

Attilio Ferrari
Università degli Studi di Torino, Accademia delle Scienze

Acqua e vita

Abstract

The article provides a scientific overview of water as a symbol of energy, life and beauty.

L'acqua è simbolo di energia: gli oceani, le cascate, i fiumi muovono incessantemente. L'acqua è simbolo di bellezza: Afrodite emerge dalle acque. Ma soprattutto l'acqua fin dagli antichi miti è sinonimo di vita, è l'*arché* nella dizione di Talete, l'elemento primo da cui la vita è nata e riceve costantemente alimento. Del Dio biblico si dice che il suo spirito "aleggiava sulle acque" mentre "e tenebre ricoprivano l'abisso" (Gen 1,2). Una meravigliosa rappresentazione del cosmo: la Terra, azzurra, ricca di acque, viva, in un deserto infinitamente grande, ma buio, punteggiato solo di stelle inospitali. L'immagine del *pale blue dot* (fig. 1) trasmessoci dal Voyager 1 nel 1990 da una distanza di 6 miliardi di chilometri mostra proprio questo paesaggio: un piccolo punto azzurro sullo sfondo cosmico nero e desolato, la nostra meravigliosa 'casa', la sola 'casa' dove sappiamo per certo che la vita esiste e si è sviluppata con grande (forse perfino eccessiva?) ricchezza.

Tuttavia oggi le osservazioni astronomiche confermano che molecole d'acqua esistono in quantità nello spazio, non solo su pianeti e satelliti del nostro sistema solare, ma anche nelle nuvole di gas intorno a stelle e galassie. Certo si tratta di molecole di gas, non di acqua allo stato liquido. Ma questo dato suggerisce che la vita può originarsi dappertutto nel vasto spazio buio del cielo, dove stiamo scoprendo pianeti intorno a stelle lontane. È questa una delle domande più intriganti della moderna ricerca astrofisica con interessanti risvolti culturali.

1. Origine dell'acqua

Quando è nata l'acqua nell'universo? La molecola d'acqua è composta da due atomi di idrogeno e uno di ossigeno, H₂O. L'idrogeno è l'elemento primo, con un nucleo composto da un solo protone intorno a cui ruota un elettrone. Queste due particelle, protone ed elettrone, nascono dal big-bang che ha dato origine al nostro universo nell'infinitesima frazione di secondo iniziale in cui l'energia dei campi di forza si realizza in massa. La materia primigenia, il plasma primordiale, viene scagliata in un'espansione frenetica. I nuclei di idrogeno iniziano a interagire per fondersi in nuclei più pesanti e molto elio viene prodotto; ma l'espansione è così rapida che il plasma si raffredda e si disperde, impedendo la formazione di nuclei più complessi. Per andare oltre l'elio bisogna attendere la formazione di stelle da condensazioni locali di plasma che utilizzano la fusione dei nuclei per la loro luminosità, producendo carbonio, ossigeno azoto, silicio su fino al ferro. Le stelle alla fine della loro evoluzione esplodono come supernove rimettendo nello spazio un plasma ricco di elementi più complessi, in particolare di ossigeno, da cui nascono nuove stelle. Solo dopo alcune generazioni stellari avremo pianeti la cui composizione geologica e chimica è dominata da elementi complessi e dove l'idrogeno insieme all'ossigeno può formare l'acqua.

2. L'acqua sulla Terra

Tutta l'acqua del nostro pianeta risale dunque alle molecole contenute nella nuvola primordiale di gas e polveri, il disco protoplanetario, che si condensò a formare il sistema solare circa quattro miliardi e mezzo di anni fa. Quella nuvola era ricca di idrogeno e ossigeno, rispettivamente l'elemento più abbondante e il terzo più abbondante nell'universo (l'elio è il secondo). La maggior parte del gas fu risucchiata nel Sole e nei pianeti 'gassosi' giganti, Giove e Saturno. I pianeti 'rocciosi' Mercurio, Venere, Terra e Marte si arricchirono di composti di carbonio, magnesio, calcio, alluminio, ossigeno, ferro. Ma atomi di idrogeno e ossigeno rimasero liberi in quantità ben maggiori per combinarsi in molecole di acqua.

