

LUCIANO LAGO

IL CICLO DELL'ACQUA NELL'ANTICHITÀ E NEL MEDIOEVO

«Il sole scalda l'acqua del mare; l'acqua si trasforma in vapore acqueo; il vapore acqueo s'alza nell'aria; il vento lo spinge sulla terraferma; l'aria fredda lo trasforma in goccioline d'acqua; le gocce d'acqua cadono sulla terra; l'acqua scorre nei fiumi e nei ruscelli; i fiumi la riportano al mare; e il ciclo ricomincia».

Così suona, stralciata da un libro didattico per ragazzi del nostro tempo, la telegrafica ed elementare spiegazione dei successivi processi di *evaporazione, condensazione, precipitazione, scorrimento, infiltrazione e percolazione*, che compiono il grandioso ciclo della circuitazione dell'acqua, che rappresenta uno dei fenomeni più grandiosi tra quanti animano il quadro fisico del nostro pianeta.

La comprensione dell'origine e dello svolgimento di questi complessi processi, che agli addetti ai lavori o ad altri – addestrati dalle tante divagazioni delle previsioni meteorologiche proposteci di continuo – può oggi apparire semplice, di facile intuizione, addirittura forse istintiva, conobbe nella storia della scienza vicende diverse. Se furono molti fin dall'antichità ad intuire il legame che unisce le meteore acquee ai fenomeni dell'evaporazione e della condensazione, pochissimi intesero la derivazione delle acque sotterranee e sorgive dalle precipitazioni atmosferiche. In sostanza, alterne conoscenze, in mezzo alle oscurità e stranezze di alcuno, alimentate da continue discussioni, «terranno lo campo» fino al Settecento, prima che la soluzione, già scaturita dalle idee di Aristotele, di Vitruvio, di Leon Battista Alberti, di Leonardo da Vinci, venisse definitivamente accettata dopo la celebre *Lezione accademica intorno l'origine delle fontane* di Antonio Vallisneri, tenuta nel 1715 (figg. 1 e 2).

Detto ciò, non entrerò senz'altro in argomento: debbo ancora preventivamente dichiarare il mio scopo. Non è mio proposito di presentare qui

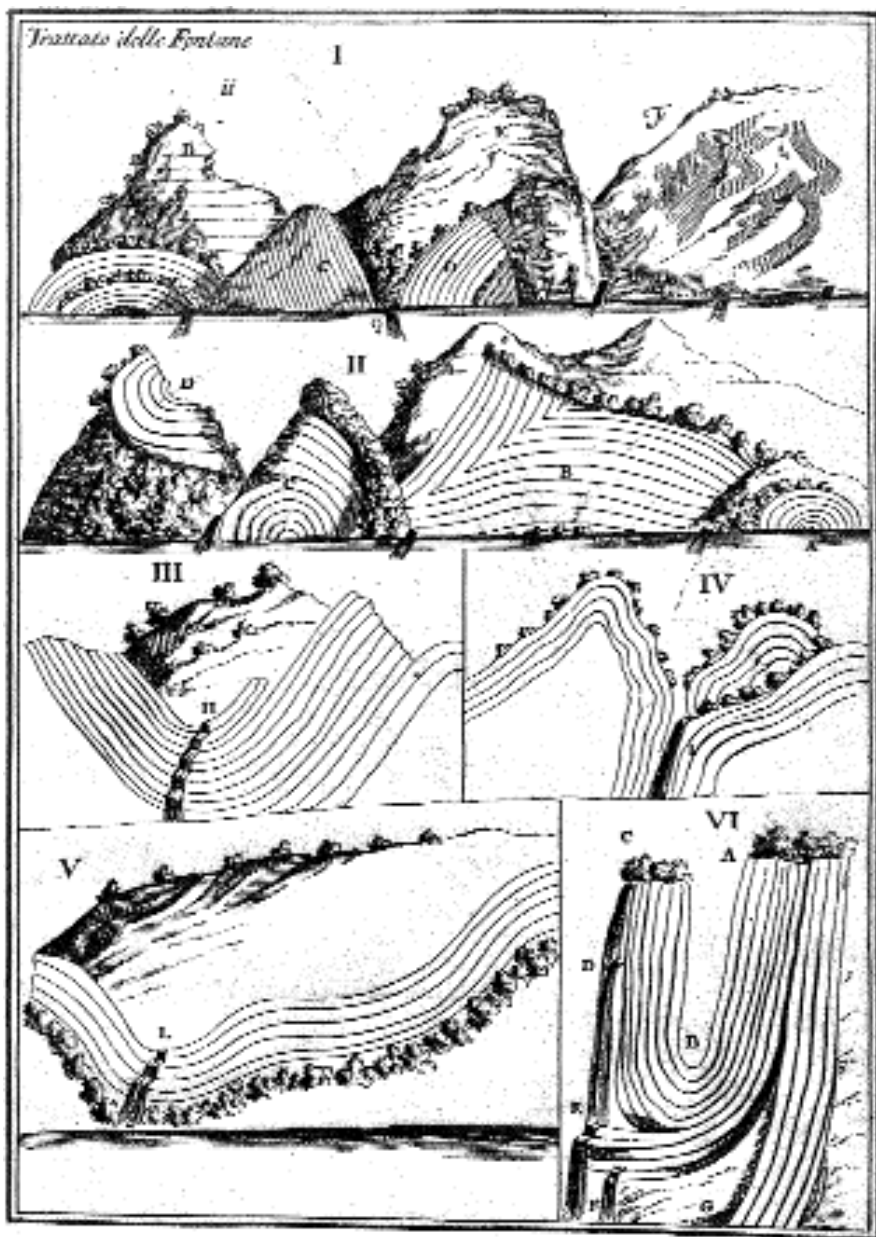


Fig. 2 - Le figure annesse al *Trattato delle fontane* del Vallisneri nella stessa edizione del 1726. Dimostrano l'influenza della posizione e della natura delle stratificazioni sull'origine delle fonti dei fiumi.

attraverso scalate l'intera «peripezia» delle conoscenze del ciclo idrologico nell'Antichità e nel Medioevo che il tempo a disposizione certamente non permette, quanto piuttosto di sintetizzare alcuni risultati di ricerca conseguenti ad un mio nuovo impegno su questo argomento già affrontato in un breve saggio portato a pubblicazione ancora nel lontano 1983 (LAGO, 1983).

Era stato allora mio proposito studiare (per punti e a grandi tratti) la «peripezia» delle conoscenze sulla circuitazione dell'acqua dall'antichità al Rinascimento, ed ora, giunti al termine della corsa condotta attraverso le opinioni espresse da tanti autori, mi impone qualche osservazione generale. Anzitutto, riandando a quei dati di fatto che ho raccolto, va annotato che per lo più sono state osservazioni isolate; spesso inesatte, nelle espressioni degli autori indagati, con spiegazioni che hanno qualche cosa di vago, di indeterminato, anche là dove le astruserie e le assurdità non tolgono loro ogni carattere positivo. Soltanto con Aristotele si assurge alla complessità di una vera e propria teoria, anche se architettata nel dominio di leggi stabilite a priori, che ricomparirà solo quando avremo a che fare con rifacimenti o commenti ispirati ai suoi scritti.

La raccolta che ho condotto ci riconduce ad alcuni indubbi dati di fatto. Esiste, comunque, una certa completa sicurezza sui tratti fondamentali che caratterizzano il processo della circuitazione nell'atmosfera. Ben più incerte, invece, le opinioni sul decorso superficiale e sotterraneo delle acque che interessa il nostro globo, che offrono spesso spiegazioni del tutto astruse o che prescindono, interamente o parzialmente, dalle condizioni reali in cui si verifica questa parte del fenomeno.

Ma, soprattutto, ciò che contraddistingue questa lunga vicenda, è la netta separazione del ciclo meteorico da quello terrestre. Solo pochi studiosi più illuminati ci mostrano di aver avuto la coscienza dell'intera circuitazione, sia pure con alcuni tentennamenti testimoniati da fasi contraddittorie, come quelle che si registrano pur nel grande Leonardo. Nell'attuale stato di cose, però, non posso esser certo di un siffatto svolgimento di questa «peripezia», perché, purtroppo, le informazioni sono state più volte sporadiche e spesso attinte attraverso pazientissime, ma anche spesso inutili, letture, in discorsi al di fuori o al margine dell'interesse specifico. Mi resta, comunque, la soddisfazione di aver posto le basi per permettere a chicchessia vorrà impegnarsi, un più ampio campo di indagine in questo argomento di scienza, cosciente che troppo spesso, quando ci volgiamo indietro, siamo di solito tratti ad apprezzare o a sopravvalutare tutto quanto

ci appaia concorde alle conoscenze attuali. Raramente confrontiamo la povertà di ieri e la conquistata ricchezza dell'oggi, né ci interessano i mille errori in cui cadde la scienza e i mille tentativi che dovette ripetere per procedere di un passo, per raggiungere uno solo dei molti fini proposti: apprezziamo perciò troppo di rado quel faticoso senso di conquista che ha ritmato il progresso del nostro sapere.

