

FRANCO RAVELLI

IL CICLO IDROLOGICO NATURALE
NEL PENSIERO DEI CLASSICI
FINO AGLI ALBORI DELLA MODERNA IDROLOGIA

Premessa

L'uomo, per sopravvivere, deve innanzi tutto nutrirsi. Alimentarsi e dissetarsi è un impegno primario nel suo agire quotidiano. È per questo motivo che le grandi civiltà sono sorte e si sono sviluppate nelle aree ricche di acqua e che l'irrigazione delle colture è verosimilmente la prima tecnica di produzione messa a punto dall'uomo¹.

L'interesse dei primi studiosi per l'acqua si manifesta quando già da alcuni millenni le grandi civiltà orientali godono dei benefici di opere di derivazione e di distribuzione idrica al servizio di città e campagne; opere che per la loro complessità e grandiosità rivelano la straordinaria abilità dei progettisti e dei costruttori dell'epoca. Al IV millennio a.C. risalgono le prime opere riguardanti l'imponente rete di canali di adduzione e ripartizione idrica costruita dai Sumeri nella vallata tra il Tigri e l'Eufrate, dove il clima è arido e la vita animale e vegetale è strettamente condizionata dalla disponibilità di acqua.

La scienza che studia le proprietà e il comportamento dell'acqua in natura viene oggi chiamata *idrologia*².

¹ F. RAVELLI, P.J. HOWARTH, *Origini dell'agricoltura irrigua nel vecchio mondo*, «L'Italia Agricola», aprile-giugno, 125, Roma, 1988; F. RAVELLI, P.J. HOWARTH, *Irrigation: A food production technique preceding the neolithic agricultural revolution*, 14th Congr. of Intern. Comm. on Irrigation and Drainage (ICID), 4th Spec. Sess. on History of Irrigation, Rio De Janeiro, 1990.

² Della idrologia sono state date una infinità di definizioni: il fatto è che la materia riguarda molte discipline di base o applicate – quali idrologia, pedologia, meteorologia, fisiologia, agronomia, ecologia – che fanno ricadere lo studio dell'acqua in quello del terre-

Il fondamentale principio della idrologia è il *ciclo idrologico*: l'acqua evapora dalla superficie dei mari e dalla superficie bagnata continentale, è traspirata dagli esseri viventi, viene ridistribuita dalla circolazione atmosferica in forma di vapore e di nubi, ritorna ai mari o ai continenti condensata in pioggia o in neve, ruscella sulla superficie del terreno o vi si infiltra percolando e accumulandosi negli strati di terreno via via più profondi, ricarica la falda, alimenta le sorgenti e i corsi d'acqua, ritornando con percorsi più o meno lunghi ai mari in un ciclo senza fine, come un enorme motore alimentato dalla energia solare.

I classici greci

È da ritenere che i primi uomini abbiano osservato le fasi del ciclo idrologico come un coacervo di processi tra loro indipendenti e che la loro attenzione sia stata esclusivamente attratta da quelli più direttamente interferenti con le loro attività vitali.

A portare l'attenzione sui collegamenti tra le vicende umane e i fenomeni naturali, con sensibile anticipo sulle prime speculazioni filosofiche del VI sec. a.C., sono i poeti epici Omero ed Esiodo. Pur con diversa ispirazione ed ampiezza di pensiero, essi portano a considerare unitariamente fatti apparentemente sconnessi tra loro.

Il primo a toccare il nostro argomento, anche se con intenti epici più che naturalistici, è Omero (IX-VIII sec. a.C.), supposto autore della *Odissea* e della *Iliade*, il quale indica nel Tartaro l'antro sotterraneo cui faranno spesso riferimento i filosofi dell'antichità. Nell'*Iliade* leggiamo:

(...) Se vedrò uno di voi che, all'insaputa degli altri dei, cerca di aiutare Danai o Teucri, costui, colpito dal fulmine, se ne tornerà in Olimpo in malo modo oppure lo scaglierò giù al Tartaro tenebroso, in fondo all'abisso che sotto la terra sprofonda³ (...).

no, della biosfera e della atmosfera. Spesso si associano idrologia ed agronomia, alla stregua di come si associa l'idraulica alla ingegneria essendo quest'ultima interessata allo studio dell'acqua sotto il profilo statico e dinamico, ma in assenza apprezzabile di trasformazioni termodinamiche.

³ OMERO, *Iliade*, (trad. M.G. Ciani), Venezia, 1990, VIII.

Segue la descrizione dei concitati momenti della uccisione di Asteropeo da parte di Achille e la evocazione dei timori del dio Oceano:

(...) Montò sul suo petto Achille, gli strappò le armi e trionfante disse: «Ti è vicino un fiume grandissimo, se può giovarti a qualcosa; ma lottare contro il figlio di Crono [Zeus, il Giove dei romani] non è possibile, non lo eguaglia il grande Acheolo o il possente Oceano dalle ampie correnti da cui nascono tutti i fiumi e i mari e le fonti e i pozzi profondi; anche Oceano teme la folgore del grande Zeus e il tuono tremendo, quando risuona nel cielo»⁴ (...).

Il tenebroso Tartaro e il possente Oceano rappresenteranno per molti secoli due tra i principali elementi sui quali poggiano le antiche ipotesi sulla circolazione dell'acqua in natura. Il Tartaro indica nella mitologia greca il luogo in cui Zeus imprigiona i Titani e in seguito si identificherà con l'Inferno nel quale precipitano le anime dei malvagi. Oceano è il più antico Dio delle acque, personificazione del grande fiume primordiale che circonda la Terra e che, incanalato nelle sue profondità fino al Tartaro, risale poi alla superficie alimentando sorgenti e corsi d'acqua.

Secondo la moderna analisi letteraria però, molte parti della *Iliade* sarebbero tarde integrazioni del testo originale e tra queste andrebbe inclusa l'idea che vede l'Oceano padre di tutte le acque, idea la cui paternità andrebbe per l'esattezza attribuita a Platone che la esprime alcuni secoli dopo.

Nel poemetto didattico *I Lavori e le Giornate*, Esiodo (VII sec. a.C.) associa le piogge allo svolgersi stagionale del lavoro nei campi, ma nessun cenno fa che possa riferirsi alla circolazione dell'acqua in natura.

L'interesse naturalistico per l'origine dell'universo e per la sua meccanica si manifesta in Grecia nel VI sec. a.C. con le prime speculazioni filosofiche. Una particolare attenzione viene posta sul mistero delle sorgenti e della provenienza delle acque fluviali (fig. 1). A cimentarsi per primi nell'ipotizzare funzioni e comportamento dell'acqua in natura sono i così detti presocratici, cioè i filosofi vis-

⁴ *Ivi*, XXI.

