. Nel successivo saccheggio

(*praedatio*), al quale erano autorizzati i legionari, Archimede venne ucciso, si dice ma forse è un'altra leggenda, da un legionario, irritato perché non si era subito distolto dai suoi calcoli quando il soldato gli ordinò di alzarsi perché il Console Marcello lo voleva al suo cospetto. Il Comandante romano, infatti, aveva raccomandato ai suoi uomini di catturare lo scienziato siracusano sano e salvo; ma la feroce disciplina, allora vincente caratteristica delle truppe di Roma, produsse la reazione che portò alla morte di un sì grande uomo.

Di Archimede sono noti dieci opere; la più importante per la storia dell'Idraulica è il doppio volume dell'analisi dell'idrostatica e del galleggiamento: *'Sui corpi galleggianti'*.

Oltre all'enunciazione del *Principio di Archimede*, già ricordato, l'opera contiene un altro importante postulato:

la forza, con direzione verticale, che si manifesta nei corpi immersi in un fluido agisce come fosse applicata al loro centro di gravità, il baricentro.

Questa considerazione gli permise di studiare, per differenti forme, l'equilibrio tra la forza peso e la spinta di galleggiamento, giungendo ad enunciare regole precise per verificare quanto una forma fosse, in acqua, più stabile di altre, con dirette applicazioni di ingegneria navale.

Lo stesso metodo di ricerca dell'equilibrio delle due forze, peso e galleggiamento, venne utilizzato da Archimede per sviluppare metodi di determinazione di aree, volumi e centri di gravità.

Le scoperte di Idrostatica di Archimede sono certamente tra i più rilevanti contributi della ricerca scientifica dell'antica Grecia.

Riferendosi al trattato *'Sui corpi galleggianti'*, l'italiano G. L. Lagrange, circa venti secoli dopo, affermò: *"Questo lavoro è uno dei più splendidi momenti attestanti il genio di Archimede, perché contiene la teoria perfetta sulla stabilità dei corpi galleggianti, tant'è che dopo di lui ben poco è stato ad essa aggiunto."*

Altri tre rappresentanti della Scuola euclidea di Alessandria meritano una citazione in questa storia, nonostante la scarsità dei documenti e la incertezza di alcuni riferimenti che rendono difficoltosa la loro esatta collocazione nel tempo.

Il primo di questi fu Ctesibio, che si ritiene vissuto dopo la metà o del terzo o del secondo secolo prima di Cristo. Il secondo fu Philo di Bisanzio, probabilmente contemporaneo o immediatamente seguente di Ctesibio. Il terzo fu Erone di Alessandria, che visse in un periodo ancora indeterminato; a tutt'oggi la sua vita viene collocata, non senza qualche dubbio, nel primo secolo dell'era cristiana.

Ctesibio nacque ad Alessandria; nonostante fosse figlio di un barbiere e barbiere lui pure, si applicò - con genio innato - agli studi di Idraulica, tant'è che gli si attribuiscono molte invenzioni, tra le quali l'orologio ad acqua e gli organi ad acqua. Per questi ultimi, a Ctesibio è riconosciuto il mérito d'aver per primo utilizzato l'aggettivo 'idraulico' per indicare il fatto che in essi la pressione dell'aria, che generava il suono nelle canne, era prodotta dalla pressione dell'acqua.

Di particolare interesse è l'attribuzione a Ctesibio della pompa a pistoni, che con lui quindi farebbe la sua prima comparsa nella storia dell'Idraulica: due pistoni disposti uno di fronte all'altro e scorrenti in altrettanti cilindri, in grado di produrre un getto d'acqua con una pressione utile significativa. Nessuno degli scritti di Ctesibio sono giunti sino a noi; di lui abbiamo le sole notizie tramandateci dagli scrittori posteriori, come Marco Vitruvio Pollione (I sécolo a.C.) che, nel suo *'De Architectura'*, gli accreditoò quelle specifiche invenzioni.

Del secondo rappresentante della scuola alessandrina, Philo (o Philone) di Bisanzio, esistono alcuni scritti, purtroppo solo in frammenti, che trattano argomenti di Pneumatica. Esaminò e discusse il principio di funzionamento del sifone, utilizzandolo in molti ingegnosi dispositivi, come le camere a pressione, in parte riempite di aria; alcuni di questi sistemi avevano l'esplicito effetto di mantenere, durante il flusso, il livello costante nel recipiente dal quale il sifone estrae il liquido. Il fatto che alcuni di tali sistemi avessero trovato applicazione nell'uso comune non è provata dai frammenti che parlano del lavoro di Philo; qualcuno però correttamente deduce che essi fossero utilizzati in numerosi dispositivi idraulici e pneumatici per creare giochi ed 'effetti speciali', in occasione di rappresentazioni e trattenimenti.

