

La presente copia viene fornita all'autore non per scopi commerciali, ma solo per scopi didattici o scientifici senza fini di lucro.

Non deve essere riprodotta o distribuita dall'autore

*Provided for non-commercial research and education use.*

*Not for reproduction, distribution or commercial use*



L'articolo è stato pubblicato sulla rivista *Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater* edita dall'Associazione Acque Sotterranee. L'articolo può essere usato dall'autore per la didattica o per condividerlo con i colleghi. Non può essere riprodotto o inserito in siti web dell'autore o di terze parti nella forma pdf impaginata dalla Casa Editrice. Può altresì essere inserito in formato txt o Word nel sito dell'autore citando la rivista in cui è stato pubblicato e il DOI ad esso collegato

*This article appeared in Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater published by Associazione Acque Sotterranee. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues. Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.*

*Authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository, but it be cited appropriately: the publisher, the name of journal, ISSN and DOI.*

# La sofferta chiusura del cerchio. Il contributo di Edmond Halley all'idrologia

Francesco Luzzini

Edizione Nazionale delle Opere di Antonio Vallisneri  
francesco\_luzzini@yahoo.com

Fra tutti i concetti scientifici che vengono insegnati nelle scuole di ogni genere e grado, il ciclo idrologico (o ciclo dell'acqua) si può considerare uno dei più noti e resistenti alle ingiurie del tempo; fra i pochissimi che hanno qualche probabilità di sopravvivere anche nella memoria di chi, studente, non lo è più da molti anni.

Le cause del successo di questa nozione sono forse da attribuire alla sua relativa semplicità, così aderente al senso comune (al senso comune *attuale*, per la precisione): l'acqua evapora dagli oceani; il vapore forma le nubi; dalle nubi provengono le piogge e le nevi che alimentano i ghiacciai e i corsi d'acqua superficiali e sotterranei, che a loro volta tornano agli oceani, e così via. Ma tanta lineare chiarezza non deve trarre in inganno. Il ciclo idrologico è un meccanismo solo in apparenza semplice, ed è regolato da una tale quantità di fattori chimico-fisici che un'intera disciplina scientifica – l'idrologia, appunto – è preposta al suo studio. I passi che condussero nei secoli alla comprensione di questo fenomeno, d'altronde, non furono pochi, né privi d'errori, vicoli ciechi e ripensamenti. E scorrendo i nomi di coloro che si cimentarono nel non semplice tentativo di svelarne le complesse dinamiche, potrà forse suscitare una certa sorpresa imbattersi in uno scienziato la cui fama è decisamente più legata agli astri che alle acque: Edmond Halley (1656-1742) (Fig. 1).

Sarebbe inutile negare che Halley è celebre per l'omonima cometa e per gli studi astronomici, e non certo per le ricerche idrologiche e meteorologiche. Ma è significativo constatare che, se delle sue 107 pubblicazioni scientifiche il 36% è dominato dall'astronomia, gli scritti riconducibili al vasto campo della geofisica totalizzano una percentuale del 34%. Una fetta per nulla trascurabile, considerando che il terzo ambito di studi più prolifico – la matematica – non oltrepassa il 10% (Malin 1993).

Fra le opere d'ambito geofisico prodotte da Halley, solo una manciata d'articoli riguarda espressamente lo studio delle acque. Ma la loro importanza compensa di gran lunga l'esiguità del numero. L'autore li scrisse in uno dei periodi più stimolanti e scientificamente prolifici della sua carriera: durante il decennio (1686-1696) in cui lavorò alle dipendenze della Royal Society, collaborando con scienziati del calibro di Newton e Hooke. L'appartenenza alla prestigiosissima accademia non solo gli garantì un sicuro spazio editoriale sulle pagine delle "Philosophical Transactions", ma gli permise d'accedere alla lettura di pressoché tutte le maggiori opere scientifiche prodotte a quel tempo in Europa. E limitandoci al campo della sola idrologia, fra queste ve ne furono un paio che attirarono particolarmente il suo interesse, scritte da due rinomati mem-