Eppure dov'è tutta quest'acqua? Mercurio, Venere e Marte non sono certamente pianeti ricoperti da oceani. Il fatto è che la composizione dei pianeti dipende dalla storia della loro formazione. I pianeti rocciosi sono nati dall'aggregazione progressiva di materia nel disco protoplanetario: piccoli granuli di composti complessi si aggregarono in ciottoli che costituiscono massi che diventarono 'planetesimi' di dimensione di qualche chilometro e quindi pianeti di migliaia di chilometri. Planetesimi rimasti allo stadio di pochi chilometri sono quelli che osserviamo come asteroidi e comete. All'inizio della condensazione del sistema solare l'intero disco protoplanetario, fin oltre l'orbita attuale di Plutone, appariva come lo sciame di rocce e ciottoli dell'attuale fascia asteroidale o del disco intorno a Saturno.

I ciottoli erano però diversi a seconda della distanza dal Sole. Nelle regioni interne del disco protoplanetario la materia era soggetta al riscaldamento della radiazione del giovane Sole e all'effetto di attrito per gli urti continui dei ciottoli elementari. Gli elementi più leggeri come l'idrogeno e l'ossigeno liberi evaporarono, lasciando che solo ciottoli di elementi più complessi come le attuali rocce terrestri potessero procedere alla formazione dei pianeti interni. Esiste anche evidenza che la giovane Terra abbia subito una violenta collisione con un 'superciottolo' grande quanto un pianeta che le strappò materia dando origine alla Luna. In tale scontro l'atmosfera terrestre fu spazzata via ed eventuali oceani primordiali furono fatti 'bollire via', cancellando qualunque segno di acqua alla superficie del nostro pianeta. Da dove vengono quindi i nostri oceani?

Nelle regioni più lontane dal Sole e meno dense di materia, oltre l'attuale fascia asteroidale e l'orbita di Giove, le temperature del disco erano basse in modo da permettere all'acqua e ad altri elementi volatili di aggregarsi nei ciottoli rocciosi ghiacciati e comete. L'acqua sulla Terra e di tutto il sistema solare deve quindi provenire da oltre tale linea di separazione, la cosiddetta *snow line* (linea delle nevi). In una fase dell'evoluzione del sistema solare sciame di asteroidi ghiacciati e comete debbono essere stati scagliati verso l'interno della *snow line* dall'azione dinamica dei pianeti giganti. Non sappiamo come ciò sia avvenuto, ma osservando le strutture di altri sistemi planetari, oggi abbiamo evidenza di una passata evoluzione dinamica del sistema solare: Giove e Saturno migrarono verso l'interno del sistema solare

trascinandosi appresso asteroidi ghiacciati, per poi rimbalzare verso le zone esterne dove si trovano ora. Proprio quegli asteroidi ghiacciati e comete bombardando la Terra hanno creato gli oceani (fig. 2).

Ma perché solo la Terra è coperta da oceani? Mercurio, Venere e Marte debbono aver subito lo stesso bombardamento di asteroidi ghiacciati. Su Mercurio quel processo non ha prodotto oceani perché la vicinanza del Sole ha fatto immediatamente evaporare l'acqua. Su Venere l'atmosfera si è arricchita di anidride carbonica per la forte attività vulcanica con lo sviluppo di un fortissimo 'effetto serra' a causa del quale il pianeta è divenuto così caldo che si ritiene che gli antichi oceani siano evaporati, lasciando un'asciutta superficie desertica.

Su Marte il ghiaccio d'acqua è abbondante: i poli marziani ne sono ricoperti e lo strato di *permafrost* (lo strato di terreno permanentemente gelato) si estende fino a basse latitudini. Grandi quantità di acqua sono presumibilmente intrappolate sotto la superficie. Tuttavia la presenza di acqua allo stato liquido è oggi impossibile a causa della sua pressione atmosferica eccessivamente bassa.