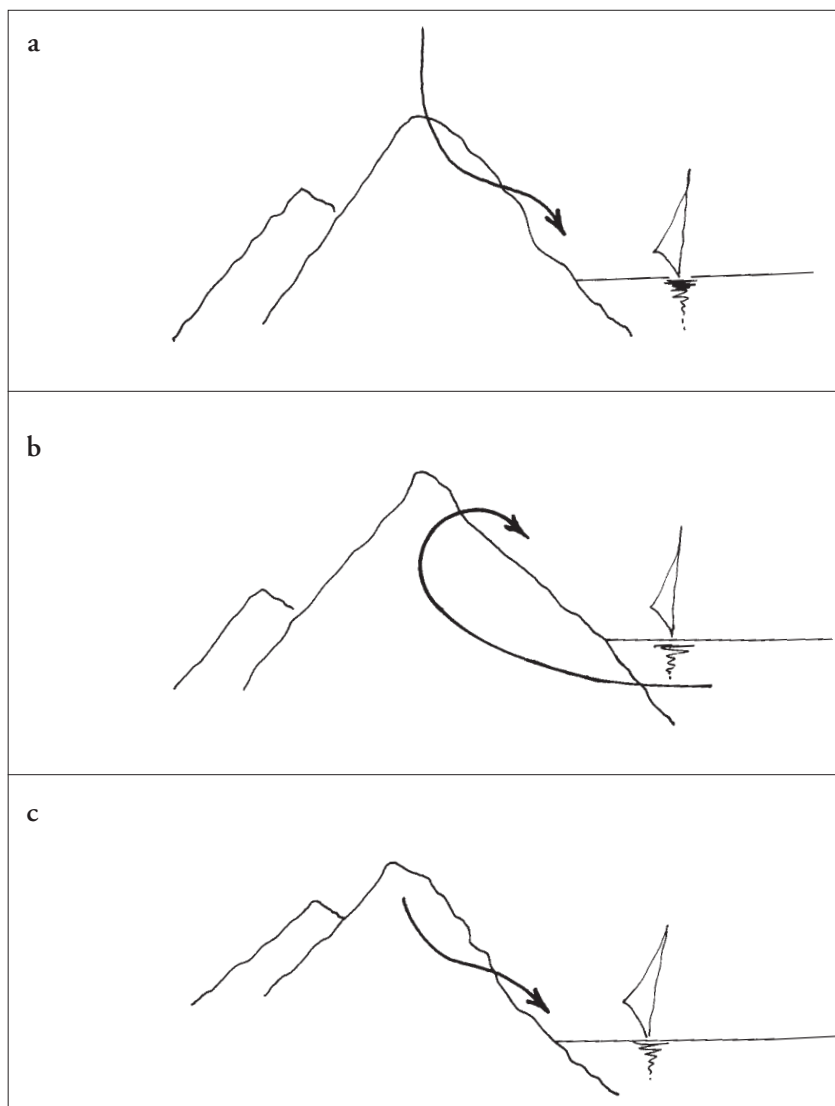


Fig. 1 Gli antichi filosofi greci spiegano l'origine delle acque di sorgente secondo tre teorie di base. Nell'ordine: a) dall'acqua di pioggia infiltratasi nel terreno (Anassagora, 499-428 a.C.); b) dall'acqua marina risalente all'interno delle montagne (Platone, 427-347 a.C.); c) per generazione diretta: secondo due possibili meccanismi: - formazione dall'acqua di condensazione sotterranea, in parallelo alla teoria a), (Aristotele, 384-322 a.C.); - formazione dall'acqua di trasmutazione del terreno e dell'aria (Seneca, 50 a.C.-40 d.C. ?)

suti a cavallo tra il VII e il VI sec. a.C. Le loro opere, forse non scritte, sono a noi pervenute in pochi e incerti frammenti e in numerose testimonianze di autori successivi. Talete, Anassimandro e Anassimene, che la tradizione vuole discepoli uno dell'altro, sono i maggiori esponenti della scuola ionica alla quale va il merito di aprire una nuova strada del pensiero umano cercando di dare una spiegazione razionale della realtà.

Di Talete di Mileto (624-545 ca a.C.), ricordato dalla storia della filosofia come fondatore della scuola ionica, ci sono pervenuti alcuni frammenti e tra questi solo due parlano dell'acqua in termini tali da dare adito all'idea che voglia riferirsi ad una qualche forma di circolazione idrica. Come riferito da Aristotele in *Metafisica*, opera riguardante i problemi fondamentali dell'essere e del suo divenire, Talete individua nell'acqua la sostanza prima dell'universo (*archè*):

(...) Ci dev'essere una qualche sostanza, o una o più di una, da cui le altre cose vengono all'esistenza, mentre essa permane. Ma riguardo al numero e alla forma di tale principio non tutti dicono lo stesso: Talete, il fondatore di tale forma di filosofia, dice che è l'acqua (e perciò sosteneva che anche la terra è sull'acqua): egli ha tratto forse tale supposizione vedendo che il nutrimento di tutte le cose è umido, che il caldo stesso deriva da questa e di questa vive (e ciò da cui le cose derivano è il loro principio): di qui, dunque, egli ha tratto tale supposizione e dal fatto che i semi di tutte le cose hanno natura umida – e l'acqua è il principio naturale delle cose umide⁵. (...)

Per Talete, non solo l'acqua è il principio di tutto, ma è anche l'elemento che sostiene la Terra. In accordo con la cosmogonia egizia e babilonese egli ritiene infatti che la Terra galleggia sull'acqua e ciò basti per giustificare l'esistenza dei fiumi. Seppure con un commento di disapprovazione, l'idea di Talete verrà testimoniata, alcuni secoli dopo, dallo scrittore latino Seneca nelle *Questioni Naturali*:

Quella che segue è la insostenibile opinione di Talete. Egli dice infatti che l'orbe terrestre è sostenuto dall'acqua e che è trasportato come

⁵ H. DIELS-W. KRANZ, *I Presocratici. Testimonianze e Frammenti*, Roma-Bari, 1999 [traduzione italiana], 11.A.12.

un'imbarcazione e che, allorquando si dice che trema, in realtà fluttua per la mobilità dell'acqua: dunque non è strano che l'umidità abbon-di e alimenti i fiumi, quando tutto il mondo sta sull'elemento umido [l'acqua]⁶.

Secondo Ippolito, Anassimandro di Mileto (610-546 ca a.C.), successore di Talete a capo della scuola ionica, ritiene che la pioggia sia dovuta alla umidità *innalzata* dalla Terra ad opera del Sole:

(...) le piogge [sono prodotte] dal vapore che sotto l'azione del sole si innalza dalla terra⁷ (...).

Il frammento pervenutoci ci parla quindi di evaporazione (che per gli antichi significava però trasformazione di acqua in aria e non cambiamento di stato da acqua liquida a gassosa), ma non dice altro che possa essere di aiuto, anche nel più elementare dei modi, alla comprensione del ciclo idrologico nel suo complesso.

Più articolato, e con uno spunto poetico, l'apporto di Anassimene di Mileto (586-528 ca a.C.), che nel frammento tramandato ci da Aezio sostiene:

Anassimene la pensa come lui [Anassimandro] e vi aggiunge l'immagine del mare che, tagliato dai remi, risplende. Anassimene dice che le nuvole si formano quando l'aria subisce una maggiore condensazione: se la condensazione aumenta ne scaturisce la pioggia: si forma la grandine quando l'acqua che cade gela, e la neve quando un po' d'aria è racchiusa nell'umidità⁸.

Senofane di Colofone (565-470 ca a.C.), poeta e filosofo, condivide con la scuola ionica l'interesse per i fatti naturali. Secondo Aezio, nel poema *Sulla Natura*:

Senofane [dice] che i fenomeni che avvengono nelle regioni celesti derivano, come da causa prima, dal calore del sole. Infatti, alzatasi l'u-

⁶ L.A. SENECA, *Questioni naturali*, (trad. L. Vottero), Milano, 1989, III, 14, 1.

⁷ H. DIELS-W. KRANZ, *I Presocratici*, cit., 12.A.11.

⁸ *Ivi*, 13.A.17.

midità del mare per opera sua, l'acqua dolce, dissoltasi per la sottigliezza delle sue parti, ridotta a nebbia forma le nuvole e mediante condensazione distilla la pioggia ed esala i venti⁹. (...)

Senofane si rifà in sostanza all'idea di Anassimandro sulla evaporazione per spiegare l'origine dei venti. Ricordando infatti che per gli antichi l'evaporazione significa trasformazione di acqua in aria, è comprensibile come debba apparirgli logico ritenere che i venti esalino dalle ampie distese oceaniche.

Singolare la posizione di Anassagora di Clozumene (499-428 ca a.C.) nel campo delle ipotesi sul problema delle acque in natura. Nella coerente successione di processi da lui intravista può infatti riconoscersi un primo modello di ciclo idrologico molto simile, pur nella sua estrema schematicità, a quello oggi conosciuto (fig. 2). Come si legge nei manuali, con lui la filosofia approda ad Atene portando lo spirito curioso, indagatore e ingenuamente razionalistico che ha caratterizzato i filosofi di Mileto. Numerose sono le testimonianze circa la spregiudicatezza con cui Anassagora studia i *corpi* celesti, non vedendo in essi nessuna diversità da quelli che esistono sulla Terra. In ciò egli si distanzia dal dualismo scientifico tra mondo sopra e sublunare che si svilupperà poi nell'accademia platonica e verrà sancito da Aristotele, tenendo in qualche modo il campo fino a Galileo¹⁰ (fig. 3). Nel frammento riportato da Ippolito, Anassagora fa originare il mare dalle acque sotterranee e dai fiumi:

Quanto alle parti liquide che stanno sulla superficie della terra, il mare si formò dalle acque che erano in essa, evaporate le quali il resto di conseguenza si depositò, e dai fiumi che vi si gettano. I fiumi prendono consistenza anche dalle piogge e dalle acque sotterranee. Infatti la terra è cava e contiene acqua nelle cavità¹¹.

Il dubbio che Anassagora possa avere ignorato il processo della infiltrazione, e di conseguenza quello della percolazione profonda,

⁹ *Ivi*, 21.A.46.

¹⁰ ANASSAGORA, *I Frammenti*, (trad. S. Bergo), Milano, 1993.

¹¹ H. DIELS-W. KRANZ, *I Presocratici*, cit., 59.A.42, 4-5.

