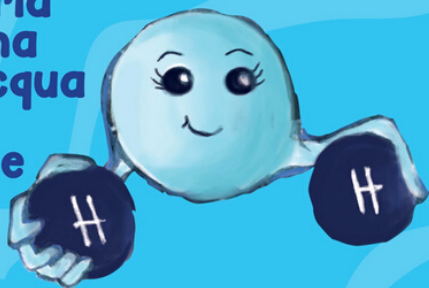


**Gocsettina:  
Corso interattivo  
con audiolibro**

# Gocsettina

La storia  
di una  
molecola d'acqua  
che volle  
esplorare  
il mondo



Testo:  
**Paolo Trivero**

Illustrazioni: **Samina  
Anastasia Celotti**



# **GOCETTINA TORNA NEL CIELO E CADE NEL MARE**

**Scheda 8.**

## **Gocce torna nel cielo e cade nel mare**

### Evaporazione

Come visto nel capitolo 2, l'evaporazione è il passaggio di stato da liquido a quello di vapore. L'evaporazione avviene a qualsiasi temperatura e interessa la sola superficie del liquido, a differenza dell'ebollizione che riguarda l'intera massa e che per ogni sostanza avviene a una ben determinata temperatura (temperatura di ebollizione). Entrambi i processi rappresentano il cambiamento di stato da liquido ad aeriforme e vengono nel loro insieme identificati sotto il nome di vaporizzazione. In natura, l'evaporazione è fondamentale nel ciclo dell'acqua: fiumi, laghi, mari e oceani cedono parte della propria acqua che raggiunge l'atmosfera terrestre sotto forma di vapore. La fonte esterna di calore necessario per l'evaporazione è il sole. L'evaporazione è direttamente proporzionale alla temperatura e inversamente alla pressione di vapore dell'ambiente (umidità relativa): all'aumentare della temperatura aumenta il flusso evaporante e alla saturazione dell'ambiente si raggiunge l'equilibrio, cioè per ogni molecola che evapora in un dato intervallo di tempo, ve ne è un'altra che, nello stesso intervallo temporale, ritorna nella fase liquida. Anche il vento è un fattore che può favorire l'evaporazione.

### Acqua fonte di vita

La vita sulla terra dipende interamente dall'acqua, nel senso che è in assoluto la risorsa naturale più importante per il mantenimento e lo sviluppo di ogni specie vivente. Circa il 70% della superficie terrestre è ricoperta di acqua, ma il 97% di questa, mari e oceani, è salata. Del restante 3% solo una quota inferiore al 1% è utilizzabile per le attività umane, mentre l'altra si trova sotto forma di grandi ghiacciai. L'acqua è dunque un bene prezioso e andrebbe "protetta" e "recuperata", in quanto si tratta di una risorsa limitata. Solo una piccola parte è fruibile dall'uomo e anche con grande disparità. Il 29% degli uomini non ha acqua sicura da bere e milioni di persone vivono costantemente in situazioni di estrema siccità, con campi agricoli aridi e rubinetti a secco. La gestione dell'acqua riguarda la politica, sia a livello dei governi nazionali che a livello locale, ma riguarda molto i comportamenti e le scelte che ogni singolo individuo può e deve adottare.

### Molecola d'acqua: nuclei ed elettroni

La materia è costituita da particelle piccolissime (atomi e molecole). L'atomo è formato da un nucleo centrale ove è concentrata praticamente l'intera sua

massa, e da particelle microscopiche, denominate elettroni, che “orbitano” intorno al nucleo. Il nucleo atomico è composto da due tipi di particelle: i protoni e i neutroni, la cui massa è quasi uguale (leggermente maggiore per i neutroni). L'insieme di protoni e neutroni costituisce la massa atomica. I protoni hanno carica elettrica positiva e il numero atomico ( $Z$ ) rappresenta il numero di protoni presenti nel nucleo. I neutroni hanno carica elettrica nulla. Gli elettroni, invece, hanno carica elettrica negativa e in un atomo in condizioni di stabilità ed elettricamente neutro, il numero di elettroni corrisponde al numero di protoni nel nucleo. La molecola d'acqua è composta da un atomo di ossigeno e da due atomi di idrogeno, e la sua formula chimica è  $H_2O$ . L'atomo di idrogeno è l'elemento più semplice della tavola periodica degli elementi: il suo nucleo contiene un unico protone e non possiede neutroni. Intorno al nucleo “orbita” un solo elettrone. L'ossigeno ha numero atomico 8 e numero di massa 16: il suo nucleo, dunque, contiene 8 protoni e 8 neutroni. Naturalmente anche il numero degli elettroni è 8. Nell'acqua il legame a formare la molecola avviene grazie alla condivisione dei due elettroni degli atomi di idrogeno con quelli dell'ossigeno.