Dunque gli oceani terrestri sono un'eccezione, favorita dalle particolari condizioni di distanza dal Sole che permettono all'acqua, una volta arrivata, di mantenersi allo stato liquido. Quanta acqua c'è in realtà sulla Terra? Accumulando tutta l'acqua contenuta negli oceani, fiumi, laghi e ghiacciai possiamo calcolare che riempirebbe una sfera di circa 1300 chilometri di diametro, circa un decimo del diametro della Terra solida; la sua massa sarebbe circa lo 0.02 per cento della Terra solida. Se paragoniamo la massa della Terra solida con quella di un aereo Airbus 380A a pieno carico di quasi 600 tonnellate, la massa d'acqua è pari a un paio di passeggeri! Molecole d'acqua sono anche presenti sotto i nostri piedi, nel mantello della Terra, fino a 3000 chilometri di profondità. Le molecole sono incluse nelle rocce e nei minerali trascinati dai moti geologici. E anche nel nucleo esistono riserve di idrogeno e ossigeno impediti a combinarsi in molecole di acqua a causa delle forti temperature e pressioni. Si stima quindi che molecole d'acqua o suoi atomi componenti rappresentino un altro 0.02 per cento della massa della Terra: quattro passeggeri dunque del Boeing invece di uno solo. L'acqua

non è molta, ma la peculiarità è la presenza di oceani liquidi su ben 2/3 della superficie.

3. *L'acqua dal cielo*

Abbiamo nominato asteroidi ghiacciati e comete come 'portatori d'acqua' sulla Terra. Le due famiglie di possibili 'acquaioli' hanno una diversa storia. Le comete sono 'palle di neve sporca' che sublimano in parte passando nelle vicinanze del Sole creando la loro lunga coda; le comete provengono dalle zone più esterne del sistema solare, oltre l'orbita di Plutone. Inizialmente sono stati considerati i più ovvi acquaioli. Ma le missioni spaziali fin dagli anni '80 hanno mostrato che l'acqua delle comete contiene troppa 'acqua pesante' rispetto all'acqua terrestre. Nell'acqua esiste sempre una percentuale di quest'acqua pesante, cioè di molecole in cui uno degli atomi di idrogeno ha un nucleo fatto di un protone più un neutrone, che si chiama deuterone. La percentuale di acqua pesante dipende dalla temperatura a cui si forma l'acqua: le comete che si sono formate molto lontano dal Sole hanno più acqua pesante dell'acqua terrestre che quindi deve venire da zone più interne del sistema solare (figg. 3-4).

Gli altri acquaioli sono gli asteroidi, rocce di minerali con ghiaccio nel loro interno, frammenti dei quali sono i meteoriti che la Terra raccoglie continuamente ancor oggi, sia pure in piccola dose: provengono dalle regioni del sistema solare spazzate da Giove e Saturno, appena fuori dalla *snow line*. Hanno quindi una percentuale di molecole di acqua pesante più bassa: hanno cioè un'acqua più simile a quella che troviamo sulla Terra. Attualmente perciò i dati li indicano come i candidati più accreditati ad aver formato gli oceani.

Gli asteroidi, che oggi temiamo possano con i loro impatti perturbare catastroficamente il nostro tranquillo pianeta, in passato sono stati visitatori graditi che hanno portato l'acqua che rende la Terra così azzurra: i nostri oceani sono letteralmente venuti dal cielo (fig. 5)!