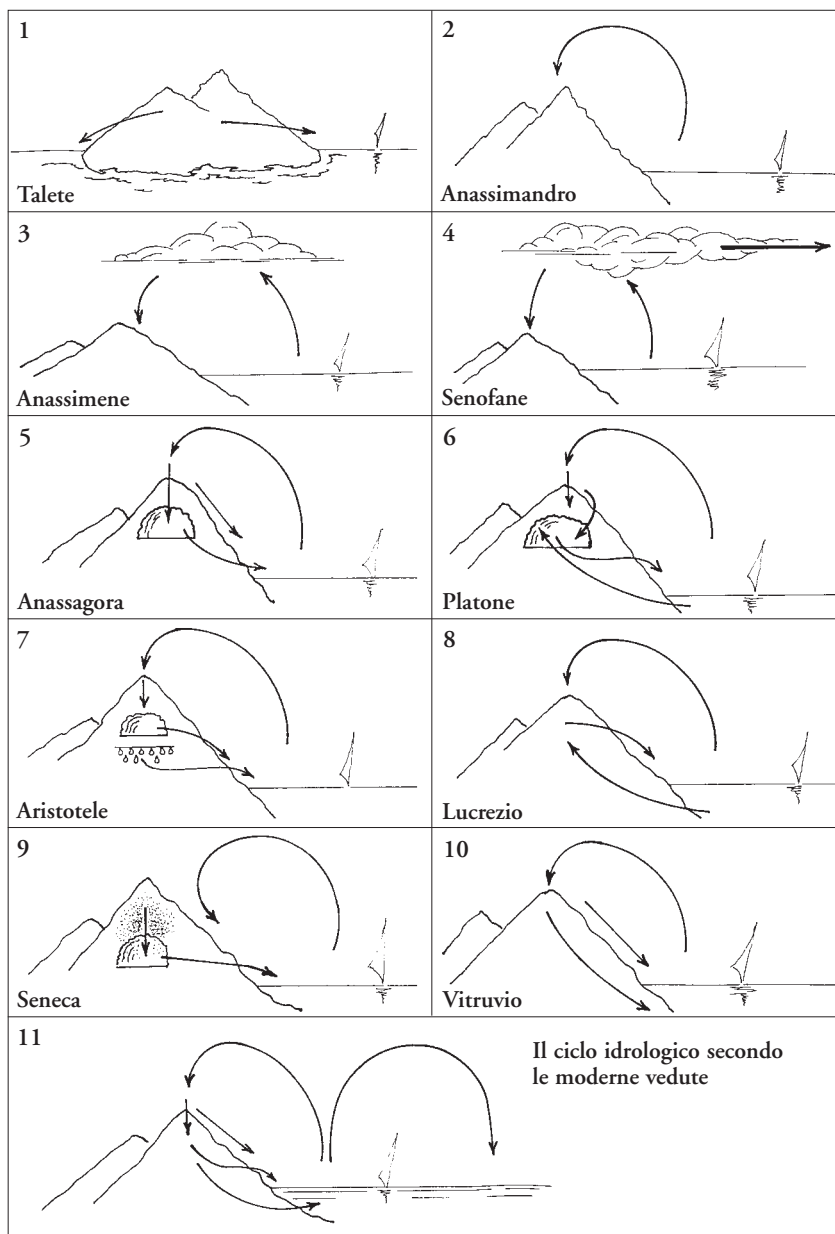


Fig. 2 La circolazione dell'acqua in natura secondo gli studiosi classici (1-10) e secondo una moderna schematizzazione (11)



Fig. 3 Raffaello, La scuola di Atene, Palazzi Vaticani, particolare. Sulla sinistra Platone, con il volto di Leonardo, addita il cielo, mentre sulla destra Aristotele volge verso terra il palmo della mano indicando il mondo sublunare

viene superato leggendo il passo del *Meteorologica* nel quale Aristotele, un secolo dopo, tratterà il rapporto tra piovosità e decorrere delle stagioni richiamandosi ad Anassagora:

(...) Alcuni [Anassagora] sostengono qualcosa di simile anche circa la formazione dei fiumi: l'acqua, sollevatasi per azione del sole e ricaduta sotto forma di pioggia, si raccoglie sotto terra e ne scorre via come da una grande cavità, unica per tutti i fiumi o diversa per ognuno; e non si genera mai acqua, perché essa, raccolta d'inverno in tali serbatoi, costituisce la massa dei fiumi¹². (...)

¹² ARISTOTELE, *Meteorologica*, (trad. L. Pepe), Napoli, 1994, I, XIII.

Il parere di Anassagora sul formarsi del mare ad opera dell'acqua di pioggia che filtra nel terreno viene arricchito da un altro frammento dei suoi scritti, riportato da Alessandro, che tratta della origine della salinità dell'acqua marina:

(...) La terza opinione sul mare è che l'acqua, che filtra attraverso la terra e la lava, diventa salata perché la terra contiene in sé tali umori; ed essi adducevano come prova di ciò il fatto che dalla terra si estraggono sali e nitrati; in molte parti della terra vi sono poi umori acidi. Di questa opinione erano anche Anassagora e Metrodoro¹³. (...)

Le idee di Anassagora sulla circolazione dell'acqua in natura così come pervenuteci nei frammenti superstiti dei suoi scritti, abbozzano un sistema molto simile, pur nella sua elementarietà, a quello che solo nel XVII sec. verrà riconosciuto esatto. La sostanziale correttezza del ciclo concepito da Anassagora risulta d'altronde accresciuta se al concetto di *acque contenute nelle cavità terrestri* si sostituisce, non sottilizzando troppo sulla forzata analogia, quello moderno di falda sotterranea. Quanto sopra si ritiene basti per conferire al filosofo il merito di aver per primo trattato l'argomento sulla base di una coerente successione di fatti e di una loro interdipendenza in termini fisici.

Metrodoro di Chio (V sec. a.C.), secondo le poche e scarse testimonianze di Plutarco, Aezio e Alessandro, pare essere dello stesso parere del suo contemporaneo Anassagora per quanto concerne il generarsi delle nuvole e la causa della salinità marina (DK. 70.A.4,19), mentre si esprime con indubbia fantasia ma scarsa fondatezza nel darsi ragione di eclissi, stelle, fulmini, tuoni e arcobaleni (DK. A.4,15).

Erodoto (490-420 ca a.C.), storico e viaggiatore instancabile, anch'esso contemporaneo di Anassagora, narra nelle *Storie* delle lotte tra la Grecia e i barbari prima e durante le guerre persiane. Il suo metodo storiografico si basa sulla indagine diretta e una attenzione particolare pone nella descrizione degli avvenimenti e dei luoghi. I suoi viaggi lo portano varie volte in Egitto restando attratto dal mistero delle origini e del regime idraulico del Nilo:

¹³ H. DIELS-W. KRANZ, *I Presocratici*, cit., 59.A.90.

(19) (...) Ero desideroso sapere da loro [dai sacerdoti] perché mai il Nilo scende, tutto gonfio, per cento giorni a cominciare dal solstizio d'estate: raggiunto poi questo numero di giorni, si ritira indietro, abbassando il livello della corrente di modo che dura tutto l'inverno povero d'acqua, fino al ritorno del solstizio d'estate. Su questo argomento, dunque, non potei saper nulla da nessuno degli egiziani, quando chiedevo loro quale forza mai avesse il Nilo per essere di natura contraria a quella degli altri fiumi. (...)

(20) Sennonché alcuni Greci [i filosofi], volendo acquistarsi fama di sapienti, hanno proposto per questo comportamento dell'acqua tre spiegazioni (...). La prima di esse [di Talete] sostiene che i venti Etesii [venti estivi tipici del Mediterraneo orientale] sono la causa del rigonfiamento del fiume, perché impediscono al Nilo di riversarsi in mare (...).

(21) La seconda teoria [di Eutimene di Marsiglia] se è meno scientifica di quella già accennata, a raccontarla, però ha un carattere più meraviglioso: sostiene che il Nilo dà origine a questi fenomeni perché deriva dall'Oceano, il quale scorrerebbe tutto intorno alla terra.

(22) La terza [da Anassagora], che è di gran lunga la più appariscente, è anche la più falsa; poiché non significa nulla dire che il Nilo deriva dalla fusione di nevi dato che viene dalla Libia, attraverso l'Etiopia, e sbocca in Egitto. Come, dunque, potrebbe derivare dalle nevi se proviene dalle regioni più calde e va verso le più temperate? (...)

(24) Ma se, dopo aver confutato le opinioni prospettate fino ad ora, devo io pure esporre ciò che penso di questi fenomeni oscuri, dirò qual è, secondo me, la ragione per cui il Nilo sale in piena durante l'estate. Nella stagione invernale il sole, sviato a causa delle tempeste, dal suo corso normale, si porta nelle regioni dell'alta Libia: per una spiegazione che s'attenga al minimo, s'è già detto tutto: poiché è naturale che il paese cui è vicinissimo a questo dio, e sul quale trascorre, sia povero d'acque al massimo grado e vi si disseccino i fiumi¹⁴.