### Instabilità atmosferica

L'instabilità atmosferica è una condizione favorevole allo sviluppo dei moti convettivi (cioè il moto di un fluido che riscaldatosi tende a salire, v. cap. 1) e con essi i fenomeni associati come nuvolosità a sviluppo verticale di diversa tipologia (convettiva, cumuli e cumulonembi), che possono dar luogo a rovesci e temporali più o meno diffusi. Tale condizione si verifica soprattutto nella stagione estiva e primaverile, soprattutto nelle ore pomeridiane e serali, nelle zone interne e in prossimità dei rilievi montuosi, oppure in presenza di un intenso soleggiamento e/o aria umida al suolo, tipicamente associato anche a contrasto termico di masse d'aria più fredda in quota che, più pesanti, si ritrovano a controbilanciare masse di aria calda più leggere che si sollevano dal suolo. D'inverno l'instabilità atmosferica è più comune sui mari per via di masse d'aria più miti riscaldate dalla massa d'acqua sottostante.

### Vortici

Il vortice è il moto rotatorio, spesso turbolento, di un fluido (v. cap. 3). Il fenomeno, molto comune, è piuttosto complicato da descrivere fisicamente. Un esempio di vortice è il tornado, o il moto dell'acqua che si genera nel lavandino togliendo il tappo. Il vortice si forma grazie alla traiettoria di molte particelle di un fluido che, seguendo movimenti a spirale, convergono in un punto detto “nucleo del vortice”.

La figura del vortice è tra le più complesse, tenuto conto che ne esistono di diverso tipo. Su grande scala si hanno i vortici atmosferici ed oceanici il cui verso di rotazione è antiorario nell'emisfero boreale, mentre è orario nell'emisfero australe: ciò è dovuto alla forza di Coriolis che nasce a causa della rotazione della terra.

### Gradiente termico con la quota

Il gradiente termico verticale è il valore che dice quanto varia la temperatura dell'aria al variare della quota. Il gradiente termico verticale ha solitamente valore negativo, ovvero la temperatura diminuisce all'aumentare della quota. Se nei primi strati la diminuzione è superiore a 10°C ogni 1000 metri (1°C/100 m), l'aria è instabile (succede in caso di temporali); se è inferiore, l'aria è stabile. Se il gradiente è positivo, si parla di inversione termica, situazione in cui l'aria è più calda in quota che al suolo; se è nullo, si è nel caso di isotermità (temperatura atmosferica costante, nell'intero strato atmosferico considerato). Un importante tipo di gradiente termico è il "gradiente termico adiabatico", che fa riferimento alla variazione della temperatura di una particella d'aria che si muove verso l'alto (o verso il basso) nell'atmosfera senza scambiare calore con le masse d'aria vicine. Si può distinguere un gradiente adiabatico secco, quando vi è una diminuzione di temperatura di circa 9,8°C per ogni 1000 metri di altezza e un gradiente adiabatico saturo (una volta raggiunta la condizione di saturazione ovvero umidità relativa del 100%), quando la diminuzione per ogni 1000 metri è di circa 6°C.

