

Acqua e gravità.
Da Archimede a Newton

Luciana De Rose, Marcella G. Lorenzi, Mauro Francaviglia*

*E il mare.
Potrebbe essere la perfezione – immagine per occhi divini –
... verità
Alessandro Baricco Oceano Mare*

1. Introduzione

Charles Baudelaire invocava per esprimere il concetto di libertà: “Uomo libero, amerai sempre il mare! Il mare è il tuo specchio: contempra la tua anima nel volgersi infinito dell’onda che rotola e il tuo spirito è un abisso altrettanto amaro”.

Il mare è il liquido amniotico della civiltà mediterranea: nelle teogonie è un’entità ancestrale, abitata da esseri divini la cui genesi si perde nella notte dei tempi. La speculazione filosofica e religiosa greca, in seguito fatta propria da quella romana, ne ha fatto nascere dalla sua schiuma la forma perfetta, Afrodite (Venere), divinità dell’amore e della bellezza, e ne ha popolato gli abissi di dèi misteriosi e veggenti, a volte capaci di terribili distruzioni e vendette, altre in grado di proteggere e donare vita: Proteo, Nereo, Oceano, Poseidone, Nettuno, Teti, Anfitrite, le ninfe Nereidi e Oceanine¹.

L’acqua è l’elemento naturale che sta alla base della vita di ogni essere vivente, il cui 75% è composto proprio da acqua.

Acqua di mare, pioggia, laghi, fiumi, sorgenti, acque termali rappresentano una risorsa prioritaria per la sussistenza, per gli spostamenti, per il benessere. Dove c’è siccità c’è il deserto, la sterilità, la mancanza la vita. Le zone povere di acqua, come ad esempio molte regioni dell’Africa, sono a rischio di desertificazione. L’acqua dunque come vita e prosperità, come vettore di cibo, di comunicazioni, di spostamenti, di culture, di religione, di salvezza e di purificazione.

Ma esiste l’altra faccia della medaglia, l’acqua come distruzione, uragani, tempeste, nubifragi, maremoti, esondazioni, che mettono a repentaglio la vita stessa.

La letteratura, l’architettura e l’arte si sono nutriti di questo elemento restituendone una molteplicità sconfinata di materiali, principi fisici, e concetti letterali. L’acqua è diventata, di volta in volta, metafora di purificazione e rinascita, si pensi al battesimo per esempio, di vita e morte, di viaggio (l’*Odissea* e le *Argonautiche* per citare due opere letterarie celebri sin dall’antichità) e trasformazione. Essa ispira rituali nascosti e significati palesi, spirituali e, inevitabilmente, politici². Attraverso l’acqua, dolce e salata avvenivano le “conquiste”, di ricchezza, cultura, di scoperte tecniche e fisiche. E questo avveniva sempre per fini pratici.

In questa sede il lavoro sarà concentrato sulle scoperte scientifiche e fisiche legate all’acqua, rese celebri da Archimede Siracusano, il geniale inventore ucciso durante il sacco di Siracusa nel 212 a.C., con un breve cenno alla forza di gravità, teorizzata da Newton nel 1687, e pubblicata nella *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, ma magistralmente impiegata dagli ingegneri idraulici Romani: forza vinta dallo stesso Archimede, mediante l’invenzione della geniale “coclea”.

* I paragrafi 1-4 sono da attribuire a Luciana de Rose, il paragrafo 5 a Mauro Francaviglia, il paragrafo 6 a Marcella G. Lorenzi.

¹ Esiodo, *Teogonia*, 187; Il. XVIII.

² Per una disamina completa cfr. L. DE ROSE, *I tesori del mare: L’arte alieutica nel mondo antico*, in G.P. GIVIGLIANO (a cura di), in *In Calabria. Storie “minori” al centro del Mediterraneo*, volume 9, Collana del CNR Storia economica del Mediterraneo; ESI, Napoli 2006, pp. 39-68; e L. DE ROSE, *Tecniche di pesca tra Cartagine e Magna Grecia*, Atti di convegno, Unical 28-29 maggio 2008, in corso di stampa.