A sostegno della sua teoria, Erodoto si diffonde in ulteriori argomentazioni lontano, come è, dall'immaginare che sia proprio la teoria di Anassagora, da lui definita la più falsa, quella più vicina alla realtà delle quattro elencate. Oggi sappiamo infatti che le inondazioni estivo-autunnali del Nilo conseguono agli ingenti apporti idrici sul suo alto corso dovuti però, non allo scioglimento di nevi, ma alle piogge generate dal sollevamento delle correnti umide di provenienza atlantica al loro impatto con l'altipiano etiopico.

¹⁴ ERODOTO, *Le storie*, (trad. L. Annibaletto), Milano, 1956, II, 19-24.

Un indubbio passo indietro rispetto Anassagora nella corretta comprensione del ciclo idrologico naturale viene fatto con Platone (427-347 a.C.), il primo filosofo del quale ci sia giunto l'intero *corpus* di scritti. Condizionato dalla metafisica interpretazione della scienza, Platone entra in polemica con i naturalisti del V sec. impersonati da Anassagora (fig. 3). Di questi egli rifiuta l'idea che tende a spiegare i fatti naturali sulla base di considerazioni esclusivamente scientifiche. A quel tempo le leggi che regolano i fatti della natura erano sostanzialmente sconosciute ed era quindi legittimo darne spiegazione attraverso la libera e nobile intuizione filosofica. L'aspetto meccanico della natura attrae Platone nella misura in cui può contribuire a chiarire la ragione dei fatti da lui narrati. Nel famoso dialogo con *Fedone*, in cui con parole toccanti dà il racconto delle ultime ore di Socrate, il filosofo afferma che le acque che formano mari, laghi, fiumi e sorgenti provengono dal Tartaro e che a tale caverna infernale tornano attraverso vari percorsi sotterranei. Il passo indietro rispetto alla verità fisica intuita da Anassagora è evidente. Dopo aver descritto le regioni superiori della Terra, sede dei beati, Platone passa a descrivere le regioni sotterranee dove vengono confinate le anime dei cattivi:

(IX) (...) fra le tante voragini della terra, ce n'è una, la più vasta, che la perfora da parte a parte, quella di cui parla Omero quando dice «molto lontano, dove sotterra c'è un baratro immenso», [passo già citato con diversa traduzione] quella insomma che non solo lui in altri passi, ma anche altri poeti, chiamano Tartaro. In questo baratro confluiscono tutti i fiumi per poi nuovamente defluire e ciascuno di essi assume un proprio aspetto a seconda della natura del terreno che attraversa. (...) Lo stesso è per l'aria e il vapore che la circonda: esso segue infatti il corso delle acque, sia quando precipitano verso la parte opposta della terra che quando ritornano in su verso la nostra: un po' come quando noi respiriamo, che provochiamo un continuo flusso e deflusso d'aria, così anche laggiù, il vapore, seguendo il moto delle acque, dà origine, quando entra e quando esce, a terribili venti vorticosi. Orbene, quando l'acqua si ritira verso l'emisfero comunemente detto meridionale, affluisce attraverso la terra nei ghiareti di laggiù e li riempie come se fossero canali di irrigazione; quando invece defluisce da lì e irrompe nel nostro emisfero, allora colma i greti che sono qui e gonfia, scorre nei canali attraverso la terra giungendo fin dove riesce a scavarsi una strada e forma mari, laghi, fiumi e sorgenti. Di qui, nuovamente, tutte quelle acque si inabissano nella terra, e, dopo

aver percorso giri ora più brevi ora più lunghi e numerosi, si riversano ancora nel Tartaro (...).

(LXIII) Certamente affannarsi a dimostrare che le cose stanno proprio così come io le ho esposte, non mi pare troppo assennato; ma che sia questa la sorte delle nostre anime, questa la loro dimora o presso a poco, dal momento che s'è indiscutibilmente dimostrato la loro immortalità, mi sembra che valga proprio il rischio di crederlo¹⁵. (...)

La poetica descrizione del mito geografico condiziona il contenuto del racconto, che peraltro sembra riferire quanto sostenuto da altri piuttosto che essere il frutto del convincimento scientifico dell'autore. Gli antichi filosofi greci avevano d'altronde familiarità con antri e cavità sotterranee e a queste facevano spesso ricorso nelle loro argomentazioni metafisiche e religiose.

Ancora Platone, descrivendo nel dialogo con *Crizia* la natura particolarmente fertile dell'antica Attica, si rifà ad una teoria simile a quelle di Anassagora e Aristotele per spiegare l'origine delle sorgenti e dei fiumi:

(...) V'erano anche molte alte piante e vasti pascoli. E ogni anno si raccoglieva l'acqua del cielo, né, come ora, si perdeva quella che dalla terra secca fluisce nel mare, ma la terra, ricevutane molta, la conservava nel suo seno, e la riportava nelle cavità argillacee, e dalle alture le diffondeva nelle valli, formando in ogni luogo larghi gorghi di fonti e di fiumi, dei quali presso le antiche sorgenti son rimasti ancora sacri indizi, che attestano la verità delle mie parole¹⁶. (...)

In questo Dialogo, ancor più che in *Fedone*, pare evidente il riferimento di Platone ad una opinione non sua. In ogni modo, sue o di altri che siano, le due ipotesi riguardano fasi diverse del ciclo idrologico che si integrano in un insieme non privo di fantasia.

Diversa è l'idea di Aristotele (384-322 a.C.), discepolo di Platone che, in *Meteorologica*, opera di argomento strettamente fisico, tenta un dettagliato approfondimento delle conoscenze sul meccanismo della circolazione dell'acqua in natura. *Meteorologica* è un

¹⁵ PLATONE, *Fedone*, (trad. N. Marziano), intr. di Ezio Savino, Milano, 1993, LX, LXIII.

¹⁶ Id., *Crizia*, Opere complete, vol. 6, (trad. C. Giarratano), Bari, 1982, IV, d.

trattato allargato ad un gran numero di processi atmosferici e geologici caratterizzato da un dettaglio inusuale e ammirevole per l'epoca, anche se molte delle spericolate affermazioni, analogie e deduzioni cui fa continuamente ricorso, possono lasciare lo studioso d'oggi piuttosto perplesso.

Aristotele riconosce in sostanza due processi concomitanti. Uno, che riprende le idee di Anassagora, è presentato come una coordinata serie di fenomeni configurante molto elementarmente il ciclo idrologico oggi noto: trasformazione dell'acqua in aria ad opera del riscaldamento solare (solo nel '700 si chiarirà che l'acqua evaporando cambia di stato fisico e non di composizione chimica), riconversione dell'aria in acqua per effetto del raffreddamento, precipitazione sulla superficie terrestre, infiltrazione e accumulo in cavità profonde, alimentazione di sorgenti e di corsi d'acqua. L'altro processo, integrativo ma prudentemente non sostitutivo della precedente ipotesi, vede l'acqua sorgiva originare anche da un processo di condensazione sotterranea:

(IX) (...) Ora, rimanendo ferma la terra, l'umido attorno ad essa viene portato verso l'alto, sotto forma di vapore, dai raggi del sole e dall'altro calore proveniente dal luogo superiore. Ma quando il calore che porta in alto l'umido scompare, sia per dispersione verso il luogo superiore, sia per estinzione [perché si porta sempre più in alto nell'aria che è attorno alla terra], allora l'umido, raffreddandosi e perché viene a mancare il calore e per il luogo stesso, si condensa di nuovo, e dall'aria si genera acqua che ricade così sulla terra. L'esalazione dall'acqua è vapore, la condensazione dall'aria in acqua è nube (...). Ci ritroviamo qui in presenza di un circolo che riproduce il circolo del sole; come questo infatti si muove lungo l'eclittica, così l'umido si muove verso l'alto e verso il basso. E dobbiamo immaginare ciò come un fiume composto di aria e di acqua che scorre in cerchio verso l'alto e verso il basso; quando il sole è vicino il fiume di vapore scorre verso l'alto, quando è lontano il fiume d'acqua scorre verso il basso. Ed il circolo deve continuare in quest'ordine perennemente. Quando gli antichi menzionavano enigmaticamente l'Oceano, forse indicavano questo fiume che scorre in circolo attorno alla terra (...)