Tanti furono gli argomenti e le materie indagate da Eròne di Alessandria: Geometria, Matematica, Pneumatica, Meccanica, Fisica, Ottica, Geodesia, Idraulica, come testimoniano i suoi numerosi lavori, in buona parte giunti sino a noi.

Di grande interesse, anche per lo sviluppo dell'Idraulica applicata, è la sua formula, di Geometria, per la risoluzione dei triangoli (ancora oggi indicata come *'Formula di Eròne'*) che, assieme all'invenzione della *diottra* (strumento topografico, progenitore del tacheòmetro e del teodolite), permise di risolvere il seguente problema, qui enunciato con la dizione dello stesso scienziato greco: *'Perforare una montagna con una galleria in linea retta, dati i punti iniziali e finali dello scavo'*.

L'applicazione di questa scoperta, matematico-topografica, consentì di realizzare grandi acquedotti che poterono superare, in galleria, alture diversamente insormontabili, collegando alle città acque sorgenti, ottime e in grande abbondanza, scaturenti a notevoli distanze.

Tra le molte considerazioni e scoperte attribuibili ad Eròne, rivestono grande rilievo, per l'argomento di questo libro, le sue analisi sul moto dei fluidi. Nell'introduzione dell'òpera *'Pneumatica'*, egli prende spunto dall'aristotelico rifiuto dell'esistenza del vuoto, realtà che giudicò certo difficilmente intuibile per la mente umana, perché innaturale, ma non impossibile: postulò, infatti, che il vuoto potesse non solo esistere ma addirittura essere prodotto artificialmente da una forza sufficientemente intensa, così come intensa dovrebbe essere una forza che eliminasse il vuoto che si trova tra le particelle elementari ed infinitesime che compongono la materia.

Il superamento del dògma aristotelico dell'inesistenza del vuoto aprì la mente di Eròne alla comprensione del principio di funzionamento del sifone. Egli prima dimostrò, contrariamente a quanto era ritenuto dagli studiosi del suo tempo, che un allargamento di una parte del sifone, quindi un aumento dell'acqua in questo tratto contenuta, non produce un cambiamento nel flusso in uscita, diversamente dipendente, oltre che dal diametro minimo della condotta, dalla differenza tra i livelli del fluido nei contenitori che il sifone collega, flusso che si annulla quando tale differenza scompare: ecco la prima esplicita formulazione della relazione tra l'altezza d'acqua in un recipiente rispetto ad una foro ricavato nella sua parete (carico idraulico) e la quantità d'acqua che esce dal foro (portata dell'efflusso).

Per spiegare il principio che innesca lo scorrere dell'acqua nel sifone, la cui prima parte è una tubazione ascendente, Eròne così si esprime: “[Il comportamento dell'acqua in un sifone] è dovuto alla stessa causa per la quale, utilizzando lo stesso dispositivo, noi possiamo aspirare vino facendolo salire [dal contenitore] nonostante ciò sia contrario alla naturale tendenza del liquido a cadere verso il basso. Così quando abbiamo aspirato nel nostro corpo l'aria che era nel sifone, la pressione esercitata dall'aria intorno a noi preme nell'atmosfera ed agisce tanto sinchè produce un vuoto sulla superficie del vino nel sifone e così il vino sale con tale pressione che lo spingerà nello spazio vuoto del sifone; in questo non v'è altro posto nel quale possa sfogarsi la pressione.”

Ecco una nuova originale ed importante scoperta di Eròne: il concetto del peso dell'atmosfera, quindi della sua pressione esercitata su ogni corpo o sostanza. Dovettero passare ben quindici secoli perché l'italiano Evangelista Torricelli riprese questo principio per farne il cardine delle scoperte, allo stesso attribuite, che hanno dato il via allo studio, tra tanti altri aspetti, dei fenomeni atmosferici.

Nella stessa opera ‘*Pneumatica*’, Eròne discute su molte ingegnose applicazioni del sifone, simili ma spesso più complesse di quelle trovate nei frammenti di Philo.

Di particolare interesse è il semplice espediente di montare il sifone su un galleggiante, con lo specifico scopo di mantenere costante il livello nel serbatoio, in un desiderato intervallo, a fronte di una portata non costante in arrivo; il sifone, infatti, galleggiando segue l'andamento del livello stesso e così regola automaticamente la portata scaricata nel serbatoio ricevente: se il flusso in arrivo è eccessivo, il livello aumenta così come la differenza tra quest'ultimo ed il livello del serbatoio di scarico cosicchè, essendo proporzionale a tale dislivello, aumenta la portata scaricata sino a superare quella in arrivo; il livello allora torna a decrescere e con esso la portata del sifone galleggiante innescando un processo inverso e così via . . . Questo espediente è assai utile per i meccanismi che abbisognano di un livello il più possibile costante come, ad esempio, gli orologi ad acqua che misurano il tempo in proporzione alla quantità di flusso uscente da un serbatoio; più, in quest'ultimo, il livello è costante più precisa è la misura del tempo.