Il concetto biblico

In nessuna parte della Bibbia troviamo descritto il disegno del mondo quale l'immaginava e lo conosceva il popolo di Dio. Tuttavia, riunendo i diversi elementi sparsi nei Libri Santi, possiamo ricostruire un quadro generale, rispondente al concetto che si aveva della figurazione dell'Universo. Tale rimase fino al tempo dei Greci, e si riflette ancora negli scritti neo-testamentari. Così, anche presso gli Ebrei, la forma e la generale disposizione del mondo rispondevano alla cosmografia delle apparenze. La Terra è di forma press'a poco piana, discoide, immaginata prima dell'esilio poco estesa attorno alla Palestina, e circondata dall'acqua che la sostiene e si estende fino dove sorgono i «colli» o «monti eterni» che reggono il cielo, costituito da una grande volta solida di cristallo lucente (*raggia*, che la *Vulgata* tradurrà con *firmamentum*), nella cui concavità stanno infisse le stelle.

Il cielo – in ebraico *schamajin*, cioè le cose elevate – comprende tutta la parte superiore del mondo: esso è il regno della luce e delle meteore, e nella sua parte più sublime si muovono il sole e la luna, che si avvicinano nella loro corsa diurna e notturna, uscendo dalle rispettive dimore incavate nelle montagne eterne, e gli altri astri (Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno). Al di sopra di esso è la sede di Jahve, che occupa tutta la parte superiore dell'edificio cosmico. Sotto la superficie della Terra si estende invece il regno delle tenebre: le parti più basse e più profonde dell'Universo, sia delle terre che del mare, oscure ed ignote, sono indicate con il nome di *tehom*, interpretato, più tardi, dai traduttori greci e latini della Bibbia con la parola «abisso». Questo, che è la sede dei trapassati (il limbo dove andavano i buoni, l'inferno dove andavano gli uccisori e gli incirconcisi), si estende in profondità fino alle parti infime del mondo e quindi non è infinito, come non sono infiniti il cielo, la terra e il mare. La sua profondità è del medesimo ordine di grandezza immensa

che l'altezza del cielo e la larghezza della terra e non può essere misurata dagli uomini.

Ma esso è anche collegato all'idea dell'acqua primigenia, che è salata e infeconda. Dio «ha accumulato in una sola massa le acque del mare ed ha posto gli abissi nei serbatoi», dove l'abisso figura unito logicamente alla presenza di masse acququee. Da queste traggono poi alimento le «fonti del mare» o le «fonti del grande abisso», ospitate in grandiose cavità sotterranee, da cui eruppero le acque del diluvio. Vi derivano anch'è le fonti o le sorgenti dei fiumi.

La *Terra promessa* è nel *Deuteronomio* una «terra buona, terra di laghi, di rivi e di fontane, dove sgorgano dall'abisso i fiumi nei piani e sui monti»; il Reale Salmista, ricordando con terrore gli effetti del terremoto, afferma che «si mostrarono scoperte le fonti delle acque, e si scoprirono le fondamenta della Terra»; nei *Proverbi* si trova scritto che è la «Sapienza di Dio quella che fece scaturire le acque dagli abissi» e si fa menzione di questi come di generatori di altre fonti.

Immaginavano dunque gli Ebrei, come ha già interpretato lo Schiaparelli,

«una immensa massa d'acque sotterranee, le quali insieme con quelle dei mari e dei laghi costituivano il sistema delle *acque inferiori*... Queste acque sotterranee dall'una parte per mezzo di meati e di caverne sorgevano alla superficie asciutta della terra, producendo le fonti ed i fiumi; dall'altra penetravano nelle bassure dei mari e dei laghi, mantenendone il livello per mezzo di aperture e di canali esistenti nel fondo; così intendiamo le espressioni *fonti del mare* e *fonti del grande abisso*».

Una siffatta disposizione, che faceva una sola massa delle acque superficiali e delle acque sotterranee, permetteva agli Ebrei di spiegare anche come il mare non inondasse per il continuo affluire dei fiumi, e come le fonti fossero perenni. Si ammetteva infatti una continua circolazione delle acque e dalle fonti al mare e dal mare alle fonti, come si trova affermato nella proposizione dell'*Ecclesiaste* (o *Qobeleth*) «Tutti i fiumi entrano nel mare, e il mare non rigurgita: i fiumi ritornano al luogo donde sono usciti, per rifluire di nuovo», una proposizione che sarà poi – come vedremo – nell'Età di mezzo per assai lungo tempo alla base di interminabili discussioni.

Si doveva poi all'onnipotenza di Dio, che «chiama le acque dal mare e le diffonde sopra la superficie della terra», la causa efficiente della risalita delle acque sotterranee sino alla superficie. Dal momento che il cielo veniva considerato come una solida volta edificata a guisa di tetto sopra la Ter-

ra, era naturale che in essa si ricercassero le ragioni dei fenomeni che visibilmente ne dipendevano. Tra questi le precipitazioni. Se queste vengono giù dal cielo, nel cielo devono esistere. Ma non di certo sotto la volta, perché si vedono solo quando cadono sulla terra. Dunque al di sopra di essa, dove vengono allora ammessi dei grandi serbatoi (*otsaroth*, *qhsauroiv*, *thesauri*), che tengono sospese in alto le acque superiori formate di acque dolci, che devono alimentare le piogge, la neve, la grandine, ben separate dalle acque inferiori dei continenti, dei mari e degli abissi.

Per mezzo di cateratte o saracinesche (*arubboth*, *kataravkthl* o *katarjrJavkthl*, *cataracta* o *catarrhacta*), come si trova ripetuto nella *Genesi*, nei *Libri dei Re*, nei *Salmi*, nei *Profeti*, Dio provvedeva che le acque di questo mare celeste si riversassero sulla terra a tempo opportuno, riservandosi di adoperare l'abbondanza delle piogge o la siccità come premio o come castigo. «Irruppero le fonti del grande abisso e si aprirono le cateratte del cielo», dice la *Genesi*, quando le acque del diluvio inondarono la Terra e, quando questo disastroso evento deve cessare, le bocche degli abissi come le cateratte del cielo sono «chiuse».

E Davide, per esempio, si lamenta che le sue sventure l'affogano come in una tempesta e come nelle acque che precipitano con impeto dai monti; quando Dio apre le cateratte del cielo; o Isaia, quando si riferisce ai flagelli che colpiranno il mondo alla fine dei tempi, predice che le terre saranno scosse dalle fondamenta e «dischiuse dall'alto le cateratte». È la mano di Dio che mantiene pieni questi serbatoi, mentre l'acqua caduta «non ritorna più in alto, ma si converte in semi ed in frutti», per uso degli animali e degli uomini.

Altri serbatoi, posti però nella zona inferiore del cielo, a livello della superficie terrestre, aprendosi ora da una parte ora dall'altra, nelle diverse direzioni corrispondenti ai nostri punti cardinali fondamentali, danno origine ai «quattro venti del cielo», di cui quello di Ponente è apportatore delle precipitazioni.

Ammesso dunque questo concetto dei serbatoi e delle cateratte, viene tolta alle nubi la loro funzione principale, quella di essere le vere sorgenti della pioggia. Ma il rapporto immediato, che esiste così visibilmente tra questi due elementi, non poteva sfuggire, e così esso viene colto da qualcuno degli scrittori biblici. Per esempio, per l'autore del *Libro di Giobbe* le nubi contengono la pioggia («Dio lega le acque nelle nubi»), che poi Dio provvederà a distribuire sulla Terra («Iddio sprema [dalle nubi] le stille di pioggia, e versa le acque quasi torrenti che scorrono giù dalle nubi, distese

quasi padiglione nel cielo»). L'autore del *Libro di Qoheleth* – plagiamo questi esempi sempre dallo studio dello Schiaparelli – afferma che «quando le nubi son piene, versano la pioggia sulla terra»; e nel *Libro dei Giudici* si dice che «i cieli e le nubi stillarono acqua»; nel *Secondo Libro di Samuele*, Davide, esaltando le meraviglie di Dio nei fenomeni della natura, dice che «Egli strisciò sulle ali dei venti, si occultò cingendosi di tenebre, staccando le acque dalle nubi del cielo».

Altri passi ci informano che le nubi ascendono dai limiti estremi della terra («Dio fa venire le nubi dall'estremo orizzonte»; «Ecco una nuvoletta... sale dal mare»), o che le nubi si dissolvono spontaneamente, in particolare quelle mattutine, ma nessuna traccia si può trovare relativa ad una circolazione atmosferica delle acque collegata all'evaporazione. Così, egualmente, manca alcun sentore del nesso naturale tra le acque meteoriche e quelle superficiali o sotterranee della crosta terrestre. Sono considerate come fenomeni a parte, e perciò resta completamente ignorata l'origine delle fonti per l'apporto delle acque atmosferiche.

Nei poemi omerici

Posidonio di Apamea, stando ad una proposizione di Strabone, avrebbe attribuito ad Omero, che in un passo qualifica il Nilo «*Aijguvptoio, diipetevoi potamoi`o*» (Od., D 581), la prima spiegazione delle piene del grande fiume africano, riconoscendone la causa nelle abbondanti piogge della stagione estiva. La spiegazione è inesatta ed il riferimento poco probante. Non piove in Egitto durante l'estate, salvo che il vecchio poeta non volesse far riferimento alle precipitazioni copiose che cadono sul gruppo montuoso dell'Abissinia, e ciò che egli esprime, in questo verso come in altri, con l'epiteto *diipetevoi*, non riguarda il fenomeno della piena improvvisa, ma l'alimentazione continua del fiume con le piogge di Zeus.