4. *L'acqua e la vita*

Ma perché l'acqua è fondamentale per la vita? Perché la vita si basa sull'acqua invece che, ad esempio, sul solfuro di idrogeno, H_2S invece che H_2O ? La molecola dell'acqua ha una struttura particolare, con un pesante atomo di ossigeno e due piccoli di idrogeno, il che porta a una dissimmetria della distribuzione delle cariche elettriche: un lato è più positivo, l'altro più negativo. Si parla di struttura di dipolo elettrico. Ciò fa sì che le molecole di acqua tendano ad attrarsi reciprocamente saldandosi le une alle altre con i lati di segno opposto affacciati: si crea il cosiddetto 'legame idrogeno', una forza di coesione che si oppone alla separazione delle molecole.

Il legame idrogeno determina le proprietà caratteristiche dell'acqua, ad esempio estende la temperatura di evaporazione: l'acqua rimane allo stato liquido a temperatura ambiente e fino ai 100 gradi, mentre altre molecole simili, come l' H_2S , che non formano strutture dipolari passano ben prima allo stato gassoso.

Il legame idrogeno determina il perché il ghiaccio galleggia sull'acqua liquida: è più forte a basse temperature e rende la disposizione delle molecole più aperta e il ghiaccio meno denso. Così i pesci possono sopravvivere negli oceani anche quando a basse temperature il ghiaccio si forma in superficie mantenendo la temperatura più confortevole nel fondo.

La coesione delle molecole è l'origine di quella 'pellicola' che osserviamo sulla superficie di uno stagno e grazie alla quale gli insetti vi galleggiano, vi camminano sopra, come se fosse solida. La coesione porta piccole quantità di acqua a raccogliersi in gocce.

La dipolarità delle molecole comporta che esse possano aderire a superfici solide, come si dice, bagnandole e sciogliendone i sali: ecco perché ci laviamo coll'acqua. Quando la forza di adesione è sufficientemente grande l'acqua può salire contro la gravità: vene di acqua possono ascendere lungo membrane cellulari di sezione ridotta, capillari. In tal modo l'acqua può arrampicarsi dalle radici delle piante fino a irrorare e nutrire le foglie trasportando i sali minerali raccolti terreno. Così la pioggia raccolta in terreni ricchi di minerali può divenire succo dell'uva e infine vino: anche quello un miracolo dell'acqua!

5. *Altri pianeti, altre vite*

La chimica ci dice che non esiste altro solvente con capacità di sciogliere e trasportare materiale nutriente più efficientemente dell'acqua: la vita sembra aver bisogno di acqua per esistere e mantenersi, indipendentemente dalle forme che può assumere. I nostri 'fratelli' o 'cugini' cosmici devono avere molto in comune con noi. Dove li troveremo?

Le recenti esplorazioni spaziali hanno suggerito che nel nostro sistema solare Marte possa ospitare forme di vita elementari sotto il *permafrost* e nei prossimi anni alcune sonde proveranno a perforare il terreno in profondità per accertarsene. Allo stesso tempo l'acqua del permafrost consentirà la sopravvivenza degli astronauti. Ma Marte non sarà il solo sito da esplorare. La luna Europa di Giove e la luna Encelado di Saturno hanno una superficie ghiacciata al di sotto della quale esistono oceani: periodicamente esplodono pennacchi di acqua e vapore che arrivano ad un'altezza di 200 chilometri, oltre 20 volte l'altezza del monte Everest. La scoperta dimostrerebbe inconfutabilmente la presenza di un oceano sottostante i ghiacci che viene scaldato, per dinamiche ancora al vaglio degli studiosi (comprendenti forze mareali, pressioni della crosta, attività vulcaniche, pioggia di raggi cosmici, ecc.), fino a fuoriuscire dalla crosta ghiacciata con enormi geysir di vapore acqueo. La vita potrebbe esistere in questo oceano al di sotto del ghiaccio, in un ambiente simile a quello delle sorgenti idrotermali presenti sulla Terra nelle profondità dell'oceano dove le fratture della crosta lasciano fuoriuscire il calore del magma. Allo stato attuale, non ci sono prove che attestino la presenza di forme di vita su Europa e Encelado, ma la presenza di acqua liquida è così attraente da rafforzare le proposte di inviare sonde per investigare.