La “vite di Archimede”, la cui forma può essere sfruttata per descrivere in modo elementare i “principii di minimo” ed il concetto di moto geodetico.

2. Archimede

È lo scienziato più famoso del mondo antico. Le sue opere, i suoi assiomi, i suoi principii erano rinomati, la sua figura quasi leggendaria. Così scriveva di lui Silio Italico:

C'era un uomo, gloria immortale dei coloni dell'Istmo [i Siracusani], che per il suo ingegno sopravanzava facilmente gli altri figli della terra: egli era privo di ricchezze, ma a lui si aprivano il cielo e la terra. Egli sapeva perché il nuovo Titano annunciava le piogge, quando al suo sorgere appariva tetro, i raggi offuscati; egli sapeva se la terra era immobile o resta sospesa con equilibrio instabile; perché con legge immutabile Teti si diffonda intorno al nostro globo e l'avvolge con le sue acque; conosceva i travagli del mare e le fasi della luna, secondo quale legge il padre Oceano governasse le maree. Non era vana credenza che egli avesse contato tutti i granelli di sabbia che il mondo contiene. Si racconta anche che egli avesse mosso navi e fatto salire cumuli di pietre per opera della sola mano di una donna³.

Studi di fisica, meteorologia, astronomia, matematica, ingegneria avevano e hanno reso Archimede il genio del suo tempo e non solo.

Ciò nonostante, nelle fonti poco si conosce della sua nascita, notizie maggiori e dettagliate sono invece riferite riguardo la sua morte.

Archimede fu ucciso, pare per errore, dai soldati del console Claudio Marcello durante il sacco di Siracusa nel 212 a.C. Si narra del pianto del console alla notizia della grave perdita e che dall'espugnazione della città avesse trafugato uno dei due modelli planetari, realizzati dallo scienziato, uno semplice e uno con movimento idraulico, per donarlo al tempio della Fortuna a Roma.

La sfera, ammirata anche da Cicerone, fu ritenuta nel mondo romano una meraviglia, pare che fossero simulati i moti del sole, della luna e dei cinque pianeti visibili. Ne parlano Linceo Mirabella e Claudiano, in un epigramma, ha affermato fosse realizzata in vetro, infine Lattanzio Firmiano l'ha descritta in rame. Da un cenno ciceroniano si potrebbe ritenere che le sfere fossero due, una dentro l'altra e che l'interna, rappresentante la terra, fosse in rame, mentre quella esterna, che riproduceva il cielo fosse in vetro trasparente. Quindi in un'unica opera Archimede potrebbe aver rappresentato le due sfere: terrestre e celeste.

Sempre ipotesi vogliono che il movimento fosse azionato tramite meccanismo idraulico. Notizie in merito alle competenze astronomiche archimedee sono inserite nell'opera *Arenario*⁴.

3. Il principio di Archimede

Navigare sfruttava il principio di Archimede. In pochi, enunciando “Un corpo immerso in un fluido riceve una spinta dal basso verso l'alto pari al peso del volume di fluido spostato ($F_A = \rho_{\text{flu}} g V$)”, rammentano che lo scienziato siracusano (287-212 a.C.) è vissuto nella colonia greca di Sicilia nel

³ “Vir fuit Isthmiacis decus immortale colonis, / ingenio facile ante alios telluris alumnos, / nudus opum, sed cui caelum terraeque paterent. / ille, nouus pluuias Titan ut proderet ortu / fuscatis tristis radiis, ille, haereat anne / pendeat instabilis tellus, cur foedere certo / hunc adfusa globum Tethys circumliget undis / nouerat atque una pelagi lunaequae labores, / et pater Oceanus qua lege effunderet aestus. / non illum mundi numerasse capacis harenas / uana fides. puppis etiam constructaque saxa / feminea traxisse ferunt contra ardua dextra” *Punica* XIV. 341-352.