Tuttavia, altrove, Omero riconosce tra le cause delle piene primaverili dei fiumi l'accumulo della neve sulle fasce cacuminali delle montagne e la successiva fusione rapida di queste riserve d'acqua sotto l'azione dei venti caldi. Rivolgiamo un momento l'attenzione ai versi dell'*Odissea*, dove le lacrime di Penelope sono paragonate all'umidità prodotta dalla fusione delle nevi sull'alta montagna: il poeta ci dice che, quando lo strato di neve che Zefiro ha fatto deporre sulle cime comincia a sciogliersi sotto il soffio di Euro, i fiumi traboccano dai loro letti, «*thkomevnh1 dΔa[ra th`~1 potamoi; plhvqousi rJevonte1*». Questa spiegazione di un fenomeno della

natura, sul quale si discuterà a lungo in seguito, è offerta senza la sia pur minima pretesa di scientificità, di sfuggita, al centro di un paragone dove si sviluppino una grazia e una delicatezza particolari per dipingere il fatto puramente umano del dolore e della nostalgia di Penelope.

Nei versi rapportati all'Oceano, Omero afferma che i fiumi, i mari, le sorgenti, i pozzi ricevono le loro acque dalle profondità dell'Oceano. In parecchi altri passi ci dice che, reciprocamente, i fiumi si gettano nell'Oceano che recinge tutte le terre. Di fronte alle precipitazioni lascia sostanzialmente intendere che l'evaporazione e le precipitazioni con le loro conseguenze siano inserite in un ciclo chiuso; non ci sarà pioggia se non ci saranno delle nubi e non ci saranno delle nubi se non si alzerà dell'umidità sulla superficie dei mari e dei fiumi. Se il vecchio poeta avesse indicato in qualche occasione l'agente di connessione tra le acque marine e continentali e quelle atmosferiche, solo allora avremmo potuto riconoscere ad Omero il merito della concezione ciclica complessiva del percorso delle acque.

Secondo Aristotele

È solo con Aristotele (384-322 a.C.) che troviamo tracciata la prima grande sintesi nel campo di quasi tutte le scienze fisiche e naturali, e troviamo quindi organizzate in sistema anche le dottrine di cui ci occupiamo. La sua opera per noi più importante sono i *Libri delle Meteore*, la più antica opera greca di geografia fisica giunta integra.

Al centro ed intorno al centro sono disposti gli elementi pesanti e freddi, la terra e l'acqua; intorno ad essi, e contigualmente, l'aria e ciò che è comunemente detto fuoco, ma che non è fuoco: il fuoco infatti è un eccesso di caldo e una specie di ebollizione.

Ciò che noi chiamiamo aria nella parte più vicina alla terra umida e calda – e per l'evaporazione e perché contiene esalazione di terra – nella parte superiore è invece caldo e secco. La natura del vapore è infatti umida e fredda, quella dell'esalazione calda e secca: infatti il vapore è in potenza acqua e l'esalazione è in potenza fuoco.

Il principio motore e supremo è il cerchio, nel quale la traslazione del sole, come è chiaro, col suo avvicinarsi ed allontanarsi aggrega e disaggrega, ed è così causa della generazione e corruzione. 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 disper-

sione 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 dell'aria in acqua è nube: la nebbia è un residuo della condensazione della nube in acqua. Perciò essa è un segno più di bel tempo che di pioggia: la nebbia è infatti come una nube infeconda. Ci troviamo 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; e 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.

Essendo ora l'umido portato sempre in alto dalla forza del caldo e di nuovo in basso verso la Terra per effetto del raffreddamento, si possono propriamente indicare i nomi per questi fenomeni e per alcune loro varietà: quando v'è caduta d'acqua in piccole gocce si chiamerà «pioggerella», quando in grandi gocce, «pioggia».

L'*ajtmiv* è dunque l'esalazione che dà luogo alla pioggia, cioè all'acqua. Bisogna però aggiungere, come nota il Gilbert, che la definizione di questo termine ha una certa flessibilità in Aristotele e si avvicina a volte alla natura dell'acqua, altre volte a quella dell'aria. L'oscillazione può avere una spiegazione nel fatto che, quando Aristotele considera il vapore condensato come principio della pioggia, è portato ovviamente ad apparentarlo all'acqua; mentre, quando esamina il processo di evaporazione, nel quale gioca tanta parte il calore del sole, ecco che il vapore sembra più vicino alla natura dell'aria.

Perciò se sopra, ad opera del freddo, l'aria che evapora si addensa 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 e scorra, ma anche che vi si generi continuamente.

Anche se l'acqua non si genera ogni giorno, ma esiste tuttalmente, l'origine dei fiumi non è, come dicono alcuni, da alcuni laghi sotterranei già formati; come nel luogo sopra la Terra si condensano piccole gocce d'acqua che si uniscono le une alle altre fino a che l'acqua cade in quantità

sotto forma di pioggia, similmente, anche all'interno della terra, l'acqua si raccoglie da piccole gocce prima e poi scaturisce in un solo punto dalla Terra, costituendo l'origine dei fiumi. Ciò viene provato anche da questo fatto: coloro che costruiscono le condotte, convogliano l'acqua in canali e condotti, proprio come se trasudasse dalla Terra dai luoghi più elevati. Perciò vediamo che le correnti dei fiumi scendono dai monti, e che la maggior parte dei fiumi, e i più grandi, scorrono dalle montagne più elevate. Parimenti, la maggior parte delle fonti si trova vicino alle montagne ed ai luoghi elevati, mentre nelle pianure, ad eccezione dei fiumi, vi sono pochissime fonti. Infatti, i luoghi montuosi ed elevati stanno sospesi come una spugna imbevuta e filtrano e raccolgono l'acqua in più punti a piccole parti. Infatti ricevono l'acqua che cade in grande quantità (e che differenza c'è se la superficie è concava e rivolta in su, o convessa e rivolta in giù? In entrambi i casi conterrà la stessa massa di corpo) e raffreddano, condensandolo nuovamente in acqua, il vapore che si leva.

È chiaro dunque che non si deve credere che i fiumi abbiano origine da serbatoi già formati; non sarebbe infatti sufficiente il luogo terrestre, si può dire, né quello delle nubi, se essi dovessero avere origine solo dall'acqua esistente, senza che essa evapori o si generi, e se quella disponibile fosse tutta quanta già esistente. Inoltre, il fatto che le sorgenti si trovano ai piedi delle montagne mostra che questi luoghi distribuiscono l'acqua raccolta a poco a poco per essudamento, e così si formano le sorgenti dei fiumi.

Si dirà che abbiamo citato con soverchia ampiezza; ma, a scanso di equivoci, era pur necessario, trattandosi della più completa spiegazione del ciclo dell'acqua che sia stata data nell'antichità. Così, Aristotele dà tre differenti spiegazioni su l'origine dei fiumi: per la caduta della pioggia e successiva percolazione, per la condensazione sotterranea dell'aria in acqua, per la condensazione di vapori che si sollevano da alcune imprecisate sorgenti. Egli ritiene che le montagne agiscano come i ricettacoli di una spugna.

Se queste ragioni, singole o in combinazione, spiegano veramente l'origine delle sorgenti e dei fiumi, quale è la causa del differente regime di un corso d'acqua? Essa può trovarsi non nella grandezza delle voragini sotterranee, bensì «nella grandezza dei luoghi elevati, la loro compatezza e bassa temperatura». Sostiene, cioè, che se le montagne sono grandi, esse possono raccogliere, creare e trattenere la maggior parte dell'acqua che si accumula come conseguenza di una sovrabbondanza di precipitazioni, e quindi i fiumi che esse originano saranno perenni. Se al contrario, le mon-

tagne sono «piccole o porose o pietrose o argillose», i corsi d'acqua che ne risultano si estingueranno prima, o avranno di conseguenza una corrente soltanto stagionale.

Vitruvio

Tra gli autori latini, il solo che apra uno spiraglio chiaro, atto a gettare luce su più aspetti reali del fenomeno della circuitazione dell'acqua, resta Vitruvio Pollione. Tanto preziosa perciò la sua testimonianza fornitaci nel *De architectura*, databile tra il 40 o il 25 a.C. o leggermente più tardi, una delle opere più lette nell'antichità e che hanno trovato più ammiratori, commentatori e traduttori nei tempi moderni.

Contribuiva l'interesse per l'architettura e per le belle arti in generale, delle quali lo scritto si occupa principalmente. Su questo, anzi, si basarono gli architetti e gli artisti del Rinascimento ed i moderni, per la trattazione teorica dei «tre ordini» di architettura e per le altre regole dello stile classico. Ma anche per le scienze applicate l'opera di Vitruvio è di estremo interesse. Dei dieci libri che compongono il *De architectura*, i primi sette parlano degli edifici; l'ottavo dell'acqua, del suo ritrovamento e della costruzione degli acquedotti; il nono della misurazione del tempo e il decurto della costruzione delle macchine. A noi interessa ovviamente il libro ottavo. Apriamolo perciò e sentiamo direttamente da Vitruvio ciò che sa dirci.

La nostra personale opinione è che la spiegazione di Vitruvio – pur nell'estrema concisione – sia una delle migliori che siano state date nell'antichità sul problema che discutiamo. Dunque, egli ci descrive il cosiddetto «raffreddamento convettivo», quando ricorda che le diverse masse di vapore che esalano dalle fonti, dai fiumi, dalle paludi, dal mare e dalla Terra, dovunque giungono trasportate dal vento, vengono per influenza del sole radunate insieme e riscaldate; allora s'alzano e vanno a formare le nubi. Quando queste, portate dai venti, incontrano l'ostacolo di una catena montuosa si verifica il cosiddetto «raffreddamento orografico», che precede le precipitazioni vere e proprie.