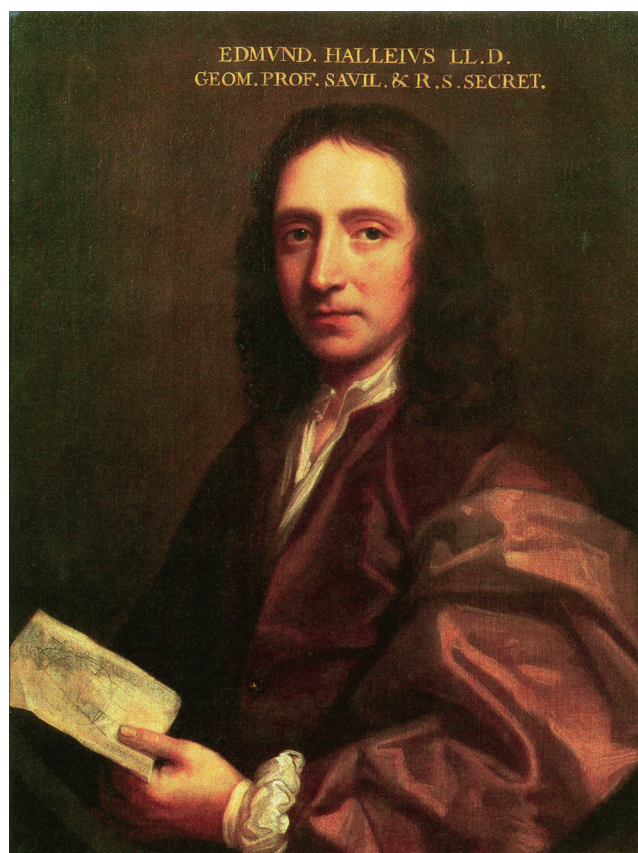


Fig. 1 - Edmond Halley (1656-1742).

bri dell'Académie Royale des Sciences: Pierre Perrault (1611-1680) ed Edme Mariotte (1620-1684).

I trattati di questi due autori, *De l'origine des fontaines* (Perrault 1674) e *Traite du mouvement des eaux et des autres corps fluides* (Mariotte 1686), possono considerarsi i primi tentativi di verificare per mezzo di analisi quantitative l'effettiva capacità delle precipitazioni di rifornire i fiumi e le sorgenti. Un tema centrale per l'epoca, che aveva già coinvolto – e avrebbe coinvolto in seguito – molte fra le menti più brillanti della comunità scientifica europea (Dooge 1974; Dooge 2001; Luzzini 2012). I calcoli eseguiti da Perrault lo indussero ad elaborare un sistema interpretativo per cui erano gli stessi corsi d'acqua ad originare le fonti, supponendo che questi, in una sorta di gigantesco moto perpetuo, fossero capaci di risalire le montagne sotto la spinta della pressione idrostatica e per effetto dello stesso principio di *horrer vacui*, a cui l'autore era fedele. Mariotte, che concentrò le sue misurazioni sulla portata della

Senna e sulla sua dipendenza dai mutamenti climatici e stagionali, sostenne invece che le precipitazioni bastavano a rigenerare sia i fiumi che le sorgenti, e difese l'esclusiva origine meteorica di questi fenomeni.

Halley, intrigato dai lavori dei due francesi, volle analizzare a sua volta un fenomeno atmosferico che, a suo parere, Mariotte e Perrault avevano trascurato. Si concentrò dunque su un altro passaggio del ciclo: l'evaporazione dell'acqua dal mare (Crewe 2003; Dooge 1974; Malin 1993). E fu soprattutto in due articoli, apparsi nel 1687 e nel 1691 sulle "Philosophical Transactions", che egli discusse i risultati delle sue ricerche e correlò esplicitamente il fenomeno dell'evaporazione al concetto di ciclo idrologico. Nel primo contributo, *An estimate of the quantity of vapour raised out of the sea by the warmth of the sun* (Halley 1687), l'inglese descrisse un esperimento da lui condotto presso il Gresham College, in cui misurò il grado d'evaporazione dell'acqua contenuta in una pentola di circa 8 pollici di diametro, mantenuta «allo stesso grado di calore che si può riscontrare nell'aria durante le nostre estati più calde» («to the same degree of heat, which is observed to be that of the air in our hottest summers»). La notevole diminuzione del peso della pentola – e dunque della quantità d'acqua – dopo due sole ore, attentamente misurata («233 grains of water, which in that time had gone off in vapour»), gli permise di valutare un'evaporazione di «6 once in 24 ore» («6 ounces in 24 hours»). Il che, fatte le opportune proporzioni ed estendendo il calcolo all'immensa superficie del Mare Mediterraneo, lo portò a dedurre un'evaporazione giornaliera di 5280 milioni di tonnellate d'acqua. Halley valutò poi la quantità d'acqua immessa ogni giorno nel Mediterraneo dai fiumi: quantità che egli stimò pari a 1827 milioni di tonnellate, vale a dire poco più di un terzo dell'acqua evaporata dal mare dopo 12 ore d'insolazione (Halley 1687).