⁴ Cfr. a proposito L. DE ROSE, *Il simbolismo delle sfere*, in «*spHera*», n. 5, febbraio 2011, pp. 60-61; e L. DE ROSE, *Il globo nell'antichità - Iconografia*, Cultura Calabrese Editrice, Lamezia Terme 1996. Riguardo le traduzioni dei testi di matematica e fisica si rinvia a A. VITTORIO, *Archimede Siracusano. Invenzioni e contributi tecnologici*, Morrone editore, Siracusa 2010, pp. 12-13. Il testo citato si rivela un buon strumento didattico, chiaro e semplice, dotato di schede esplicative.

III secolo a.C. Archimede fu un personaggio di grande spessore, inventore della leva – proprio a lui si deve la celeberrima frase “datemi un punto di appoggio e io vi solleverò il mondo!” –, degli specchi ustori, delle catapulte, impiegate, assieme agli specchi, per difendere Siracusa nel corso dell’assedio da parte di Roma durante la II guerra Punica.

La “scoperta” del celebre “principio” che porta il suo nome è descritta da Vitruvio, nel *De architectura*, IX, 9-13, mentre Archimede nel parla nei *Galleggianti* – opera in due libri – nel I libro prop. I 3, I 4, I 5, I 6.

Il racconto vitruviano narra che Gerone, tiranno di Siracusa, in segno di gratitudine aveva offerto una corona d’oro agli dèi. Aveva dato a un abile orafo una certa quantità di oro affinché realizzasse il gioiello: ma ebbe dei dubbi quando prese in mano l’*ex-voto*. Sospettando che l’artigiano potesse aver imbrogliato, ossia aver mischiato all’oro metalli meno nobili, il sovrano siracusano chiese ad Archimede di scoprire se ci fosse un imbroglio, senza manomettere il manufatto.

Nei giorni successivi lo scienziato non riusciva a pensare ad altro, la risoluzione del problema stava in cima ai suoi pensieri, anche mentre espletava le sue incombenze quotidiane. Persino quando entrò nella vasca da bagno proseguì nelle sue riflessioni. Osservò che durante l’immersione il suo corpo spostava l’acqua verso l’alto, sino a farla tracimare. Aveva appena risolto il suo grattacapo. La leggenda vuole che, avendo così trovato la soluzione, preso dalla felicità, uscisse dall’acqua nudo e soddisfatto, correndo per strada e urlando “Eureka, Eureka”.

Immerse due corone nell’acqua, una d’oro e una d’argento: grazie al peso specifico della masse dell’oro e dell’argento, in base alla massa d’acqua spostata, egli riuscì a smascherare l’inganno⁵.

Molti strumenti di uso comune applicavano il “principio di Archimede”.

Una descrizione di Polibio, storico greco che illustra cognizioni del II secolo a.C., riferita da Strabone, geografo vissuto circa quattro secoli dopo, assume toni talmente reali e al contempo ricchi di *pathos* nel rappresentare i pescatori di pescespada, nelle acque di Scilla, da sembrare antesignano precedente del capolavoro di Ernest Hemingway, *Il vecchio e il mare*:

⁵ Vitruvio, *De architectura*, IX, 9-13: “*Archimedis vero cum multa miranda inventa et varia fuerint, ex omnibus etiam infinita sollertia id, quod exponam, videtur esse expressum. Nimum Hiero enim Syracusis auctus regia potestate, rebus bene gestis cum auream coronam votivam diis immortalibus in quodam fano constituisset ponendam, manupretio locavit faciendam et aurum ad sacromam adpendit redemptori. Is ad tempus opus manu factum subtiliter regi adprobavit et ad sacromam pondus coronae visus est praestitisse [10] Posteaquam indicium est factum dempto auro tantundem argenti in id coronarium opus admixtum esse, indignatus Hiero se contemptum esse neque inveniens, qua ratione id furtum reprehenderet, rogavit Archimeden, uti in se sumeret sibi de eo cogitationem. Tunc is, cum haberet eius rei curam, casu venit in balineum, ibique cum in solium descenderet, animadvertit, quantum corporis sui in eo insideret, tantum aquae extra solium effluere. Itaque cum eius rei rationem explicationis ostendisset, non est moratus, sed exiluit gaudio motus de solio et nudus vadens domum verius significabat clara voce invenisse, quod quaereret; nam currens identidem graece clamabat: Eureka, Eureka! [11] Tum vero ex eo inventionis ingressu duas fecisse dicitur massas aequo pondere, quo etiam fuerat corona, unam ex auro et alteram ex argento. Cum ita fecisset, vas amplum ad summa labra implevit aquae, in quo dimisit argenteam massam. Cuius quanta magnitudo in vasum depressa est, tantum aquae effluxit. Ita exempta massa quanto minus factum fuerat, refudit sextario mensus, ut eodem modo, quo prius fuerat, ad labra aequaretur. Ita ex eo invenit, quantum ad certum pondus argenti ad certam aquae mensuram responderet. [12] Cum id expertus esset, tum auream massam similiter pleno vaso demisit et ea exempta, eadem ratione mensura addita invenit ex aquae numero non tantum esse: minore quanto minus magno corpore eodem pondere auri massa esset quam argenti. Postea vero repleto vaso in eadem aqua ipsa corona demissa invenit plus aquae defluxisse in coronam quam in auream eodem pondere massam, et ita ex eo, quod fuerit plus aquae in corona quam in massa, ratiocinatus reprehendit argenti in auro mittionem et manifestum furtum redemptoris. [13] Transferatur mens ad Archytæ Tarentini et Eratosthenis Cyrenaei cogitata; hi enim multa et grata a mathematicis rebus hominibus invenerunt. Itaque cum in ceteris inventionibus fuerint grati, in eius rei concitationibus maxime sunt suspecti. Alius enim alia ratione explicaverunt, quod Delo imperaverat responsis Apollo, uti arae eius, quantum haberent pedum quadratorum, id duplicarentur, et ita fore uti, qui essent in ea insula, tunc religione liberarentur”.*

“Un’antica sentinella guida una flottiglia di barche a due remi (*skafidion*), ciascuna delle quali ha a bordo due uomini. Uno di essi spinge l’imbarcazione, l’altro sta ritto a prua tenendo un arpione; non appena la sentinella segnala la presenza del pesce – esso nuota tenendo un terzo del corpo fuori dell’acqua – avvicinatasi la barca, l’uomo colpisce da vicino il pesce, quindi estrae dal suo corpo la lancia eccettuato il puntale che è uncinato, poco solidamente fissato alla lancia e porta attaccata una lunga corda che il marinaio lascia scorrere. Con questa l’animale ferito viene trascinato finché non si stanchi di dibattersi e di cercare di fuggire, poi, se non è eccessivamente pesante, viene tirato a terra e issato sulla barca. La lancia anche se cade in mare non va perduta, poiché è fatta di una parte di legno di quercia e di una di pino, di modo che mentre la parte di quercia per il suo peso tende ad affondare, l’altra rimane a galla, permettendo di recuperare facilmente la lancia”⁶.

Al di là della narrazione poetica, interessa nella odierna sede il genio umano, che si estrinseca nell’utilizzo della lancia descritta da Strabone proprio nella pesca del pescespada. Lo strumento è composto da un cilindro di legno, mentre la punta è un uncino di ferro, che serve esattamente per arpionare il pesce. La lancia è legata con una lunga corda di canapa (la sagola) atta a trascinare e “sfinire” la preda, ma con il rischio che il sangue fluente possa attrarre pesci a loro volta predatori, come gli squali⁷.

La sezione di legno, la lancia, è formata a sua volta da due parti incastrate ed estraibili: una di robusta quercia, resistente, e un’altra di legno di pino, materiale leggero, adatto a galleggiare, per poter recuperare facilmente l’arma e riutilizzarla per la seguente battuta. Questo strumento ha una semplicità da sembrare ovvia, eppure è tanto complesso da sfruttare ben tre principi di fisica: la forza di inerzia, la forza di gravità e, appunto, il principio di Archimede.