Del resto ciò è provato – sostiene appropriatamente il nostro Autore – dal fenomeno analogo che si verifica nei bagni. Leggiamo nell'interpretazione del testo vitruviano che ha dato il Florian, che

«le coperture a volta dei *calidaria* non hanno certamente al di sopra delle fonti; eppure le volte, riscaldate dal vapore delle bocche dei forni, attirano a sé dal pavimento l'acqua, che poi fanno condensare sulla loro superficie

concava, dove rimane sospesa, perché il vapore caldo tende sempre a salire. Finché è poca, l'acqua si sostiene in alto, quando però si accumula in notevoli quantità, non può più reggersi per l'eccessivo peso e allora cade giù a gocce sul capo dei bagnanti. Con lo stesso procedimento l'aria aperta, riscaldata dal sole, fa evaporare l'umidità da ogni luogo e poi la condensa in nubi».

L'acqua, tornata alla Terra, con le precipitazioni, conclude in tal modo il suo ciclo, dando luogo alle sorgenti e originando i corsi d'acqua.

Secondo i Padri della Chiesa

Costantino di Antiochia, altrimenti noto come Cosma, autore della *Topografia del Cosmo*, opera del VI secolo, ammette, mentre discute dell'origine dei fenomeni sismici, la struttura cavernosa della Terra. Questa immagine resta sottintesa anche in tutto il discorso relativo alla questione geografica del Paradiso Terrestre, uno dei problemi più dibattuti nell'età medievale e sul quale bisogna aprire una parentesi, perché strettamente connesso al nostro tema. La questione ebbe infatti importanza decisiva nel far accogliere e rinnovare la teoria idrologica degli antichi sulla spongiosità dell'intero globo, esagerando singoli fatti di secondaria importanza e costruendo un sistema complicato ed astruso. Abbiamo già ricordato come, per erronee induzioni sui molti fenomeni carsici presenti in Grecia e nell'Asia Minore, i greci fossero arrivati ad ammettere che le acque comunicassero tra loro per vie sotterranee, e, per conseguenza, a credere che i fiumi scorressero sotto il mare per uscire in altro luogo e con altro nome. Essi citavano numerosi esempi, come il Nilo che continuava nell'Inopo, l'Alfeo che ricompariva nella celebre Fonte Aretusa in Sicilia, il Meandro dell'Asia Minore che ritornava alla luce nell'Asopo.

Nell'età medievale, come sempre, si inizia la discussione da alcuni passi biblici. Narrano infatti i versetti della *Genesi* che «il Signore Iddio piantò un giardino in Eden dall'Oriente, e pose quivi l'uomo ch'egli avea formato», e che «il Paradiso Terrestre era ad Oriente, che era irrigato da un fiume da cui quattro se ne dipartivano, che dopo il peccato Adamo ed Eva furono cacciati dal luogo di felicità, e i cherubini furono posti alla custodia della porta». Si cominciò col discutere sulla natura del Paradiso in genere, se fosse corporeo solamente, o intellettuale, se avesse una doppia condizione corporea e spirituale, e non di rado si finì con il confondere il Paradiso Celeste con il Terrestre.

L'altro problema era più strettamente geografico, perché riguardava la sua collocazione in Terra. Con la posizione geografica dell'Eden, che doveva trovarsi *ad Orientem*, bisognava concordare la posizione e il corso dei quattro rami nei quali si divideva il grande fiume del Paradiso: il Physon (*Pis̄ôn*), il Ghinon (*Ghîhôn*), l'Hiddèchèl (*Hiddèqèl*), e il Peràt, che dovevano essere i più grandi fiumi del mondo. Così, già prima di Cosma, troviamo notizia dell'interpretazione dei passi della Bibbia e delle nozioni generali di idrografia che prevalsero, poi, per tanti secoli.

Mentre quasi tutti i commentatori della Bibbia identificavano l'Hiddèchèl e il Peràt con i fiumi mesopotamici del Tigri e dell'Eufrate, il primo a proporre di identificare il Ghinon o Geon delle sacre carte con il Nilo sarà Teofilo, arcivescovo di Antiochia nel secolo II. Ma se questi fiumi appartenevano all'abitabile, essendovi tra questo e il Paradiso Terrestre interposti ostacoli insuperabili come l'Oceano, che circondava tutte le terre, non era possibile che gli stessi fiumi avessero un collegamento con il grande fiume dell'Eden mediante un decorso superficiale. Questo non poteva essere che sottomarino o sotterraneo e, nel presumerlo, Severiano di Gabala, Teodoro e altri vedevano una disposizione divina diretta ad impedire che il peccatore potesse pervenire al Paradiso Terrestre per questa via.

Più tardi Filostorgio, autore nel secolo V di una storia ecclesiastica, troverà nelle stesse sacre carte un'altra giustificazione dell'origine divina, dove il *Salmista* (135,6) recita che Dio «fa tutto ciò che gli piace in cielo e in terra, ne' mari, e in tutti gli abissi», e asserisce che il Signore formò la terra sopra i fiumi («perciocché egli l'ha fondata sopra i mari, e l'ha formata sopra i fiumi» (*Salm.* 24,2)). Questo bastò al dotto storico per stabilire una dottrina che rimase poi invariata per secoli.

I fiumi escono dal Paradiso, si affondano nell'interno della Terra e ritornano alla superficie, dove vediamo le loro sorgenti. Per Cosma, i quattro fiumi discendono dall'Eden, penetrano nella terra e, passando sotto il fondo dell'Oceano, ritornano poi alla superficie, dove sono identificabili con l'Indo o il Gange, il Nilo e il Tigri e l'Eufrate. Ecco, quindi, anche la necessità, per non andare contro le leggi fisiche più evidenti, di assegnare al Paradiso una posizione piuttosto elevata.

Se possiamo stabilire la quasi assoluta universalità di questa opinione nel mondo dei dotti medievali, è naturale che una corrispondente uniformità di rappresentazione la si trovi anche nei documenti cartografici. Senza fare una ricerca *ad hoc* può bastare, dopo aver consultato frettolosamente un manuale di storia della cartografia, come quello del Bagrow e dello

Skelton, di ricordare l'esempio offertoci da alcuni dei monumenti pervenuti, quali la carta del mondo in un manoscritto di Beato del secolo XII, che si conserva ad Altamira; il mappamondo Salterio, anche del secolo XII, del British Museum di Londra; quello di Ranulfo Higden, sempre del British Museum; o ancora il mappamondo di Hanns Rüst, del secolo XV, conservato a Holzschnitt; via via sino alla stupenda illustrazione che s'inserisce in uno degli angoli della cornice del grande mappamondo di fra' Mauro, uscito dalla sua bottega nel 1460 e oggi conservato nella Biblioteca Marciana di Venezia.

Leon Battista Alberti e Leonardo da Vinci

Per il nostro tema, un posto importante occupa poi senz'altro Leon Battista Alberti (1404-1472), insigne letterato, filosofo, architetto e teorico dell'arte. Il suo trattato *De re aedificatoria* costituisce, com'è noto, una completa teoria dell'arte, ma non vi mancano, specialmente nel libro dedicato all'architettura, numerosi accenni ai problemi riguardanti le acque. Le argomentazioni su questi temi diventano per noi particolarmente importanti, quando rileviamo che tutti i critici sono concordi nel riconoscere la dipendenza di questo scritto dall'analogia opera di Vitruvio, di quello scrittore latino, cioè, che già ricordammo come colui che nell'antichità fosse andato più vicino alla realtà tra le varie ipotesi presentate sulla circuitazione dell'acqua.

Più o meno tutti gli autori fin qui esaminati hanno ammesso in qualche modo che l'evaporazione sia causata dal calore del sole. L'Alberti non è da meno e afferma che il calore solare fa sollevare i vapori «dalle più intime e secrete parti della Terra».

Tuttavia non si accontenta di così breve osservazione e, seguendo il suo maestro latino, per il quale erano i venti che con l'aiuto del sole sollevavano i vapori dalle fontane, dai fiumi e da tutte le altre superfici d'acqua, asserisce che i vapori sollevati «ovvero per la loro grandissima mole, o pure, che ricevendo i raggi del sole da quella parte, che rarefatti si sono», eccitano i venti. Questi, spinti «dalla sete», si precipitano nel mare, e quindi «pregni di humore», si alzano nuovamente a formare le nubi. Queste, infine, vengono «quasi come spugne premute», e formano così le piogge, che l'autore si premura di spiegare «onde sieno cagione, che si creino vapori».

Per quanto riguarda l'origine delle acque superficiali e sotterranee, egli si trova un po' imbarazzato, in quanto non sa quale delle diverse opinioni seguire. Leggiamo infatti: «ma io non son già risoluto di quel che io debba te-

ner per cosa ferma, trovando io appresso de li scrittori tanto varie cose». Da una parte c'è Aristotele, che afferma che l'acqua è generata dall'aria, «non d'ogni forte aria, ma di quella finalmente, che sia più atta a diventar vapore».

Ricorda, poi, l'opinione di altri, che vogliono la Terra, «e massime i monti., come una spugna piena di pori», dove l'aria, a causa del freddo, si condensa e si «unisce insieme».