(XIII) (...) Alcuni [Anassagora] sostengono qualcosa di simile anche circa la formazione dei fiumi: l'acqua, sollevatasi per azione del sole e ricaduta sotto forma di pioggia, si raccoglie sotto terra e ne scorre via come da una grande cavità, unica per tutti i fiumi o diversa per ognuno; e non si genera mai acqua, perché essa, raccolta d'inverno in ta-

li serbatoi, costituisce la massa dei fiumi. Perciò essi scorrono sempre più abbondanti d'inverno che d'estate, ed alcuni perennemente altri periodicamente. Quelli che per la grandezza delle cavità, hanno una tale quantità di acqua raccolta da essere sufficiente e non esaurirsi prima che ritornino le piogge invernali, sono perenni; quelli invece che, per la piccolezza delle cavità, hanno una minore quantità di acqua, si esauriscono per essiccamento, prima che cadano le piogge dal cielo, essendo vuoti i serbatoi.

Ma è chiaro che, se, avendo immaginato un tale serbatoio per l'acqua che cade continuamente ogni giorno, se ne volesse poi conoscere la quantità, il serbatoio eccederebbe in grandezza la massa della terra o quasi, dovendo raccogliere l'acqua caduta in un anno.

Se però è noto che molte cavità del genere si trovano in molti posti della terra sarebbe assurdo negare che sottoterra si genera acqua per la stessa causa per cui sopra si genera acqua dall'aria. Perciò se sopra ad opera del freddo l'aria che evapora si condensa in acqua, bisogna ritenere che lo stesso si verifichi anche ad opera del freddo contenuto nella terra, e che non soltanto l'acqua si trovi in essa in forma separata [che si potrebbe assimilare al termine moderno di acqua libera], e scorra, ma anche che vi si generi continuamente¹⁷. (...)

Di Teofrasto (372-287 a.C.), successore di Aristotele nella direzione della Scuola di Atene e prolifico scrittore di opere filosofiche e scientifiche, poco ci è pervenuto che possa documentare le sue idee riguardo la circolazione dell'acqua in natura. Diogene Laerzio (III sec. d.C.), nella sua *Vita dei filosofi*, elenca oltre 500 libri scritti da Teofrasto sugli argomenti più vari di cui tre sulla Meteorologia, uno sui Venti, uno sui Segni del tempo, tre sulle Acque, uno sul Mare, uno sulle Cose nel cielo e sei sulle Ricerche astronomiche¹⁸. I pochi frammenti tramandatici, specie da Plinio e Seneca, non consentono però di ricostruire il pensiero di Teofrasto sul tema del ciclo idrologico naturale e non si vede pertanto su quali basi possa essergli riconosciuto il merito di aver messo il romano Vitruvio, tre secoli dopo, sulla strada della corretta interpretazione dell'intero processo¹⁹.

¹⁷ ARISTOTELE, *Meteorologica*, cit., l. 1, IX, XIII.

¹⁸ W. FORTENBAUGH, *Theophrastus of Eresus. Sources for his life, writings, thought and influence*, Leiden, 1993.

¹⁹ K. BISWAS ASIT, *History of hydrology*, Amsterdam, 1970.

In conclusione, possiamo affermare che nell'antica Grecia lo studio della circolazione dell'acqua in natura, avviato da Talete, raggiunge in breve tempo con Anassagora un buon livello di comprensione. I filosofi greci non credono però che le piogge possano alimentare le sorgenti, sia per la loro insufficienza, sia per la impermeabilità del terreno²⁰. In parole povere gli antichi studiosi greci sarebbero lontani dall'immaginare le immense quantità di acqua che mediamente entrano nella fase sottosuperficiale continentale, il cui flusso verso gli oceani è oggi stimato in oltre 10 miliardi di m³ anno; valore questo inferiore ma pur sempre ragguardevole se paragonato ai più visibili 30 miliardi di m³ anno di portata dei fiumi.

Per rendere funzionale il sistema da loro concepito, gli antichi studiosi sarebbero stati quindi costretti ad ipotizzare un qualcosa che consentisse loro di chiudere il ciclo idrologico nella fase continentale; problema risolto a loro avviso facendo ricorso all'idea di cavità e percorsi sotterranei, strumenti usuali del loro apparato religioso, come inesauribili riserve di acqua.

I classici romani

Con le definitive vittorie su Cartagine e sui regni di Macedonia, Siria ed Egitto nati dalla dissoluzione dell'impero di Alessandro, Roma si afferma come potenza mondiale e come unica ed autorevole depositaria della cultura occidentale.

Gli studiosi romani non si discostano molto dalle idee dei filosofi greci, anche se il loro atteggiamento pragmatico, sempre improntato a criteri di ordine e vigorosa concretezza, contrasta non poco con la natura eminentemente speculativa della filosofia ellenica. Essi valutano infatti l'argomentazione scientifica sulla base delle informazioni pratiche che questa può fornire, cosicché la conoscenza del perché delle cose è più un mezzo per risolvere i problemi, che un modo per approfondire le conoscenze. Lo stesso interesse per la filosofia è motivato dalla ricerca di una morale nella soluzione dei problemi quotidiani, e persino l'ampiezza della giurisprudenza può

²⁰ O.E. MEINZER (ed.), *Hydrology*, New York, 1942.

essere vista come frutto della esigenza di dare pratico e sistematico assetto alla complessa società del tempo.

Nel *De Rerum Natura*, Tito Lucrezio Caro (98-55 ca a.C.), più poeta che scienziato, fa sua la teoria di Aristotele sulla evaporazione dell'acqua dalla superficie terrestre e sulla sua successiva condensazione in pioggia, combinandola con la teoria di Platone sulla alimentazione delle sorgenti ad opera delle acque sotterranee provenienti dalle profondità marine:

(v, 261) Proseguendo: che di liquido nuovo mare e fiumi e fonti / sempre abbondino, e che perenni scorrano l'acque / non serve dire: il grande precipitare delle acque / da ogni parte lo mostra. Ma via via ogni parte di acqua / si disperde, e nel complesso avviene che mai l'acqua sia troppa / in parte poiché i validi venti che battono la superficie del mare / o il fulgido sole, che la dissolve con i suoi raggi, la fanno diminuire / in parte poiché, sotterraneamente, si spande per tutte le terre. / L'acqua salata infatti s'infiltra, e indietro fluisce / la sostanza del liquido, e alla fonte dei fiumi tutta / s'aduna, e di lì sulle terre scola in dolce corrente, / laddove la via un tempo scavata fa scendere l'onde con liquido piede. (...)

(vi, 473) E per questo appare possibile che ad arricchire le nubi / possano molti elementi levarsi, dal salso rollare dell'onde / la struttura di questi umori è infatti del tutto affine. / Inoltre, da tutti i fiumi, e insieme dalla stessa terra, vediamo sorgere nubi e vapore, / che, di lì come alito sprigionandosi, si muovono / e velano il cielo con loro nebbia, e le alte / nubi alimentano, adunandosi poco per volta. (...)

(vi, 507) (...) leva il liquido verso le nubi: e una volta che semi di acqua, / davvero molti, ivi si siano adunati, d'ogni parte aggiungendosi, le nubi rigonfie fanno gara nell'emettere / in duplice modo: / le schiaccia infatti la forza del vento, / e la stessa quantità delle nubi, costretta in folla più grande, / schiaccia, e preme dall'alto, e fa sì che sgorgi la pioggia²¹. (...)

Insieme agli scritti naturalistici del greco Aristotele, le *Questioni Naturali* di Lucio Anneo Seneca (50 a.C.-40 d.C. ?), filosofo nato a Cordova ma romano di adozione, si inquadrano nella letteratura meteorologica antica. Egli dedica l'intero terzo libro allo studio del-

²¹ LUCREZIO, *La natura delle cose*, intr. di E. Narducci (trad. G. Milanese), Milano, 1992, v, 261; vi, 472, 507.

la circolazione dell'acqua in natura, ponendo particolare attenzione alla origine dei fiumi. Egli richiama innanzi tutto il pensiero dei predecessori al riguardo:

(3) (...) e questo vediamo nel lago Fucino, nel quale i monti circostanti fanno defluire tutte le acque rovesciate dalla pioggia, ma proprio nel suo bacino si trovano anche abbondanti vene d'acqua sotterranee: per cui, anche quando vi defluiscono d'inverno i torrenti, non perde il suo aspetto abituale. (4) Domandiamoci dunque innanzi tutto come la terra sia in grado di alimentare ininterrottamente il corso dei fiumi, donde escano simili masse d'acqua. Ci meravigliamo che i mari non sentano l'effetto della aggiunta dei fiumi: ci si deve ugualmente meravigliare che la terra non senta l'effetto dell'impovertimento che i fiumi le procurano uscendone. Cos'è che o l'ha riempita fino a tal punto che essa può diventare così prodiga delle sue risorse interne, o gliele reintegra continuamente in questo modo? Qualsiasi procedimento seguiremo per render ragione dei fiumi, sarà lo stesso anche per i ruscelli e le fonti. (5) Alcuni giudicano che la terra ritorni di nuovo in possesso di tutte le acque che ha scaricato e che il livello dei mari non si innalzi, per il fatto che essi non si impadroniscono degli affluenti ma li restituiscono prontamente: infatti essi tornano su nella terra percorrendo condotte sotterranee e, venuti al mare scopertamente, se ne tornano indietro in gran segreto, e durante questo percorso il mare si depura e, violentemente rimescolato attraverso gli innumerevoli anfratti del sottosuolo, si libera della salsedine (...) e l'acqua diventa pura e potabile. (6) Alcuni ritengono che la terra mandi di nuovo fuori tutta l'acqua che vi si era raccolta per opera delle piogge e adducono come prova che si trovano pochissimi fiumi in quelle località dove piove di rado. Perciò sostengono che le regioni desertiche dell'Etiopia sono aride e nell'interno dell'Africa si trovano poche sorgenti perché il clima è torrido e quasi sempre estivo (...). Mentre per contro tutti sanno che la Germania e la Gallia e, subito dopo di loro, l'Italia abbondano di fiumi e di piccoli corsi d'acqua, perché godono di un clima umido e non mancano di piogge neppure d'estate²².