### Fulmine

Il fulmine è un fenomeno legato all'elettricità atmosferica, che consiste in una scarica elettrica di grandi dimensioni che si instaura fra due corpi con elevata differenza di potenziale elettrico. I fulmini più comuni sono quelli fra nuvole e suolo. Essi vengono prodotti dalle correnti che all'interno delle nubi caricano di elettricità statica le particelle di acqua. Incontrandosi, le cariche positive del suolo e quelle negative delle nubi, generano una scarica elettrica pari a 100 milioni di volt. Sono state studiate varie cause che coinvolgono le perturbazioni atmosferiche, come vento, umidità, attrito e pressione atmosferica, ma anche l'impatto di particelle provenienti dal vento solare. Anche le particelle di ghiaccio all'interno delle nuvole sono ritenute essere un elemento fondamentale nello sviluppo dei fulmini, in quanto possono provocare la separazione forzata delle particelle con cariche positive e negative, contribuendo così all'innescamento della scarica elettrica. I fulmini possono essere di tipo discendente o ascendente, cioè partire dall'alto verso la terra o viceversa.

## Tuono

Il tuono è il rumore provocato dal fulmine, che in funzione della sua natura e della distanza dell'osservatore, può manifestarsi come un colpo secco e molto forte oppure come un rombo cupo e prolungato. Il fulmine causa un forte e repentino aumento della pressione e della temperatura, che a sua volta provoca la rapida espansione del canale ionizzato prodotto dal fulmine stesso: l'espansione dell'aria produce infine un'onda d'urto che si manifesta col rumore del tuono. Molte furono le teorie sulle cause del tuono, a partire da Aristotele (3° secolo a.C.) che attribuiva il tuono ad una collisione fra nuvole. L'ipotesi più realistica si affermò nel 20° secolo: il tuono è causato dall'enorme spostamento d'aria provocata dal fulmine nell'atmosfera a seguito dell'improvvisa espansione termica del plasma, cioè del gas ionizzato. In una frazione di secondo, l'aria viene portata a circa 30.000°C: ciò provoca la sua espansione verso l'aria circostante più fresca a una velocità superiore a quella che avrebbe il suono nell'aria fresca. Ne segue un'onda d'urto, simile a quella provocata da un'esplosione o dal fronte di un aereo supersonico. Ed è proprio l'onda d'urto che genera il tuono.

## Formazione delle gocce

In determinate condizioni di temperatura e pressione, un dato volume d'aria può contenere vapor acqueo solo fino a una certa quantità, raggiunta la quale si ha la saturazione. Se il vapor d'acqua aumenta si ha la condensazione. Ma nelle nubi anche in condizione di saturazione le gocce non riescono a formarsi e tendono ad evaporare perché troppo piccole. Sono necessari nuclei di condensazione che sono presenti nelle nubi: gli aerosol. Una nube è formata da miliardi di goccioline d'acqua ciascuna delle quali ha un diametro di 20-40 millesimi di millimetro e contiene circa 500 miliardi di molecole d'acqua. Tuttavia, affinché si possa verificare la precipitazione è necessario che la forza peso delle gocce sia superiore alla resistenza opposta dal moto ascendente che ha determinato la formazione della nuvola stessa e che tende a mantenerle in sospensione. Una volta formate, le goccioline tendono ad unirsi durante il saliscendi dovuto alle correnti ascendenti e alla caduta per gravità, finché il loro peso è sufficiente a farle precipitare. Le gocce possono essere di svariate dimensioni, tuttavia in genere oscillano tra gli 0,5 millimetri di diametro della pioviggine ai 6 millimetri dei goccioloni più grandi. Servono centinaia di milioni di goccioline di nube per formare una goccia di pioggia di qualche millimetro.

## Mare

Il mare è il complesso delle acque salate che circondano le terre, i continenti e le isole. La quantità totale di acqua presente negli oceani è pari a un volume di circa 1.332 milioni di chilometri cubi. La profondità media degli oceani si aggira intorno ai 3.700 metri, con il massimo di profondità oltre gli 11.000 metri. Molte sono le caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua di mare, e queste caratteristiche influenzano alcuni fenomeni che in essa si verificano e la vita degli organismi che vi abitano. Tra queste caratteristiche vi è la salinità, la densità, la temperatura, la pressione, il colore e la trasparenza delle acque.