«Et è manifesto – continua – che in molti luoghi o per tremuoti, o pur spontaneamente vi sono nate fontane di subito, e statevi assai tempo, e in varii tempi esser mancate, talché alcune sieno perse nella state, e alcune nella invernata e alcune altre fonti da poi che si sono secche, essergli tornata un'altra volta grandissima abbondantia di acqua, e che le fontane di acqua dolce non solamente nascono nella Terra, ma in mezzo dell'onde del mare e afferma-no che le acque escono ancora da esse piante...».

Tuttavia, «sarà forse da non essere biasimato» colui che affermi che le acque delle piogge vengono assorbite dal terreno attraverso cui penetrano «mediante la loro gravezza e la loro sottigliezza», fino a raccogliersi in luoghi concavi. E a riprova di ciò, porta la constatazione che le regioni in cui le piogge sono scarse mancano anche di acqua.

Ma, non solo le acque che cadono sotto forma di pioggia servono a dar alimento alle sorgive; vi concorre, pure, la fusione delle nevi, giacché osserva che «i monti che stanno assai tempo coperti da la neve danno di se gran copia di acque». Sembra, in definitiva, che egli voglia far sue proprio quest'ultime opinioni, in quanto, benché manifesti esplicitamente il suo dubbio, tuttavia conclude: «Et io certo non negherò che l'umidità della notte non sia succiata dalla superficie de la terra, o che da per se non entri ne' pori di essa, e che facilmente si possa convertire in humore».

L'Alberti ha pure il merito di averci lasciato alcune interessanti osservazioni sulle strette relazioni che intercorrono tra la stratigrafia e l'ubicazione e la potenza delle sorgenti. Parlando infatti della disposizione dei sedimenti, afferma che:

«vedute... queste cose, gli uomini di sottil ingegno hanno facilmente potuto conoscere che le acque sono o generate, o veramente che le piogge si raccolgono infra queste scorze e congiunture de' filari, per il che le parti intime del monte diventano humide. Di qui presero argomento da poter avere le riposte acque, forato il mondo di quel luogo massime nel quale corrono a congiungersi l'uno con l'altro i filoni e gli ordini de le linee che vanno a basso, il quale luogo è molto pronto dove i muscoli de' monti congiugnendosi l'uno e l'altro faranno qualche seno».

Egli, dunque, pur non dilungandosi in spiegazioni ed osservazioni dettagliate, pone, per così dire, sulla scorta di Vitruvio, le premesse che, in una soluzione quasi di continuità, serviranno a Leonardo per spiegare in termini più precisi quella teoria che, sostanzialmente, è ritenuta valida anche alla luce delle moderne esperienze.

È a tutti noto che Leonardo (1452-1519), risentendo dei concetti antropocentrici allora dominanti, considera la Terra come un grande organismo vivente e viene attratto da tutti quei fenomeni che possono attestare quella vitalità.

Perciò, mentre cercava di penetrare nell'interna compagine del nostro globo, sedotto dal paragone appena riportato, di considerare, cioè, la Terra quale un colossale vivente, che ha la propria impalcatura scheletrica, la carne, il cuore, le vene, ecc. – paragone che di necessità doveva condurlo ad errate opinioni sulla circolazione sotterranea delle acque e sull'origine delle sorgenti – immagina l'interno della Terra percorso da numerosissimi e ramificati cunicoli, ricchi di vene d'acqua.

«Grandissimi fiumi [s]corran sotto terra», troviamo scritto su un foglio del *Codice Atlantico* e annotato sotto il disegno abbozzato di una sfera sezionata che appare nel *Codice Leicester*: «Qui si à a imaginare la Terra segata pel mezzo e vedrannosi le profondità del mare e della Terra; le vene si partono dai fondi de' mari e tessono la Terra, e si levano alla sommità de' monti e riversano per li fiumi e ritornano al mare». Concetti che saranno poi esplicitati in numerosi altri passi che possediamo.

Se il corpo della Terra non avesse similitudine con l'uomo, sarebbe impossibile che l'acqua del mare, essendo ad un livello tanto più basso delle montagne, potesse salire di per sé sino alla sommità di quei monti. «Onde è da credere che quella chagione che tiene il sangue nella somità della testa dell'omo, quella medesima tenga l'acqua nella sommità de monti»

Così, per l'origine dei fiumi, dobbiamo ritenere che il suo pensiero sia passato attraverso a due fasi bene tra loro distinte. Nella prima, afferma che sarebbe sbagliato credere che i fiumi traggano origine dalle piogge e dalla fusione delle nevi.

In altri passi, tuttavia, Leonardo viene esplicitamente ad ammettere che l'origine delle sorgenti sia dovuta alle precipitazioni meteoriche. In contrasto con quanto abbiamo trovato finora affermato, egli annota infatti che «l'acqua delli fiumi non dal mare, ma dalli nuvoli à origine», e altrove, parlando dei corsi d'acqua: «nati di piove, nella grandine e diaci risolti dalli solari razi della state, la qual resolutione è generattione d'acque ragunate da molti piccoli rivi: crescono in magnitudine quanto essi acquistano

di moto, insin che si convocano al gran mare Oceano». Qui troviamo, dunque, negato quel ricambio di «umori» tra Oceano e continente che Leonardo, all'inizio, aveva ammesso come base fondamentale della circolazione interna delle acque.

Si riesce a seguire il ragionamento che lo ha condotto a questa risoluzione, leggendo quanto scrive a proposito dei dubbi che gli erano sorti:

«Se l'acqua che surge pe[r] l'alte cime de' monti viene dal mare, de [dal] quale il suo peso là su la sospingnie per essere più alto d'essi monti, perché à così licenzia tal particula d'acqua a levarsi in tanta altez[z]a, e penetrare la terra con tanta difficoltà e tempo, e non è stato conceduto al resto dell'elemento dell'acqua fare il simile, il quale confina coll'aria, la qual non è per resisterli, ch'el tutto non si elevassi alla medesima altezza della predetta parte. E tu, che tale invenzione trovasti, rito[r]na a rinparare [di] naturale che tu manc[h] erai di tali simili oppenioni, del quale tu à fatto grande a[m]munizione, insieme col capitale del fructo, che tu possiedi».

Segue inoltre un'annotazione che fa cadere i presupposti della vecchia dottrina:

«L'Oceano non penetra infra la terra e questo c'insegna le molte e varie vene d'acque dolci, le quali in diversi lochi d'esso ocieano, penetrano dal fondo alla superficie. Ancora il medesimo ci mostrano i po[z]zi fatti dopo lo Spazio d'un miglio remoti dal detto ocieano, li quali s'empiano d'acque dolci: e questo accade perché l'acque dolci è più sottile che l'acqua salata, e per conseguenza più penetrativa».

Soprattutto interessanti per il nostro tema sono alcune osservazioni annotate per indicare quale influenza esercitino la posizione e la natura degli strati nell'assorbimento delle acque piovane e quali rapporti questi e le altre precipitazioni abbiano con le fonti dei fiumi e con le caverne dei monti.

Abbiamo dunque visto come gli studiosi antichi e quelli medievali applicassero la teoria dei corsi d'acqua sottomarini. I fiumi, dopo essere sfociati in mare, con tutta la loro massa per vie misteriose andavano a formare la sorgente di altri fiumi e chiudevano il ciclo percorso dall'acqua: il fiume, insomma, usciva dalla sorgente con tutta la sua massa d'acqua e si stabiliva una relazione errata tra quella e il mare.

Era questa una teoria che non poteva resistere alla critica più elementare, principalmente, perché una sorgente, eccettuato qualche fatto carsico quali quelli che erano stati forse all'origine di questa dottrina, è sempre

una più o meno piccola quantità d'acqua in confronto della corrente fluviale. Infatti, di regola, un fiume ha tenue principio da uno o più punti elevati del suo bacino idrografico che formano la sua origine, le tradizionali sorgenti, e nello scendere per la valle, il cui fondo è inclinato verso il mare, va ingrossando per il tributo che gli apportano altri fiumi del bacino idrografico, i cosiddetti affluenti. L'acqua di cui si alimentano proviene sì dal mare, ma per evaporazione nell'atmosfera, i movimenti della quale diffondono il vapor acqueo e si producono piogge e nevi. Dalle precipitazioni atmosferiche dirette o dalla fusione dell'acqua allo stato solido si formano le sorgenti e i fiumi. Questo è il ciclo dell'acqua secondo le moderne opinioni e Leonardo ce ne dà – a completamento quasi dei passi sopra riportati – una buona illustrazione nel seguente brano:

«... quell'acqua, che di più stretto e breve cammino si trova, e meno consuma il locho, dove la passa, e de converso più consuma, dov'ella è larghissima e profonda. Sequita per questo, che gli altissimi giochi de' monti, essendo il più del tempo vestiti di neve, e le piogge con piccol tempo le percotano, e li fiumi non vi sono infino à tanto, che le poche goccioline della pioggia avanzate al sorbimento de l'arida cima cominciano a generare li minutissimi rami di tardissimo moto, li quali non hanno potentia di torbidarsi d'alcuna particola di terra da loro mossa, mediante le vecchie radici, dove li furiosi corsi delle ragunate acque al continuo, non contenti della portata terra, essi removano li colli coperti di piante insieme co' li grandissimi sassi, quelli rotolando per lungo spatio, infinché gli ha condotti in minuta giara, et a l'ultimo in sottil litta».