La parte robusta consentiva, grazie al “lancio”, di acquistare gittata e potenza (forza di inerzia) nella traiettoria parabolica, una volta caduta in acqua, grazie alla forza di gravità affondava nella porzione di quercia pesante, ma in virtù del principio di Archimede il legno leggero di pino tendeva a risalire, impedendo l’affondamento e rendendo facile il recupero, nonché il conseguente riutilizzo dello strumento⁸.

4. La forza di gravità.

L’antico arnese utilizzava anche la forza di gravità, individuata da Aristotele il quale per primo comprese la forza d’attrazione verso il centro della terra di forma sferica, definita da Newton (celebre episodio della mela) e così egregiamente utilizzata dai Romani, per il trasporto dell’acqua mediante i celebri acquedotti. Il sistema dell’acquedotto romano era semplice ed efficace, la condotta dell’acqua, una costruzione retta da archi contigui, doveva essere realizzata in pendenza.

A parte il celebre acquedotto di Roma, che copriva una lunghezza complessiva di 350 km, i resti degli acquedotti sono maggiormente visibili in quella che era la antica provincia d’Africa.

A Cartagine, insignita del nome *Hadrianopolis* (Sparz. 20, 4) da Adriano, fu disposta la costruzione del nuovo acquedotto, recante alla metropoli le acque dei monti di Zagan e, probabilmente, anche

⁶ Polibio, XXXIV,3 in Strabone,

I,2,15-16. Non dissimile è il racconto fatto Friederich L. von Stolberg quando, nel 1783, giunse a Scilla, che considerava la pesca del pesce spada per i Calabresi “un momento di grande gioia”: “Alcuni uomini in piccole barche aspettano nell’acqua. Un uomo su di uno scoglio, o su una torretta, o su di un palo, ha il compito di avvistare i pesci spada. Appena ne scorge uno, fa un segno con un fazzoletto. I pescatori in attesa, avvistato il pesce, remano verso di esso, armati di arpioni. Se riescono a colpirlo, srotolano tutta la sagola a cui è legato l’arpione, in modo che il pesce possa nuotare lontano dissanguandosi; stremato, quando ha terminato la sua ultima nuotata, il pesce viene issato a bordo”, VON STOLBERG 1996, p. 55.

⁷ Cfr. L. DE ROSE, *I tesori del mare: L’arte alieutica nel mondo antico*, in G.P. GIVIGLIANO (a cura di), in *In Calabria. Storie “minori” al centro del Mediterraneo*, volume 9, Collana del CNR Storia economica del Mediterraneo; ESI, Napoli 2006, pp. 39-68

⁸ Cfr. L. DE ROSE, (In)genius aquae. *Comunicare la Fisica attraverso la storia antica*, “Comunicare Fisica 2020” Laboratori Nazionali di Frascati (ROMA) 12-16 aprile 2010, atti di Convegno, maggio 2010 in corso di stampa.

del sistema di cisterne con esso collegato, detto di Bordj Djedd. Il vecchio acquedotto, risalente al II secolo a.C. era il più lungo mai costruito, ca. 141 km. Esistono a Uthina (Wudna-Oudna), resti assai poco appariscenti, di molti edifici che risalgono, all'epoca degli Antonini e dei Severi: ampie terme; tre gruppi di grandi cisterne pubbliche, di cui una è divisa in tre navate da pilastri; un gran numero di cisterne private; pozzi. un imponente acquedotto di Adriano, che faceva scorrere l'acqua in gigantesche tubature, fino a due metri di diametro, sfruttando le pendenze naturali del terreno dai monti alla costa.

La forza di gravità fu superata dal geniale scienziato siracusano, mediante l'invenzione della coclea, o "vite di Archimede", la chiocciola ideata per trasportare l'acqua verso l'alto, attualmente brevettata per produrre energia "pulita" idroelettrica, adatta alla salvaguardia della fauna ittica⁹.