Dal 1995 è stata rivelata l'esistenza di pianeti intorno ad altre stelle, alcuni di questi di massa vicina a quella terrestre e anche in una posizione rispetto alla stella madre che permette l'esistenza di acqua allo stato liquido. Nei prossimi anni si potranno avere dati sulla composizione atmosferica e quindi sulle condizioni favorevoli alla vita. Certamente in un cosmo così vasto, con centinaia di miliardi di galassie, ciascuna delle quali alberga centi-

naia di miliardi di stelle, l'esistenza di altri mondi dove le condizioni per l'origine della vita appare, anche solo statisticamente, un'ipotesi molto probabile. Tuttavia va anche tenuto presente che, mentre la vita elementare è apparsa sulla Terra meno di un miliardo di anni dalla formazione, poi molto lungo è stato il processo evolutivo per giungere a livelli complessi. E ciò ha richiesto una grande stabilità delle condizioni climatiche da permettere la progressiva, lenta evoluzione dai batteri all'uomo. Ad esempio su Marte queste condizioni non sembrano essere state soddisfatte per le irregolari variazioni dell'asse di rotazione: condizioni che sulla Terra sono state favorite dalla presenza di una Luna di grande massa. Per di più: quanto dura la vita sul pianeta?

La ricerca della vita al di fuori della Terra è una delle sfide più importanti del nostro futuro: l'evidenza di avere 'fratelli' o 'cugini' cambierebbe enormemente la nostra concezione del rapporto coll'universo. E sicuramente l'acqua rappresenterà un *fil rouge* importante da seguire nella nostra esplorazione attraverso gli spazi cosmici.

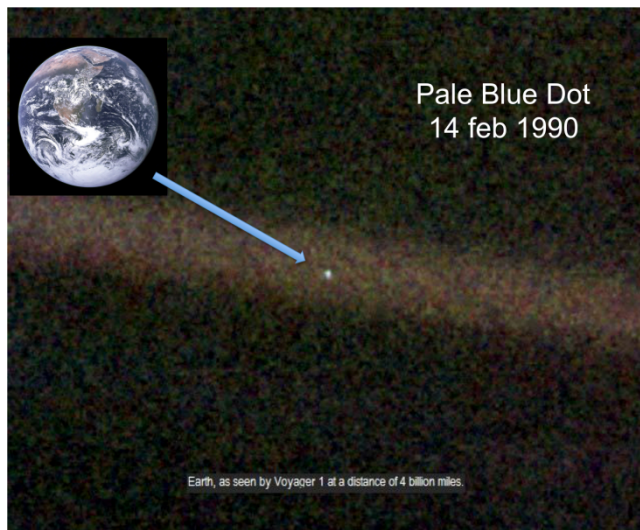


Fig. 1 – Il pallido puntino blu (dal Voyager1)

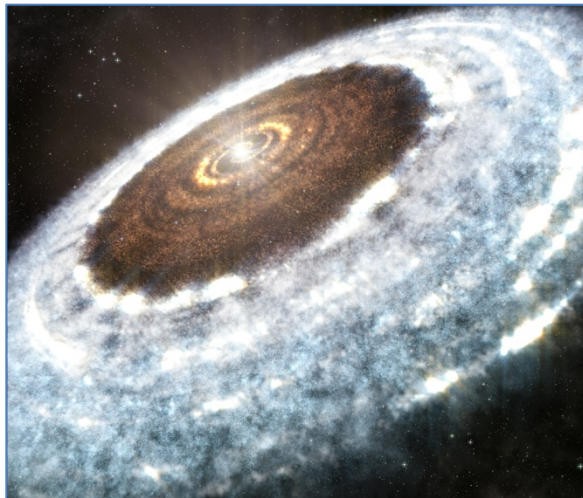


Fig. 2 – Disco protoplanetario con la *snow line*



Fig.3 – Cometa Hyakutake



Fig. 4 – Un asteroide ‘acquiolo’



Fig. 5 – L'acqua dal cielo