I concetti sulle precipitazioni, e specialmente intorno alle piogge, che costituiscono uno degli elementi fondamentali che si saldano all'interno del ciclo, dovevano poi, con ogni probabilità, andare a comporre un discorso a parte, raccolto in un capitolo o libro del trattato intorno alle acque.

Dai passi che possediamo, possiamo ricavare comunque con notevole chiarezza quali erano le idee di Leonardo sull'origine delle nubi e delle precipitazioni.

«Le nuvole sono nebbie tirate in alto dal caldo del sole et la loro elevatione [si arresta] dove il loro acquistato peso si fa di potentia ecquale al suo motore, et lo acquistato [peso] nasce dalla loro condensatione, et la condensatione ha origine dal calore, ch'è in loro infuso, che si rifuggie dalli stremi, che si trovano penetrati dal freddo della meza region della aria, et l'umidità seguita il caldo, che la su la condusse, in qualunque parte esso caldo si fuggie, et perché si fuge verso il mezo di ciascuna globosità de' nuvoli, esse globosità si condensano con terminate superficie, ad uso di dense montagne, [e] piglia-

no l'ombre mediante li razi solari che la su li percote... Li nuvoli son creati da humidità infusa per l'aria, la quale si congrega mediante il freddo, che con diversi venti è trasportato per l'aria».

Egli afferma che il calore del sole solleva il vapore e lo porta fino alla regione fredda, dove si ferma «perché il caldo et humido non si confà col freddo e secco». Qui i vapori, che continuamente salgono, si aggiungono a quelli precedenti, formando così delle nubi «spesse ed oscure», che talvolta vengono trasportate dai venti in altre regioni, e, divenute troppo pesanti, si trasformano «in spessa pioggia».

Nel giustificare la formazione della pioggia, Leonardo rimane parzialmente ancora influenzato dalla dottrina delle sfere aristoteliche, che come abbiamo già rilevato, costituiva il sostrato delle opinioni più correnti; però, più acute sono alcune osservazioni conclusive. L'aria interposta tra il fuoco e l'acqua partecipa delle caratteristiche sia dell'uno che dell'altro elemento, e tanto più, quanto più è vicina ad uno di essi.

Così, dalla parte più vicina all'acqua, è più fredda, perché il calore della sfera del fuoco, che resta lontana, è qui di minore intensità. Ne consegue che i «granicoli humidi, composti dalla materia de nuvoli» hanno qui un movimento più lento. I «granicoli» che seguono continuamente per l'evaporazione, essendo più veloci nell'ascensione, raggiungono questi primi e si uniscono ad essi, accrescendo l'umidità sospesa (è quel processo che oggi individuiamo come fenomeno della coalescenza). Perciò l'aria non potendo più sostenere tale massa d'acqua, la lascia cadere. Durante la discesa, le «goccioline» si uniscono tra loro aumentando così ancor più il loro peso, e quindi la loro velocità.

E ora, qui per concludere, voglio soltanto spendere poche parole sulle vicende successive che allora non trattai per conoscere quale sorte fosse riservata alle spiegazioni riferite nel mio testo allora pubblicato e quali osservazioni nuove sorgessero nel Seicento e nel Settecento, fino alla definizione sperimentale del problema offerta dalla citata prolusione del Vallisneri.

Teniamo conto che alla fine del Quattrocento, se abbracciamo una volta di più il vasto campo della storia della scienza – astrazione fatta di alcuni pensatori isolati ed originali tra i quali il primo posto spetta a Leonardo da Vinci – le dottrine naturalistiche generalmente professate erano ancora strettamente fondate sul pensiero aristotelico nella forma con cui questo era penetrato nel mondo scolastico, dottrine che neanche il movimento platonizzante e il corredo di cognizioni nuove portate dalle nuove espe-

rienze pratiche di viaggi, ma anche di osservazioni scientifiche, sembrano da principio poter abbattere o anche solo modificare.

Soltanto nel Cinquecento si manifesta e largamente si diffonde, per varie vie e sotto diversi aspetti, un nuovo movimento antiaristotelico che, non curandosi più di un accordo tra scienza e fede – lavoro immane della Scolastica – e partendo dall'indagine pura e semplice dei fatti naturali, esce per questo fatto stesso dal campo ristretto della filosofia teoretica e si allarga anche alle scienze naturali, alle quali tenta di applicare nuovi principi da esso proclamati. Tra i rappresentanti di questo nuovo indirizzo: Girolamo Cardano (1501-1576), che possiamo considerare come un precursore; Bernardino Telesio (1509-1588), l'iniziatore vero e proprio; da Giordano Bruno (1548-1600), a Francesco Patrizi (1529-1597), sino a Tommaso Campanella (1551-1639), attornati da una pleiade di altri. Contemporaneamente, i seguaci di Aristotele si industriarono a difendere, con scritti diversi per mole e carattere, le dottrine filosofiche e naturali del grande Maestro. Si accesero dispute sempre più frequenti e vivaci, con discussioni che ebbero larga eco nel campo delle scienze naturali.

Spirava, quindi, un'aria di rinnovamento accanto a quella della tradizione: così, anche nei riguardi del nostro tema, accanto alla prolungata persistenza di vecchie teorie, sia pure rimesse a nuovo, piano piano si affacciano delle nuove proposte vicine alla risoluzione del problema. Assai indicativo, perciò, può essere il ricordare, sia pure assai brevemente, alcune delle opinioni espresse da qualcuna delle figure più significative.

Così il Cardano, che abbiamo citato come un precursore del movimento antiaristotelico, propugnatore dell'esistenza di tre soli elementi (resta escluso il fuoco), e tutti e tre di natura fredda, di fronte al problema delle origini delle sorgenti, se le acque continentali siano di alimentazione marina o atmosferica, mostra di accogliere entrambe le provenienze, anche se non le ritiene sufficienti, e ammette come causa principale il principio che l'aria all'interno della terra si trasformi in acqua.

Neppure Bernardino Telesio, che pure è considerato il primo vero iniziatore di questo movimento di innovazione e nello stesso tempo la sua figura più espressiva, riesce a svecchiare le vecchie opinioni. Interessante è proprio vedere come le teorie telesiane vadano contro le affermazioni che possiamo ritenere fondamentali per Aristotele circa l'origine delle acque. Infatti, tanto le acque oceaniche, quanto quelle continentali, per Telesio provengono dal seno della Terra da cui sono fatte uscire per opera del sole. L'unica differenza sta nel fatto che le acque marine provengono dalle viscere più profonde, mentre quelle dei fiumi, da infiniti punti della Terra

e dalle parti più superficiali di essa. Il mare è per sua natura ricco di salsedine, poiché le sue acque provengono dal profondo della Terra dove si trovano sali in abbondanza. Le acque continentali sono invece dolci, in quanto provengono dagli strati superiori, meno ricchi di tali sali.

Il ciclo dell'acqua poi si compie nel senso opposto a quello comunemente accettato. Gran parte delle acque, infatti, che il mare riceve dalle piogge e dai fiumi, si converte forse di nuovo in terra, che a sua volta andrà a reintegrare in qualche modo, le perdite subite dalla Terra stessa per la sua continua trasformazione in acqua.

Per quanto riguarda la formazione dei fenomeni atmosferici, si registra poi un'ulteriore involuzione, rispetto ad Aristotele. Telesio, infatti, forse perché non ha compreso pienamente il pensiero del filosofo greco, gli attribuisce una strana contraddizione riguardo al fatto che sia il freddo la causa determinante della condensazione, quando i vapori condensati sono caldi. Così, per ovviare a ciò, egli afferma che tutte le precipitazioni, costituite della stessa materia in quanto tutti i vapori vengono sollevati dal calore solare dalla Terra e dal mare, hanno origine dal vapore condensato sì, ma non raffreddato. La pioggia si forma infatti allorché i vapori spinti in alto, compresi violentemente, e quindi ridotti di volume, subiscono una condensazione.

Quasi contemporaneamente, però, Bernard Palissy, nei suoi *Discours admirables de la nature des eaux et fontaines* (1580), da buon pratico, combatterà le antiche teorie e ci proporrà come già Aristotele, Vitruvio, Leon Battista Alberti e Leonardo da Vinci, la reale giustificazione delle sorgenti con l'infiltrazione e percolazione delle acque delle precipitazioni.

Nel Seicento, il dibattito continuerà e con discordie non minori, interessando ampia parte della letteratura scientifica. Limitiamoci ancora a qualche esempio, che può essere indicativo della lentezza dei progressi per i quali anche questo problema come tanti altri della scienza ha dovuto passare. E così, Bonaventura Cavalieri, a proposito *Del nascere delle fonti e de' fiumi* di cui tratta nella sua *Sfera astronomica*, sarà indotto a ricorrere ancora all'antichissimo concetto dell'acqua marina e della Provvidenza divina.

Scrive infatti:

«Ed in questo si ammiri la somma sapienza del Creatore, con quanta facilità ha fatto questo circolo, cioè con mescolare il sale con l'acqua del mare per costituirlo più grave, acciò premendo se stessa e sforzandosi a passare per la terra vi lasciasse detto sale, e così resa più leggiera potesse salire sopra li monti, e di nuovo tornare al mare, dopo avere irrigata la superficie della terra arida, e rendutala atta alla generazione dell'erbe e alla navigazione per unire il commercio degli uomini».