A tali idee dei predecessori Seneca ribatte con una ipotesi che può considerarsi una variante alla vecchia teoria di Aristotele sulla *condensazione* diretta della umidità dal terreno. Egli sostiene infatti che l'acqua di cui si alimentano i fiumi è quella derivata direttamente

²² L.A. SENECA, *Questioni naturali*, cit., III, 3-6.

da una trasformazione del terreno, piuttosto che quella originata dalla infiltrazione delle precipitazioni:

(7) Tu vedi che contro questo si possono dire molte cose. Prima di tutto io, appassionato dissodatore di vigneti, ti dico chiaro che nessuna pioggia è così penetrante da imbevare la terra per più di dieci piedi di profondità (...): come può dunque la pioggia rendere impetuosa la corrente dei fiumi, se non ha bagnato il suolo in profondità? La maggior parte della pioggia attraverso il letto dei fiumi viene rapita in mare [Seneca si riferisce al ruscellamento]; alla terra da inghiottire ne resta ben poco, e questo poco non lo trattiene: infatti o è riarsa e consuma per sé tutto ciò che, nella precipitazione, supera il suo fabbisogno. (...) Che dire del fatto che alcuni fiumi scaturiscono dalle rocce e dalle montagne. Che contributo daranno loro le piogge che scorrono lungo le rupi dilavate e non hanno terra in cui fermarsi? Aggiungi che pozzi scavati sotto terra in località estremamente aride (...) trovano ricche falde a una profondità in cui l'acqua non penetra, di modo che puoi capire come lì non si trovi acqua piovuta dal cielo o raccogliaticcia ma, come si suol dire, acqua viva. (...) (8) (...) Dunque i nostri fiumi scaturiscono da quella copiosa riserva sotterranea: perché ti meravigli se la terra non si accorge che le vengono sottratti i fiumi, dal momento che i mari non si accorgono della loro aggiunta? (9) Alcuni additano questa causa: sostengono che la terra possiede nel suo interno cavità nascoste e molta aria che, seppellita sotto profonde tenebre, diventa necessariamente gelata, poi stagnante e immobile perde la sua energia cinetica e si converte in acqua: come la trasformazione dell'aria sopra di noi provoca la pioggia, così sotto terra dà origine a fiumi e ruscelli (...) Nostra opinione è che la terra sia soggetta a cambiamenti di stato. Tutte le esalazioni che anch'essa emana, poiché non si raccolgono nell'aria libera, subito si condensano e si liquefano: ec-coti la prima causa che spiega la nascita delle acque sotto terra. (10) Si può anche aggiungere il principio che tutti gli elementi derivano da tutti gli altri, l'aria dall'acqua, l'acqua dall'aria, il fuoco dall'aria, l'aria dal fuoco: e allora perché l'acqua non deriverebbe dalla terra? (...) (11) (...) L'acqua piovana può dar vita a un torrente, non a un corso d'acqua che scorra con una portata costante e uniforme entro le sue rive: un tale corso le piogge non lo creano, ma lo rendono tumultuoso²³.

Secondo Seneca dunque, i fiumi sono alimentati dall'acqua originata da un processo di trasformazione del terreno. Per chiudere il

²³ *Ivi*, III, 7-11.

ciclo idrologico e darsi una ragione del perché il livello dei mari non aumenti progressivamente, il filosofo non parla esplicitamente di evaporazione nel senso di cambiamento di stato come oggi sappiamo, ma di equilibrio tra gli elementi primordiali aria, acqua, terra e fuoco, intendendo con ciò che, se la terra può trasformarsi in acqua, l'acqua può a sua volta trasformarsi in aria e in terra:

(11) (...) Nulla di ciò che ritorna a se stesso può venire a mancare: tutti gli elementi si scambiano vicendevolmente in un ciclo ricorrente; ciò che è perduto per uno passa all'altro, e la natura soppesa con cura i suoi componenti come se li avesse posti in equilibrio su una bilancia, per evitare che, sconvolta la perfetta distribuzione delle singole parti, il mondo dia il tracollo²⁴. (...)

Seneca quindi non crede alla infiltrazione ma è convinto che l'acqua si generi autonomamente nel profondo della Terra e, ad ulteriore sostegno della sua tesi, fa sua la vecchia proposizione di Talete che vede nell'acqua l'elemento primario dell'universo:

(12) Se può sembrare utile, riprendiamo questo argomento partendo un po' più a monte, e quando ti sarai accostato alla vera origine dei fiumi, ti renderai conto che la tua ricerca è conclusa. Un fiume è evidentemente costituito da un corso d'acqua perenne e copioso. Dunque tu mi domandi come si forma l'acqua: io a mia volta ti chiedo come si formano l'aria o la terra. Ma se in natura ci sono quattro elementi [secondo l'antica filosofia, la materia era divisibile nei quattro elementi primordiali: acqua, aria, terra, fuoco], non puoi chiedermi di dove viene l'acqua, poiché essa costituisce la quarta parte della natura. Perché allora ti meravigli se un componente così importante della natura può sempre trarre dal suo seno qualcosa da riversare all'esterno? (...)

(13) Aggiungerò, come afferma Talete, «è [l'acqua] l'elemento più potente». Egli pensa che questo elemento sia stato il primo principio creatore di tutte le cose. Ma anche a noi o siamo dello stesso parere o ci avviciniamo molto (...) così il fuoco è il principio distruttivo del mondo, l'acqua il principio costitutivo. Ti meravigli che possano uscire ininterrottamente corsi d'acqua da questo principio che all'inizio rappresentava tutte le cose da cui tutte le cose derivano? Questo ele-

²⁴ *Ivi*, III, 11.

mento umido, nella organizzazione dell'universo è stato ridimensionato e ne occupa la quarta parte, collocato in modo da potere essere in grado di generare fiumi, ruscelli, fonti²⁵.

Secondo Seneca l'acqua così generata non si riversa però direttamente in superficie ma entra prima in una rete sotterranea di condotte e serbatoi di accumulo paragonata al sistema sanguigno umano:

(14) Quella che segue è l'insostenibile opinione di Talete. Egli dice infatti che l'orbe terrestre è sostenuto dall'acqua e che è trasportato come un'imbarcazione e che, allorquando si dice che trema, in realtà fluttua per la mobilità dell'acqua: dunque non è strano che l'umidità abbondi e alimenti i fiumi, quando tutto il mondo sta sull'elemento umido [l'acqua]. Disapprova questa opinione antiquata e rozza: né hai motivo di credere che nel nostro globo l'acqua si insinui attraverso spaccature del terreno e vi si raccolga come in una sentina. (...) Come per il mare, così anche per queste acque più tranquille (le acque sotterranee) esistono enormi bacini sotterranei, che il corso di nessun fiume riuscirà ad esaudire. Inaccessibile è il calcolo della capacità di questi serbatoi da cui viene emesso tanto quanto basta alla perennità delle correnti.

(15) (...) è mia opinione che la terra sia governata dalla natura e, in particolare, secondo il modello dei nostri corpi in cui si trovano sia le vene che le arterie, vasi del sangue le prime, dell'aria le seconde. Anche nella terra ci sono alcuni condotti in cui scorre l'acqua (...). Dunque, come nei nostri corpi quando si è rotta una vena il sangue sgorga e non si ferma (...) così nella terra, dalle vene che si spaccano e vengono alla luce, scaturisce un ruscello o un fiume²⁶. (...)