## Onde

Quando sulla superficie dell'acqua del mare soffia il vento si formano le onde. Si tratta di un moto ondulatorio della superficie che non trasporta l'acqua ma la fa semplicemente oscillare. Sono queste oscillazioni che si propagano con velocità diversa a seconda della lunghezza d'onda che può andare da pochi millimetri (onde capillari) a centinaia di metri (onde di gravità). Le onde, oltre che per il vento, possono formarsi per l'azione delle maree dovute all'attrazione della luna e del sole sulle masse oceaniche, dalle correnti marine e in alcuni casi dagli eventi sismici con formazione degli tsunami.

## Interfaccia aria mare

L'interfaccia aria mare è un sottile strato confinato tra la superficie del mare e l'aria sovrastante in cui si manifestano moltissimi fenomeni. Grazie alla posizione privilegiata questo strato è anche sede di intensa attività biologica. La comprensione dei fenomeni che avvengono all'interfaccia è fondamentale per lo sviluppo dei modelli di clima-moto ondoso; le previsioni del moto ondoso; l'accoppiamento della quantità di moto dell'onda dal vento; lo scambio termico e di massa (principalmente vapor d'acqua ma anche aerosol, ecc.) e i processi di scambio dovuti alle piogge marine. Inoltre la comprensione degli scambi nell'interfaccia aria-oceano è importante per la previsione del cambiamento climatico, poiché il CO<sub>2</sub> è in continuo ingresso e uscita dall'interfaccia e una piccola variazione di questa condizione può portare all'aumento dell'effetto serra.

## Generazione delle onde di vento

Quando il vento soffia sul mare provoca inizialmente una piccola increspatura. Via via il vento incrementa la cessione della sua energia per pressione ed attrito.

Lo strato della superficie forzato a muoversi tende a trascinare con sé lo strato sottostante, più lento, e si formano le onde. In mare aperto dove vi sono fondali profondi le oscillazioni delle particelle d'acqua sono soggette a soli movimenti circolari (non si ha trasporto d'acqua). Sotto l'azione del vento le onde crescono al passare del tempo fino ad arrivare a un equilibrio tra la velocità dell'onda massima e quella del vento. La dimensione delle onde dipende principalmente dalla forza del vento e dall'estensione del bacino d'acqua interessato nel tempo di applicazione del vento. Quando cessa il vento l'energia accumulata dalle onde fa continuare il moto ondoso (mare morto). Man mano che l'onda si avvicina alla costa subisce un rallentamento dovuto all'attrito con il fondo, dissipando solo parte dell'energia ed orientandosi perpendicolarmente alla costa deviando la traiettoria come fa la luce al cambio di velocità (v. cap. 3).

#### Moto trasversale e longitudinale (rotatorio) delle onde

Sebbene l'impressione che si ha è che l'onda abbia un moto oscillatorio di sola salita e discesa, il movimento reale, come è stato detto, è un moto circolare delle particelle d'acqua. Da un punto di vista matematico, l'onda prodotta può essere scomposta in una componente orizzontale e in una verticale. In entrambe le componenti si ha un moto oscillatorio: parallelo alla direzione di propagazione (longitudinale) e perpendicolare alla direzione di propagazione (trasversale). Se si osserva un piccolo oggetto galleggiante su un'onda si potrà distinguere questo moto rotatorio con le due oscillazioni in fase presenti. Questo moto, all'avvicinarsi della costa i cui fondali sono bassi, diventa ellittico, l'onda diminuisce la sua velocità aumentando negli ultimi metri prima della costa la sua ampiezza fino a frangersi.

#### Scambio gassoso all'interfaccia

Lo scambio di gas è il processo fisico in cui i gas si muovono attraverso una superficie. Questa superficie può essere l'interfaccia aria/acqua o una qualsiasi membrana. Lo scambio di gas tra atmosfera e superficie marina e viceversa è un processo controllato principalmente dalla differenza di concentrazione di gas e dal coefficiente di scambio (che determina la velocità con cui una molecola di gas può spostarsi attraverso il confine mare-atmosfera). In caso di variazioni di concentrazione si giunge a un nuovo equilibrio di questi scambi. Come esempio si può citare l'aumento della CO<sub>2</sub> in atmosfera che determina un incremento di una frazione di questo gas che entra in mare. Un aumento di temperatura del mare tuttavia favorisce la fuoriuscita di CO<sub>2</sub>.