Il testo della Sacra Scrittura, che esplica questa circolazione, è chiarissimo, e prova concludentemente questo mio pensiero e speculazione. Dice dunque nell'*Eccelesiastico* al primo capitolo: «Omnia flumina intrans in mare, et mare non redundat al locum, unde exerunt flumina revertuntur ut iterum fluant».

E così pure Cartesio (1596-1650), per il quale, sostenitore di una Terra «presso ché tutta cavernosa», sempre a giustificazione delle sorgenti ritorna all'idea dell'alambicco, che si può trovare già discussa anche nel Trecento da Ristoro d'Arezzo: l'acqua marina, cioè, infiltratasi nelle viscere della Terra, perviene ad una regione calda, donde si solleva sotto forma di vapori, i quali infine si condensano in acqua che va ad alimentare le fonti.

E della stessa opinione è il padre gesuita Athanasius Kircher (1601-1680), che tenta ancora un accordo tra fatti fisici e Bibbia. Caratterizza il geocosmo un fuoco centrale e dei fuochi periferici raccolti in caverne (*pyrophyllacia*), che possono comunicare con l'esterno alimentando i vulcani; altre vaste caverne, piene d'acqua (*hydrophilacia*), e numerosi meandri sotterranei, con cavità più piccole, permettono la circolazione idrica di cui si parla nella Sacra Scrittura. Per effetto del «fuoco», l'acqua del mare penetra nei meati interni della Terra, raggiunge i monti, dove nelle diverse caverne viene dissalata, e, da qui, attraverso il decorso superficiale, ritorna al mare.

E infine, Domenico Guglielmini (1655-1710), che, nel suo prezioso scritto *Della natura de' fiumi* (1697), al capitolo secondo, intitolato *Dell'origine de' fonti naturali*, dopo aver passato in rivista le idee sulla circolazione sotterranea delle acque prospettate dai diversi studiosi, e prevalenti al suo tempo, crede la più probabile e prossima al vero proprio l'opinione cartesiana appena riferita, pur ritenendo che i ricettacoli più vicini alla superficie della terra possano altresì ricevere le acque di pioggia o quelle prodotte dallo scioglimento delle nevi, e quindi far crescere la portata della fonte:

«Siccome dunque si vede agire il calore del sole nelle acque, che si trovano sopra la terra, nella di lei ultima crosta sminuzzandole in vapori, e facendole ascendere ad una considerabile altezza nell'aria; così egli è probabile, che il calore interno della terra faccia svaporare le acque contenute nelle caverne inferiori, e che i vapori a poco a poco ascendano, finché, o sminuendosi l'azione del calore, o conglomerandosi, ed unendosi a forza di un resistente (quale è creduta comunemente la densità e freddezza de' sassi) degenerino in gocce, e vadano a colare in qualche ricettacolo, dal quale finalmente per le vene della terra, si portino alle proprie scaturigini. In questo passaggio, non è difficile a comprendersi che i ricettacoli superiori, cioè più vicini alla superfi-



Fig. 3 - Il frontespizio della terza edizione del *Mundus subterraneus* del Padre gesuita Athanasio Kircher (1678). Per gentile concessione della Società Alpina delle Giulie di Trieste, Sezione del Club Alpino Italiano.

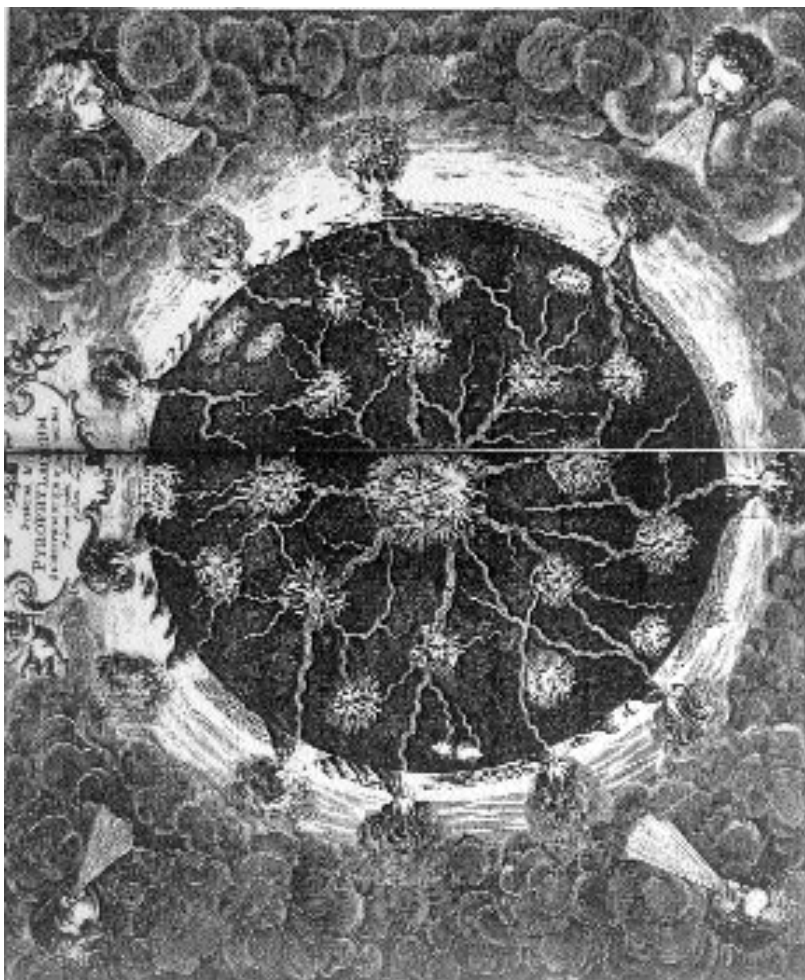


Fig. 4 - La distribuzione dei *pyrophylacia* nel globo terrestre secondo l'ipotesi kircheriana (tomo I, tav. ft., pp. 294-295).

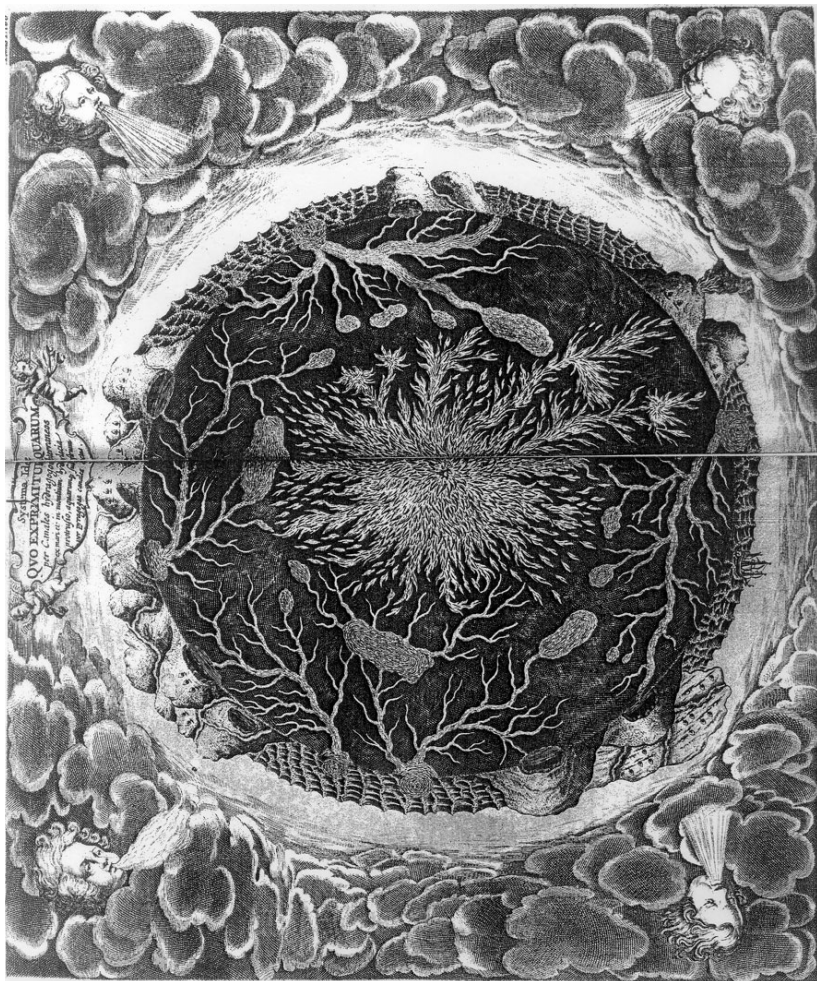


Fig. 5 - La circolazione delle acque calde e fredde nella concezione del Kircher (tomo I, tav. f.t., pp. 186-187).