L'invenzione della vite è risalente a una probabile permanenza di Egitto, intorno alla metà del III secolo, dunque dopo il 255 a.C., – sebbene alcune fonti arabe, in quest'epoca, lo scienziato sarebbe rientrato ad Alessandria, convocato dal re Tolomeo al fine di sistemare l'impianto catastale –, ove era sempre imprescindibile il problema dell'imbrigliamento e canalizzazione delle acque del Nilo, durante le piene.

6. Nozioni di fisica

Arnesi moderni per la pesca adottano analoghi accorgimenti utilizzati dalla citata lancia: uno strumento per la cattura dei totani è formato da un cilindro di piombo appeso ad un lungo filo sottilissimo e robusto di *nylon*. Quando l'attrezzo viene gettato in mare, il peso del cilindro di piombo lo trascina verso il basso, ma ad un certo punto la discesa si arresta ed il cilindro resta in equilibrio; questo avviene perché al volume del cilindro si aggiunge il volume del filo srotolato, essendo aumentato di poco il peso da contrastare con la spinta di Archimede (ed essendo anche restata costante la superficie di spinta).

La forma della Vite di Archimede può essere sfruttata per descrivere in modo elementare i "principii di minimo" ed il concetto di moto geodetico. La Vite di Archimede, infatti, è assimilabile ad un piano inclinato (e quindi una pendenza costante di minimo sforzo per la risalita dell'acqua) sviluppata però lungo un cilindro. Giacché le eliche del cilindro – che ha curvatura estrinseca nulla e quindi ha geometria intrinsecamente piatta e priva di curvatura – ne sono le geodetiche, nuovamente l'uso della forma elicoidale rende minimo lo sforzo per la risalita dell'acqua, che viene quindi sollevata con uno sforzo costante ed una rotazione dolce e priva di accelerazioni o spinte, minimizzando anche il lavoro¹⁰.

7. La comunicazione: note conclusive

Per comunicare Fisica ci si può dunque riferire con profitto alla presenza della Fisica nelle conoscenze e nelle Scienze Antiche, quando la Fisica era ancora una disciplina di natura strettamente osservativa e sperimentale, ma già se ne delineava una strutturazione formale e un primo razionale utilizzo nelle applicazioni tecnologiche: la struttura stessa di una nave, l'utilizzo delle vele e della forza eolica. La Fisica di Archimede, mostra questo esempio, può esser convenientemente utilizzata per introdurre concetti di Meccanica e Idrodinamica. La forma della "coclea" può essere un buon punto di partenza per comprendere le geodetiche e i principii di minimo.

Il personaggio che sta dietro alle teorie, noto attraverso i secoli e le opere artistiche, ben si presta ai moderni concetti di comunicazione: potrebbe essere un soggetto da sceneggiatura o addirittura da

⁹ Cfr. L. DE ROSE, *Archimede, pioniere di una nuova scienza*, in «Hera. Miti, civiltà scomparse, misteri archeologici», rubrica Osservatorio Universitario, n. 124, maggio 2010, pp. 68-69.

¹⁰ In generale cfr. sulla scienza del genio siracusano il bellissimo saggio di G. CAMBIANO, *Scoperta e dimostrazione in Archimede*, in *Archimede. Mito Tradizione Scienza*, a cura di M. Dollo, Firenze Olschki 1992, 21-41.

pubblicità (già è stato protagonista di un fumetto, del 1975). La descrizione, secondo schemi stereotipati, lascia trapelare una figura eccentrica, geniale, ma bizzarra, quasi folle. Come afferma Notarrigo “i geni sono sempre stati collegati in qualche modo ai pazzi”¹¹. Ma è altrettanto innegabile il rigore dei suoi assiomi, delle sue deduzioni e dei suoi teoremi.

¹¹ S. NOTARRIGO, *Archimede e la fisica*, in M. Dollo, cit., pp. 381-393.