Seneca, in sostanza, fa sua la teoria della generazione spontanea di Aristotele rafforzandola con il concetto di *trasmutabilità* reciproca degli elementi primordiali. Il suo tentativo di individuare cause ed effetti dei fenomeni mediante argomentazioni che possono oggi apparire incredibili, va apprezzato come puntiglioso tentativo di chiarimento fisico di fatti sino allora interpretati (eccezione fatta per Anassagora) con il ricorso ad argomentazioni di natura religiosa o metafisica.

²⁵ *Ivi*, III, 12-13.

²⁶ *Ivi*, III, 14-15.

Un nozionismo esasperato porta Caio Plinio Secondo, detto il Vecchio (23-79 d.C.), a collezionare, nei 37 libri della *Storia naturale*, una massa enorme di dati, notizie e informazioni, spesso fantasiose, senza però un corredo di valutazioni e considerazioni che possano in qualche modo aiutare il lettore nel concatenamento e nella comprensione dei fatti elencati. Mancano nella *Storia naturale* riferimenti al ciclo idrologico e sono anche pochissime o del tutto casuali le citazioni riguardo i singoli elementi del sistema idrologico che pure avevano tanto interessato i precedenti scrittori classici. Sul rapporto tra calore del sole, evaporazione e piogge possiamo in ogni modo leggere nel libro II:

Anche indipendentemente da queste cause, non potrei negare che si formino piogge e venti per il fatto che, è certo, la terra esala un'evaporazione umida, o a volte, per il calore del sole, emanazioni caliginose; e le nubi si formano per l'innalzarsi dei liquidi o per la condensazione dell'atmosfera in acqua. La loro natura densa, la loro corposità, si ricava da una prova indiscutibile: esse danno ombra al sole, che pure è visibile, altrimenti, anche per i subacquei, a qualsiasi profondità si spingano²⁷.

Vitruvio Pollione (I sec. d.C.), celebre architetto romano, è l'autore del famoso trattato in dieci libri *De Architectura*, trattato molto più ricco di informazioni di quanto non suggerisca il titolo. Egli parla dell'acqua dal punto di vista pratico della sua ricerca e utilizzazione. Nell'VIII libro così si esprime:

(...) Come dunque fisici, filosofi e sacerdoti giudicarono tutte le cose derivate dalla potenza dell'acqua, avendo io esposto nei sette precedenti volumi le modalità degli edifici, reputai conveniente scrivere in questo libro il modo di scoprire le acque e quali virtù posseggano in questo o in quel luogo, e con quali mezzi si conducano, e come anticipatamente provarle²⁸.

Vitruvio non pare interessato al ciclo idrologico come tale, anche se ad alcune fasi dello stesso accenna con lapidaria chiarezza, co-

²⁷ PLINIO, *Storia naturale*, (trad. A. Barchiesi), Torino, 1982, II, 42.

²⁸ VITRUVIO, *Trattato dell'architettura*, (trad. E. Romagnoli), Milano, 1933, VIII, *Proemio*.

me lo dimostrano pochi passi del cap. VIII pertinenti al ciclo idrologico:

(I) Essa è invero altamente necessaria alla vita, ai diletti, all'uso quotidiano; e averla sarà più agevole se vi saranno fonti all'aperto e fluenti. Ma se non scorrono, bisognerà cercarne le vene sotterra e allacciarle. Ed ecco come: (...). Sotto le radici dei monti e nelle rupi silicee, più abbondanti affluiscono, assai fresche e salubri. Invece nelle fonti della pianura sono salmastre, pesanti, tiepide, non soavi, ammenoché dai monti colando sotterra, erompano nel piano (...). E le valli tra monte e monte ricevono massimamente le piogge, e per la foltezza delle selve, le nevi, a cagione delle ombre degli alberi, vi si conservano al lungo, poi, sciolte, filtrano per le vene della terra, e così giungono alle infime radici delle montagne, dalle quali profluendo erompono le acque sorgive. (...)

(II) (...) E anche non frequentemente nei piani confluiscono le piogge; bensì sui monti o vicino ai monti; e ciò perché gli umori, mossi al mattino dal sorgere del sole, quando sono emersi dalle terra, qualunque sia la regione del cielo verso cui volgano, essi spingono l'aria, e poi, quando son mossi a causa della vacuità del luogo dietro di sé, ricevono le onde irruenti dell'aria. (...) Dai venti poi, dovunque li rechino, gli umori conglobati nelle fonti, nei fiumi, nelle paludi e nel mare, al tepore del sole si radunano e si scaldano, e quindi si levano in alto le nuvole. Soffolte queste sulle onde dell'aria, quando pervengono ai monti, per l'ostacolo di essi liquefacendosi in procelle [fenomeno dello Stau e Fohen] a causa della propria pienezza e gravità, si sparpagliano e quindi si diffondono per la terra²⁹. (...)

Vitruvio quindi, per spiegare il meccanismo di alimentazione delle sorgenti – forse per concisione, molto più probabilmente perché non vi crede – non fa alcun cenno ai vecchi concetti di cavità profonde e di generazione diretta dell'acqua del terreno. Avvicinandosi ancor più chiaramente di Anassagora alla verità dei fatti, egli schematizza il ciclo idrologico con termini non molto diversi da quelli oggi utilizzati per indicare la successione dei fenomeni coinvolti: evaporazione, raffreddamento adiabatico, condensazione, precipitazione, infiltrazione nel terreno, percolazione in falda, sbocco alla sorgente.

²⁹ *Ivi*, VIII, I-II.

Come per l'*Iliade*, così anche per la *Bibbia* gli studiosi moderni ritengono che molti dei documenti che la compongono siano aggiustamenti o integrazioni successive dei testi originari, i quali risentirebbero quindi della evoluzione del pensiero religioso avvenuta nel corso dei secoli successivi. La natura religiosa di tale corpus di scritti non dà spazio al tema del ciclo idrologico. Il passaggio dell'Antico Testamento che dice

(...) Tutti i rivi corrono al mare, ma il mare non è mai colmo;
al luogo dal quale i rivi provengono, essi nuovamente tornano³⁰. (...)

va quindi semplicemente letto come una esortazione a considerare la vanità delle cose umane. Meinzer (1942) rileva come, sebbene la tradizione attribuisca i versi al Re Salomone (vissuto intorno al 1000 a.C.), si tratti piuttosto di una aggiunta al testo originario fatta da san Gerolamo (383-405 d.C.) nella sua traduzione in latino³¹.

Dal Medioevo al Rinascimento

Con il tramonto della scuola di Alessandria (IV sec.), che aveva raccolto l'eredità intellettuale della antica Grecia, la filosofia si riduce al rango di un vistoso apparato di erudizione. L'arrivo dei Romani con la loro propensione alla soluzione pratica dei problemi e l'onnipresenza del cristianesimo che impone l'accordo di ogni teoria con quanto sostenuto dalle Sacre Scritture, favoriscono l'avvio di un periodo, lungo un millennio, di stagnazione degli studi scientifici a favore di quelli teologici.

Alla caduta dell'Impero Romano, ciò che resta dell'antico patrimonio intellettuale greco-romano trova rifugio nel chiuso dei monasteri dall'assalto degli eserciti barbarici. Oscuri copisti provvedono a riprodurre e sunteggiare gli originali manoscritti evitando la dispersione della preziosa eredità culturale.

³⁰ *Ecclesiaste*, 1:7.

³¹ O.E. MEINZER (ed.), *Hydrology*, cit.

Il generale degrado sembra arrestarsi con l'esaurirsi del primo millennio e la ripresa rinascimentale vede il mondo occidentale impegnato nel recupero dell'antico patrimonio. Gli studi sulla circolazione dell'acqua in natura riprendono dal punto in cui gli antichi li avevano lasciati.

Leonardo da Vinci (1452-1519) fa sostanzialmente sue le teorie di Platone sui movimenti dell'acqua tellurica, rimanendo così lontano dalla verità già intravista due millenni prima da Anassagora e confermata nel I sec. d.C. da Vitruvio. Considerata l'acutezza ed il dettaglio delle osservazioni di Leonardo sulla idraulica di superficie, tale scelta non può che destare meraviglia, tanto più che nei suoi scritti lo studioso, pur non approfondendo l'argomento, ne fa oggetto di due esplicite illustrazioni. Nel *Codice Leicester*, Leonardo sostiene:

(...) Il corpo della terra, a similitudine de' corpi de li animali, è tessuto di ramificazione di vene, le quali son tutte insieme congiunte, e son costituite a nutrimento e vivificazione d'essa terra e de' suoi creati, e si partano dalle profondità del mare, e a quelle dopo molta revoluzione, ànno a tornare per li fiumi creati dalle alte rotture d'esse vene³².