Nelle esperienze di Eròne troviamo anche la più antica esperienza di propulsione a getto, verificata attraverso un semplice dispositivo sferico rotante, mosso dai getti di vapore scaturiti da ugelli diametralmente opposti, per evaporazione – da surriscaldamento – dell'acqua contenuta nello stesso recipiente. Si narra, inoltre, che Erone realizzò un dispositivo che, sfruttando la pressione del vapor acqueo, azionava l'apertura delle porte di un tempio in Alessandria d'Egitto, provocando grande ammirazione tra i presenti. Queste esperienze, che avrebbero potuto anticipare di diciassette secoli l'utilizzo della forza del vapore, furono per Erone poco più di un'occasione per suscitare stupore e sorpresa, senza procedere, purtroppo, a conseguenti ben più utili applicazioni.

Assai più importante, per la storia dell'Idraulica, è il seguente passaggio tratto dall'opera “*Dioptra*”, che contiene la più antica espressione della relazione tra le aree delle sezioni, la velocità, il volume ed il tempo, necessari per la determinazione della portata di un flusso:

“Preso una sorgente, per determinare il suo flusso, che è la quantità d'acqua che passa non è sufficiente trovare l'area della sezione trasversale della corrente . . . è anche necessario trovare la velocità del flusso, perché più veloce è la corrente e più la sorgente fornisce acqua, se meno veloce minore sarà la quantità.”

La scoperta di Eròne è l'archétipo di una delle due leggi fondamentali dell'Idraulica, detta *Legge di continuità*, che rimase, purtroppo, confinata nei suoi scritti.

La sua mancata diffusione costituisce uno dei tanti incomprensibili misteri della Storia della ricerca scientifica. Possiamo solo supporre che il dissenso che Eròne manifestò apertamente,

non senza dimostrazioni ineccepibili, dell'assoluto rifiuto del vuoto della dottrina di Aristotele, come già detto così determinante nell'influenzare il pensiero scientifico sino al Rinascimento, abbia concorso ad una sorte di ostracismo e quindi all'oblio di tutto il lavoro di Eròne, ivi compresa la corretta osservazione dell'importanza della velocità nelle misure della portata di una corrente fluida.

Tale assunto mancò nella cultura idraulica sino ad una precisa data: 16 agosto 1639. Quella data è della lettera che l'abate Benedetto Castelli (Brescia 1587 – Roma 1643) scrisse a monsignor Ferrante Cesarini proprio allo scopo di spiegare il concetto centrale del suo trattato "*Della misura delle acque correnti*". Pubblicato nel 1638 questo lavoro 'cadde' su un terreno finalmente fértilo, ottenendo infatti grande crédito in Italia ed all'estero, soprattutto in Francia dove fu presto tradotto. La legge di continuità divenne così nota come '*Legge del Castelli*'; Eròne l'aveva scoperta e dimostrata ben 1500 anni prima ma, a quel tempo, il 'terreno delle menti' era per essa ancora stérile.

Oltre al ricordato Teoréma sui triangoli, ad Eròne resterà attribuita anche l'enunciazione del *Principio dei vasi comunicanti* (ma che non porta il suo nome!), che rappresenta il fenomeno speculare rispetto al funzionamento del sifone; egli lo applicò nella pratica nella costruzione dell'acquedotto della città di Olinto.

Certo è che solo una parte delle scoperte di Eròne a lui sopravvissero, come abbiamo visto, segno evidente di una mente che si trovò ad operare in un'epoca ancora non matura per acquisire alcuni dei suoi contributi, oppure ostile. È altresì ragionevole pensare che egli stesso non seppe utilizzare o non ebbe gli strumenti adeguati per dare ai propri risultati la proficua risonanza a stimolarne la generale attenzione. Forse più plausibile è la prima ipotesi, cioè che la società di quel tempo non era pronta a tanti e tali pensieri; prova ne può essere il fatto che con Eròne di Alessandria la spinta dell'antica Grecia ai progressi della ricerca e quindi alla Storia dell'Idraulica giunse ad esaurirsi, non foss'altro perché si esaurì la stessa civiltà greca, confluita, per 'assorbimento', in quella di Roma.