## Schiume

La schiuma del mare è dovuta alla agitazione dell'acqua, specialmente quando contiene concentrazioni elevate di sostanza organica disciolta che fa variare la tensione superficiale. Quando la superficie dell'acqua di mare è agitata dalle onde che si rompono per effetto del vento forte o che si infrangono a riva, i tensioattivi in queste condizioni turbolente intrappolano l'aria, formando persistenti bolle che aderiscono tra loro per la tensione superficiale. Le piccole bolle che si formano si dissolvono portando ad elevati rapporti dei gas disciolti nel mare. La rottura delle onde e quindi le schiume contribuiscono notevolmente allo scambio di gas tra mare e aria e all'emissione di aerosol in atmosfera.

## Ossigeno (O<sub>2</sub>)

Il contenuto di ossigeno disciolto in acqua è circa 8-10 ml (millilitri) per litro rispetto a quello dell'aria che è di 210 ml per litro. Nei mari si possono trovare molte forme di vita, tra cui vegetazione e animali. La vita nell'acqua marina è possibile perché vi sono due gas disciolti, l'ossigeno e l'anidride carbonica. Questi gas servono ai due processi che garantiscono la vita agli esseri viventi che popolano il mare: la respirazione e la fotosintesi clorofilliana in particolare delle alghe. I pesci respirano l'O<sub>2</sub> disciolto nell'acqua di mare. Senza le correnti marine, l'ossigeno sarebbe presente solo nei venti metri più superficiali, per diffusione dall'aria sovrastante, ma grazie a questi movimenti (importantissime le correnti oceaniche) l'ossigeno arriva anche in zone molto profonde. In alcuni mari, relativamente "chiusi" e poco soggetti a maree e correnti profonde, come il Mar Nero, in profondità l'ossigeno è assente.

## Respirazione – ossidazione

La respirazione è un processo biochimico del metabolismo energetico degli organismi aerobici, il cui metabolismo è basato sull'utilizzo di ossigeno bi-atomico O<sub>2</sub>. Negli organismi anaerobici il metabolismo non richiede la presenza di ossigeno molecolare O<sub>2</sub>, che anzi potrebbe risultare per tali organismi addirittura dannoso. Il metabolismo energetico aerobico consuma ossigeno e produce biossido di carbonio (anidride carbonica). Per respirazione si intende anche la funzione biologica di scambio di gas tra organismo e ambiente esterno, con assorbimento dell'ossigeno ed emissione di biossido di carbonio. L'ossidazione si ha quando un elemento chimico subisce una sottrazione di elettroni. L'elemento che sottrae elettroni subisce il complementare processo di riduzione.

La maggior parte delle reazioni di ossidazione comportano lo sviluppo di energia sotto forma di calore, luce o elettricità.

### Anidride carbonica

L'anidride carbonica  $\text{CO}_2$  (v. cap.7), nota pure come biossido di carbonio o, più correttamente, diossido di carbonio, è un ossido acido, la cui molecola è formata da un atomo di carbonio legato a due atomi di ossigeno formanti un angolo di 180 gradi (molecola non polare). Il  $\text{CO}_2$  è una molecola fondamentale nei processi vitali di piante e animali; è coinvolta nella fotosintesi e viene prodotta durante la respirazione, oltre ad essere prodotta nella maggior parte delle combustioni.

### Pressione di vapore

Abbiamo visto che alcune particelle di liquido provviste di energia cinetica più elevata delle altre raggiungono la superficie e riescono a vincere le forze attrattive esercitate su di esse dalle altre molecole, passando allo stato di vapore. In un sistema chiuso il vapore esercita una pressione sul liquido e si stabilisce un equilibrio tra il numero di particelle che passano allo stato di vapore e il numero di particelle di vapore che ritornano nel liquido per condensazione. La pressione di vapore (o tensione di vapore, o più propriamente pressione di vapore saturo) di una sostanza è la pressione esercitata dal vapore della sostanza.