Nella *carta 3B-foglio 3v* del Codice, il processo è illustrato con un disegno che mostra la sezione di una montagna con le *vene* nelle quali scorre l'acqua proveniente dal fondo del mare per risalire quindi fino alla quota delle sorgenti (fig. 4). La tesi viene confermata nella *carta 6B-foglio 31r* al cui margine sinistro, vicino al capolettera R (Leonardo scrive da destra a sinistra), compare un piccolo disegno che rappresenta la sezione della Terra attraversata da una rete di canali sotterranei collegante il fondo dei mari con la cima delle montagne (fig. 5). Il testo di accompagnamento commenta:

(...) Qui s'ha a immaginare la terra segata pel mezzo; e vedrassi la profondità del mare e della terra: le vene si partan de' fondi de' mari,

³² L. DA VINCI, *Della natura, peso e moto delle acque. Il Codice Leicester*, Milano, 1996, carta 4A-foglio 33v.

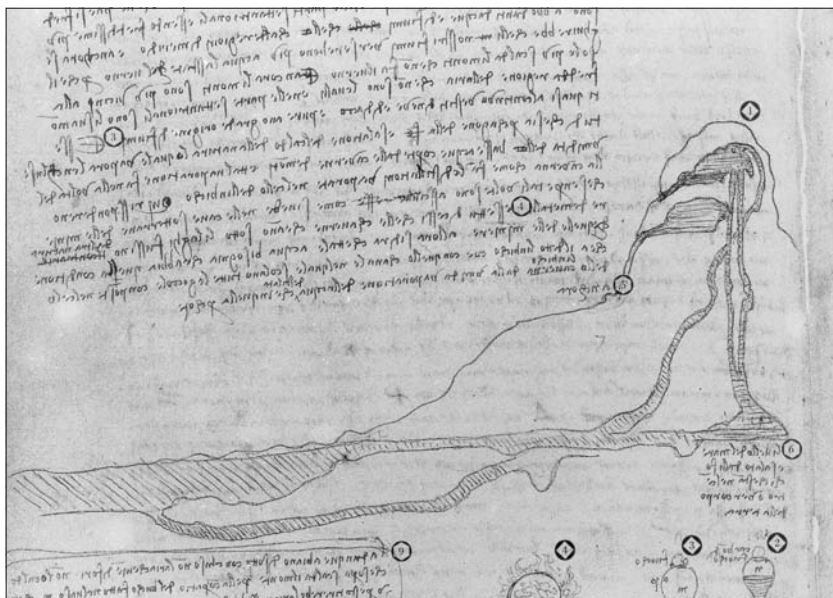


Fig. 4 Il ciclo idrologico secondo Leonardo (carta 3B-foglio 3v del Codice Leicester) ricalca quello ipotizzato da Platone e ripreso da Lucrezio. Le vene sotterranee portano l'acqua dal fondo del mare (sulla sinistra) in vaste caverne sotterranee nell'alto della montagna (sulla destra). L'acqua sbocca poi dalle caverne alimentando le sorgenti in quota

e tessano la terra, e si levano alla sommità de' monti, e riversano per li fiumi, e ritornano al mare³³. (...)

Della pioggia e della evaporazione Leonardo scrive a più riprese nel *Codice Leicester*, ma anche a lui come alla maggioranza degli antichi studiosi sfugge la corretta visione del ciclo idrologico nella fase continentale.

Nei secoli XVI e XVII, studiosi francesi, tedeschi e inglesi si occupano del ciclo idrologico seguendo anch'essi le antiche teorie. Sulla scia degli studi sul moto delle acque di Leonardo, gli studiosi italiani si occupano prevalentemente di problemi idraulici (ma an-

³³ *Ivi*, carta 6B-foglio 31r.

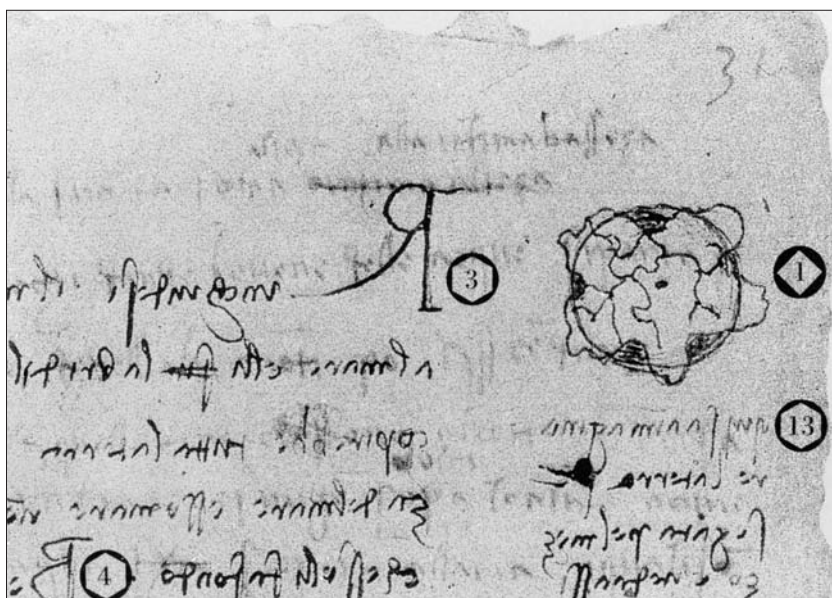


Fig. 5 Nel piccolo disegno della carta 6B-foglio 31r del Codice Leicester, Leonardo rappresenta la Terra attraversata da un reticolo di canali che collega il fondo dei mari alle sorgenti in quota sulle montagne

che meteorologici), confermando una predilezione per l'indagine applicata tutt'ora perdurante. Va tenuto presente che, ancora nel XVI secolo e con buona pace di Anassagora e Vitruvio, l'interrogativo comune a chi si occupava di tali problemi veniva di preferenza circoscritto all'origine delle acque sorgive e fluviali, in carenza di una visione integrata dei processi così come intesa negli attuali modelli di ciclo idrologico.

I numerosi studiosi ricordati da Biswas nella sua *History of hydrology*³⁴ possono essere raggruppati in base alle teorie da essi adottate in varie combinazioni o con varianti più o meno sensibili:

– *Teorie di Anassagora/Vitruvio*: Bernard Palissy (1510 ca-1590); Jaques Besson (attivo nel 1569); John Ray (1627-1705).

³⁴ K. BISWAS ASIT, *History of hydrology*, cit.

- *Teoria di Platone*: René Descartes alias Cartesio (1596- 1650); Athanasius Kircher (1602-1680); Joachim Becher (1635-1682), chimico secondo il quale l'acqua proveniente dai mari evapora in profonde caverne per distillazione e successivamente si ricondensa alla superficie terrestre alimentando sorgenti e fiumi con un processo che ricorda l'alambicco; John Keill (1671-1721); John Woodward (attivo nel 1695).
- *Teoria di Aristotele*: Geronimo Cardano, più noto per l'invenzione del giunto che porta il suo nome (1501-1576).
- *Teorie di Anassagora/Vitruvio, Platone e Aristotele*: Georg Bauer alias Georgius Agricola (1494-1555); Gaspard Schott (1608-1666).
- *Teorie di Anassagora/Vitruvio, Platone e Seneca*: Bernhard Varenius (1622-1650).
- *Teorie religiose*: Johan Herbinus (attivo nel 1678), studioso che vede le acque di superficie provenire da profonde cavità e ad esse ritornare in ragione di forze di natura divina, secondo una visione dei fenomeni tipicamente medioevale; Thomas Burnet (1635-1715), teologo che idea un fantastico sistema circolatorio planetario di aria e vapore che avrebbe circondato la Terra delle origini, nel quale, con un po' di fantasia, può intravedersi qualcosa di simile a ciò che va oggi sotto il nome di cella di circolazione generale della atmosfera.

I primi studi moderni

Solo con le misure di tipo quantitativo avviate dalla metà del XVII sec. la scienza idrologica assume un vero carattere scientifico, sebbene molti studiosi ancora si attardino sulle antiche ipotesi.

Pierre Perrault (1608-1680) ed Edmé Mariotté (1620-1684) effettuano in Francia misure comparate sulle precipitazioni e sui deflussi in aree di ampiezza definita, tali da convincerli della correttezza della idea che vede sorgenti e fiumi alimentati dalle acque di origine meteorica. L'inglese Edmund Halley (1656-1742) dimostra dal canto suo che l'evaporazione dal mare Mediterraneo è sufficiente a coprire la quantità di acqua restituita dai fiumi che in esso si versano.

A metà del XVII sec. il sistema idrologico naturale è ormai co-

nosciuto nelle sue linee essenziali e l'approfondimento delle conoscenze avviene da quel momento a ritmo crescente nei campi delle ricerche specializzate che vanno assumendo il carattere distinto delle moderne meteorologia, geologia, pedologia, idraulica e idrologia.