Prima di affrontare l'epoca di Roma antica, che seppe realizzare opere di tale complessità, efficienza e grandezza da essere elemento comune di riferimento della cultura di popoli e generazioni (i grandiosi acquedotti romani ad archi sovrapposti costituiscono immagine presente in tante culture), è necessaria una considerazione.

La scoperta di Eròne sulla relazione ...

"portata del flusso d'acqua = velocità della corrente x sezione della corrente"

...rappresentò un progresso culturale fondamentale ma dimenticato per i successivi quindici sécoli.

Anche le scoperte di altri non hanno avuto sorte migliore; eppure le applicazioni pratiche ed in particolare le opere idrauliche si svilupparono grandemente prima in Grecia e poi a Roma, sino alla caduta dell'impero, cioè sino alla distruzione di un'organizzazione capace, per dimensioni territoriali e ricchezza di mezzi e di mano d'opera (quasi sempre gratuita), di realizzarle, avendone la necessità.

Da questo deduciamo che il bisogno di governare le acque fu, nell'antichità, prevalente alla necessità di capirne le leggi fisiche, poiché le conoscenze empiriche e la tecnologia disponibile erano sufficienti a soddisfare le esigenze collettive.

Poco importava poter misurare con assoluta precisione la portata di una condotta inclinata: in caso di errore, per esempio nel tracciato di un acquedotto, si procedeva alla rettifica delle pendenze.

Poco importava di conoscere con esattezza la capacità di una tubazione nel resistere alla pressione: se scoppiava si riparava o la si sostituiva con una più robusta;

Poco importava conoscere l'esatta portata che usciva da una apertura, sia in pressione che a cielo libero, perché, nel caso, si modificava.

Poco importava la misura delle acque distribuite dall'acquedotto: la tassa fissa copriva le spese e l'acqua, evidentemente, era, per le esigenze del tempo, abbondante.

Poco importava sapere esattamente quanta acqua era disponibile per ogni singolo campo: l'agricoltura di allora era certamente da classificare estensiva e non come oggi costretta alla precisione del litro al secondo.

Poco importava la spinta dell'acqua in una curva di una condotta in pressione: se si sfilava . . . la si ancorava con maggior forza.

A che serviva la ricerca di una esatta misura della velocità o della pressione o delle spinte?

Quale miglior tecnologia costruttiva poteva sfruttare un tale progresso teorico/matematico, se le migliori tubazioni avevano gravi difetti di continuità, i giunti non sopportavano che pressioni modeste, le chiusure consentivano soltanto regolazioni grossolane, . . . ?

Ecco allora che la pratica prese il sopravvento sulla teoria; la ricerca cedette il passo alla realizzazione dettata dall'esperienza e dal limite delle necessità da soddisfare.

Così, dopo aver doverosamente citato coloro che, nel bacino del Mediterraneo, hanno comunque dato molto alla Storia della scienza Idraulica prima del sopravvento di Roma, troveremo in séguito argomenti e citazioni soprattutto nel ricordare l'alto livello della tecnologia costruttiva raggiunto dai popoli greco e romano ma poco in materia di sviluppi teòrici e di ricerca scientifica.

In questo giuocò un ruolo determinante l'innato spirito pratico della cultura dell'antica Roma, impegnata soprattutto nella costruzione dell'impero, che portò ad un diffuso atteggiamento di ammirazione della cultura greca, quasi fosse il massimo traguardo culturale raggiungibile, piuttosto che una fase di un progresso da seguire e sviluppare.

Giungeremo così all'oscurità calata con la morte dell'impero romano, non tanto sulla cultura e negli studi, che, per certi aspetti, ripresero la crescita, quanto nell'abbandono e quindi nella rovina di queste stesse grandiose opere e con esse dell'organizzazione sociale di vasti territorî.

Non mancherà, nel seguire lo scorrere del tempo, il riferimento alla cultura che, sempre attorno al mare Mediterraneo ma sulla sponda meridionale in qualche modo meno coinvolta nel processo di involuzione sociale del Medio Evo, senza alcun dubbio contribuì a non interrompere ma anzi ad accrescere lo sviluppo della conoscenza dell'umanità: l'Islam.

Prima di 'entrare in Roma' facciamo un passo indietro per indagare l'evoluzione di categorie di opere idrauliche e di conoscenze, essenzialmente pratiche, delle quali non si conoscono gli scopritori ma che costituiscono quel 'terreno delle esperienze' che è sempre fértili alimento della ricerca.

* * *

Si ringrazia, per le immagini:

- **Bilancia Idrostatica di Archimède:** disegno da modello - Mònica Carini Bajetti – Castelveverde, Cremona;
- **Vite di Archimede:** Istituto Statale Comprensivo di Negrar, Verona, per cortese disponibilità del prof. Franco Erbesato - <http://www.icnegrar.org/> .