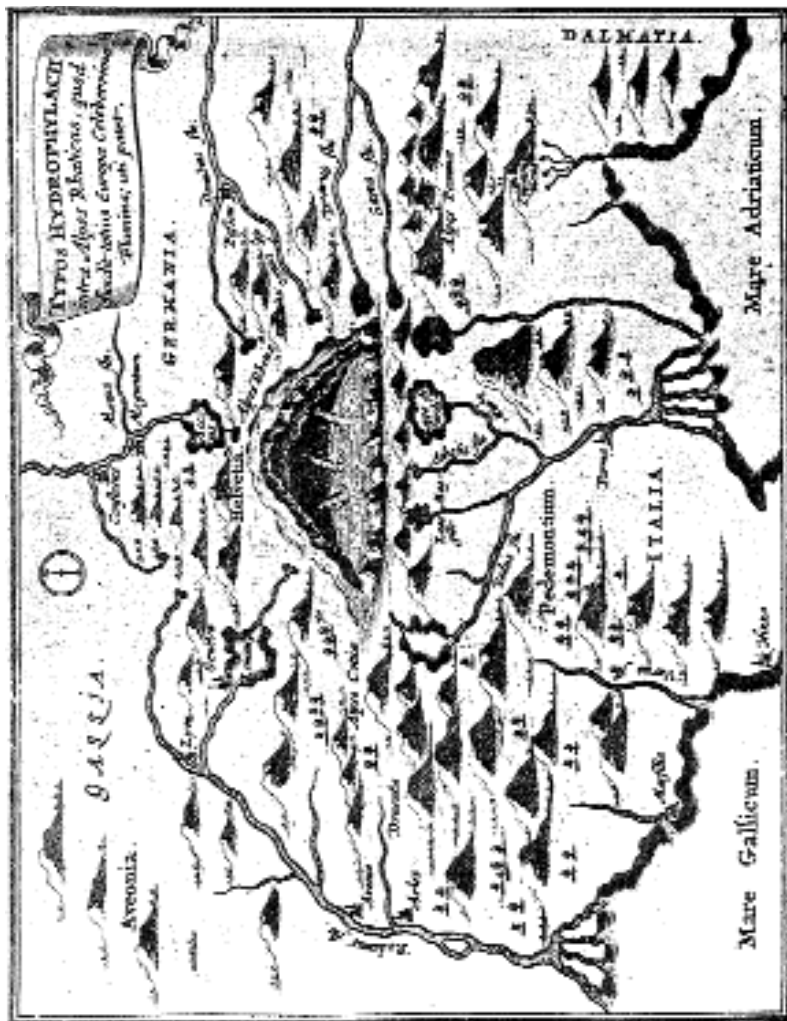


Fig. 6 - Il *Typus Hydrophylacii* del Kircher, che riguarda le Alpi Retiche. Da esso trovano origine tutti i grandi bacini lacustri e i più importanti corsi d'acqua che scendono dal plesso alpino (tomo I, p. 70).

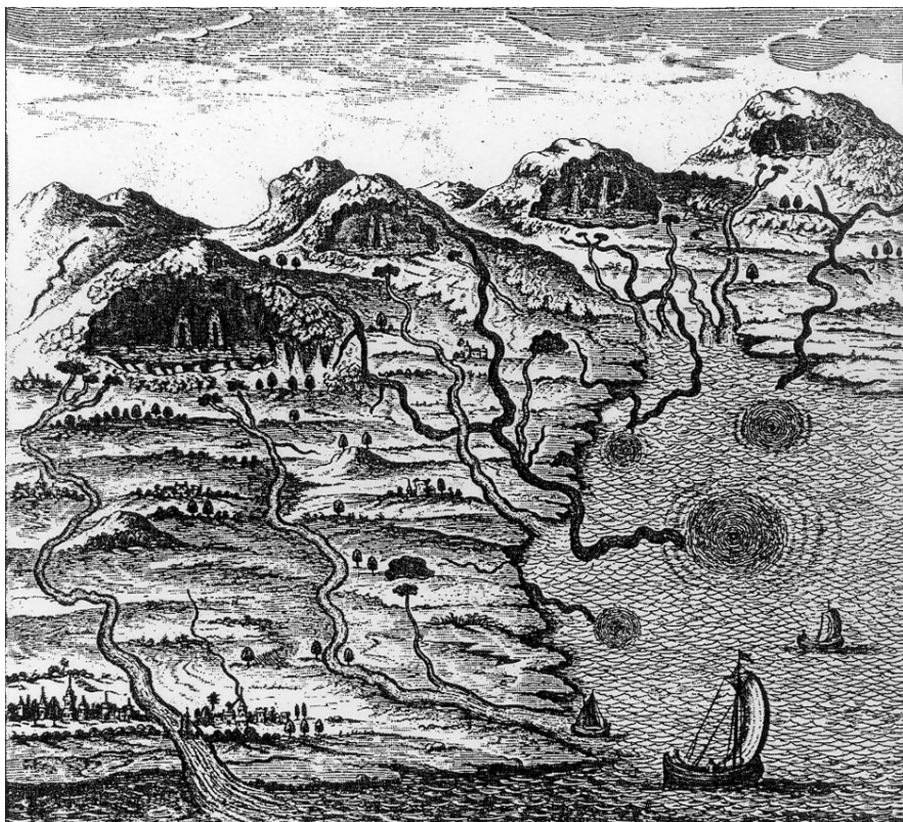


Fig. 7 - Una delle tavole contenute nell'opera kircheriana relative all'origine dei fiumi (tomo I, libro V, p. 254).

cie della terra, possano altresì ricevere l'acque delle piogge, e delle nevi insinuate, sì per li meati delle terre più porose, sì per le fessure de' sassi, che servono di fondamento al terreno; onde, quanto sono più frequenti e copiose le piogge, tanto più cresce l'acqua nei ricettacoli superiori della terra, che più in conseguenza ne somministrano a' fonti».

Molti altri sarebbero i nomi di studiosi che si potrebbero ricordare, più o meno vicini a queste errate opinioni che continuano a persistere, ma usciremo in questo modo dai limiti qui obbligati. Possiamo solo aggiungere che i tempi erano ormai maturi per offrirci una definitiva risoluzione sulla base dell'esperienza. Questo compito spetterà ad Antonio Vallisneri (1661-1730) con il suo celebre discorso *Dell'origine delle fontane*, tenuto come prolusione nell'Università di Bologna nel 1715.

Dopo aver richiamato le opinioni degli studiosi che l'hanno preceduto sin dall'antichità, ed aver fatto riferimento alle proprie molteplici osservazioni ed esperimenti volti ad individuare eventuali perdite di salinità dell'acqua marina, è «certa esperienza» – dichiarerà il celebre naturalista – «che le acque del mare non possono addolcirsi per feltrazione» e che quindi è necessario concordare «co' moderni, che per qualsivoglia mezzo interposto, benché di tessitura molto ristretta, purché trapeli l'acqua comune, traperà ancor la salsa, né perderà mai il suo sale».

Ricordate quindi le esperienze condotte in Francia dall'Accademia Reale delle Scienze dai diversi Perault, Mariotte, Sedileau, de la Hire di assicurarsi della quantità d'acqua che cade dal cielo in un anno, «o in pioggia, o in grandine, o in neve quagliata», per paragonarla poi a quella che corre dentro gli alvei dei fiumi sino al mare, potrà concludere che le acque piovane e le nevi sono «bastantissime per mantenere sempre a ribocco, se copiose cadano, sì le acque delle fontane, sì quelle de' fiumi», e quindi fondare tutto

«su questo puro, e semplice principio, che ogni fonte ed ogni fiume viene dalle acque piovane, e dalle nevi squagliate... Né vi morda lo scrupolo, che posto questo sistema, non si salvi senza un minimo dubitamento l'oracolo del Sacro Testo. Anche così vengono i fiumi dal mare, ed al mare ritornano: cioè il sole, e l'aria fanno che si sollevino sciolte in vapori le acque del mare, i quali si rannano, e si stringono in nuvole, e dalle nuvole grondano le piogge, piombano le grandini, e fioccano le nevi, che formano i fonti, e i fiumi, che ritornano al mare: onde ecco dal mare al cielo, dal cielo a' monti, da' monti al mare un'incessante vertiginosa circolazione dell'acque».

Ed aggiungeva, a suggello della sua lezione quanto anche per noi può essere giusta chiusa di una secolare “peripezia”:

«Se adunque le opinioni di Platone, e di Aristotele, di Epicuro, e di Seneca, di Plinio, e di tutti i padri, e filosofi trasandati, se quella degli embriciati lambicchi, e tutte le altre sognate, o troppo sottilmente ricercate, si sono smentite, e dagli accademici sperimentatori, a forza d'occhio, e di mano, s'è trovata sol vera la prima, che da' savi della Grecia, sino di là da Aristotile, fu proposta; se colla vista, non col pensiero, l'ho confermata, e, quasi dissi, imparata dalla sola natura, non mai ingannatrice maestra, quando solitario sull'erte cime de' monti l'interrogava; se ogni fenomeno più occulto, spettante all'elemento dell'acqua, senza tanti cavilli, e sole da romanzi, si disasconde; se non si turba in tal modo l'ordine della natura, del cielo, degli uomini; e se finalmente il Sacro Testo nel senso esposto regge alle prove: abbracciamo, o valorosi accademici, che oggi vi gravo, e bramo non tanto ascoltanti benigni, che giusti giudici, abbracciamo, dico, un'opinione, perché la più facile, e la più semplice, chiara per l'antichità, insegnata dalla gran madre, confermata dalla ragione, dimostrata dall'esperienza, e dalle sacre carte non discordante».

BIBLIOGRAFIA

- L. LAGO, *Le conoscenze sul ciclo dell'acqua nell'antichità classica e nell'Evo Medio. Per un problema di storia delle scienze geografiche*, Pubblicazioni dell'Istituto di Geografia della Facoltà di Magistero dell'Università degli Studi di Trieste, Extra Serie n. 1, Trieste, Ed. Lint, 1983.