Lo stesso autore riconobbe che l'approssimazione dei calcoli avrebbe imposto ulteriori misurazioni e verifiche, prima che il ciclo dell'acqua potesse dirsi dimostrato e pienamente compreso. Soprattutto, occorreva indagare sul comportamento del vapore acqueo nell'atmosfera. Questo compito fu assolto in un secondo articolo, *On the circulation of the vapours of the sea and the origin of springs* (Halley 1691): dove Halley, discutendo la spinosa questione dell'origine delle fontane, giudicò le sole piogge incapaci di rifornire interamente le sorgenti. Si schierò dunque a favore di una controversa teoria che era già al centro di furiosi dibattiti a quell'epoca, e lo sarebbe stata ancor più negli anni successivi: quella per cui gran parte dell'acqua delle fonti proveniva dalla condensazione del vapore nelle fredde cavità delle montagne, «come in un alambicco» («as in an alembic»). Un fenomeno già teorizzato da Descartes, e ripreso da Halley per dare una parziale risposta alla disuguaglianza tra la quantità d'acqua evaporata dal mare e quella, secondo suoi calcoli assai inferiore, riportata al mare dai fiumi. Enigma, questo, che per l'autore poteva avere una sola soluzione: se una parte del vapore ricadeva direttamente sul mare sotto forma di pioggia, e un'altra vi tornava per mezzo dei fiumi, una terza parte penetrava nelle caverne dei monti, dove condensava e alimentava le misteriose sorgenti (Halley 1691).

Fu soprattutto l'adesione alla teoria della condensazione sotterranea che indusse l'inglese a non accettare l'ipotesi di Mariotte, per cui le precipitazioni erano l'unica, vera causa di tutte le sorgenti. Eppure, a dispetto di questa presa di distanza, i lavori di Halley diedero un contributo fondamentale allo studio del ciclo idrologico, grazie alla loro enfasi sulla necessità di analisi quantitative che tenessero conto non soltanto delle acque correnti, ma anche dell'evaporazione (Dooge 1974). Un ulteriore, decisivo apporto alla faticosa chiusura del ciclo sarebbe venuto di lì a poco dalla ricerca sul campo, che all'approccio quantitativo avrebbe affiancato l'osservazione diretta degli strati sedimentari e delle sorgenti. Già in quegli anni, infatti, gli studi di Bernardino Ramazzini (1633-1714) sulle fontane di Modena avevano contribuito, e non poco, alla conoscenza delle acque sotterranee e delle loro dinamiche (Ramazzini 1691). Nei decenni e nei secoli successivi le esplorazioni montane e speleologiche di Antonio Vallisneri (1661-1730), gli esperimenti di John Dalton (1766-1844) e di altri scienziati avrebbero permesso di verificare sperimentalmente l'esistenza del ciclo idrologico, integrando i lavori di Mariotte, Perrault e dello stesso Halley. E dimostrando ancora una volta che le conquiste della scienza sono il prodotto di un'impresa umilmente, pazientemente e fragilmente collettiva, ben più – come troppo spesso si immagina – dell'opera geniale e infallibile di pochi, solitari eroi.

## BIBLIOGRAFIA

- Crewe M. (2003) - The fathers of scientific meteorology – Boyle, Wren, Hooke and Halley. *Weather* 2003, 58: 103-107, 135-139.
- Dooge J.C.I. (1974) - The development of hydrological concepts in Britain and Ireland between 1674 and 1874. *Hydrological Sciences Bulletin* 1974, 19: 279-302.
- Dooge J.C.I. (2001) - Concepts of the hydrological cycle. Ancient and modern. In: OH<sub>2</sub>, Origin and History of Hydrology, International Symposium, Dijon, May 9-11, 2001, electronic edition on cd.
- Halley E. (1687) - An estimate of the quantity of vapour raised out of the sea by the warmth of the sun; derived from an experiment shown before the Royal Society at one of their late meetings. *Philosophical Transactions* 1687, 16: 366-370.
- Halley E. (1691) - On the circulation of the vapours of the sea and the origin of springs. *Philosophical Transactions* 1691, 17: 468-473.
- Luzzini F. (2012) - Contro i lambicchi. Antonio Vallisneri e l'origine delle sorgenti. *Acque Sotterranee* 2012, 1: 83-84. DOI: 10.7343/AS-011-12-0011
- Malin S.R.C. (1993) - Edmond Halley – Geophysicist. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 1993, 34: 151-155.
- Mariotte E. (1686) - Traite du mouvement des eaux et des autres corps fluides. Divise en 5. parties. Chez Estienne Michallet, Paris.
- Perrault P. (1674) - De l'origine des fontaines. Chez Pierre Le Petit, Imprimeur & Libraire ordinaire du Roy, rue saint Jacques a la Croix d'or, Paris.
- Ramazzini B. (1691) - De fontium Mutinensium admiranda scaturigine tractatus physico-hydrostaticus. Typis Haeredum Suliani Impressorum Ducalium, Mutinae.