

METEOROLOGIA

Trasformazioni adiabatiche in atmosfera

Durante una trasformazione adiabatica il sistema non scambia calore con l'ambiente, per cui le variazioni di energia interna dipendono direttamente dal lavoro termodinamico effettuato sul sistema o dal sistema. Si può dimostrare che, se un gas perfetto compie una trasformazione adiabatica, la sua pressione e il suo volume sono legati dalla relazione:

$$pV^\gamma = \text{costante}$$

dove $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ è il rapporto tra il calore specifico del gas nelle trasformazioni in cui la pressione è costante e il calore

specifico del gas nelle trasformazioni in cui è costante il volume (in generale il calore specifico dei gas è diverso da una trasformazione all'altra).

In atmosfera spesso le masse d'aria si spostano in verticale, subendo trasformazioni nelle quali gli scambi di calore con l'ambiente circostante possono essere trascurati: sia perché l'aria (soprattutto quella secca) è un cattivo conduttore di calore, sia perché esse avvengono molto velocemente. Analizziamo dunque alcune situazioni particolari in questa approssimazione, facendo riferimento alla formula per le trasformazioni adiabatiche di un gas perfetto.

Lo Stau

Quando un vento orizzontale incontra uno sbarramento verticale, come un'alta montagna, la massa d'aria è costretta forzatamente alla risalita lungo il versante d'incidenza (sopravvento). Se la trasformazione è rapida può essere considerata adiabatica e quindi, all'aumentare della quota, dato che la pressione diminuisce, il volume della massa d'aria aumenta, affinché il prodotto pV^γ resti costante. Alla dilatazione adiabatica corrisponde una diminuzione dell'energia interna, cioè della temperatura. La massa d'aria si raffredda rapidamente fino a raggiungere la temperatura di condensazione: si formano pertanto numerose nubi, con fenomeni di precipitazioni e maltempo sul versante sopravvento.

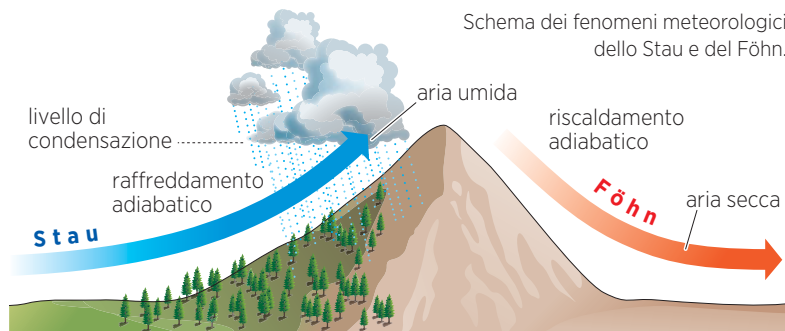
Tale condizione è detta Stau ed è comune nelle Alpi, quando sui versanti meridionali incidono i venti carichi di acqua provenienti dalle regioni mediterranee; oppure quando la catena fa da sbarramento ai freddi venti settentrionali provenienti dall'Europa continentale.

Il Föhn

Quando su un versante si verifica il fenomeno dello Stau, con vento freddo ascendente, maltempo e precipitazioni, sul versante opposto le condizioni meteorologiche sono migliori. L'aria, infatti, perde sotto forma di pioggia o neve la sua umidità e, quando supera lo sbarramento, ridiscende lungo il fianco della montagna riscaldandosi. La trasformazione è in questo caso una compressione adiabatica con aumento della pressione e della temperatura. Sul versante sottostante si verifica quindi il fenomeno del Föhn, caratterizzato da un vento discendente secco e caldo, che provoca a volte il rapido scioglimento della neve.

Un intenso episodio di Föhn ha interessato la Pianura Padana nella giornata del 9 novembre 2007. Nella fotografia da satellite si vede l'ampia zona di sereno a sud delle nubi alpine dovute a venti settentrionali.

Schema dei fenomeni meteorologici dello Stau e del Föhn.



2007 EUMETSAT

DOMANDA Nel fenomeno dello Stau l'aria risalendo lungo il fianco di una montagna si raffredda e l'acqua in essa contenuta condensa. Come contribuisce alla variazione di temperatura tale condensazione?

BIOLOGIA

L'energia della vita

Tutti gli organismi viventi crescono e si riproducono, utilizzando energia. Questa non si crea dal nulla ma, nel rispetto del principio di conservazione, è frutto di trasformazioni che avvengono in minuscole, complesse ed efficientissime centrali: le cellule. Nelle cellule l'energia potenziale chimica è trasformata e utilizzata per tutte le funzioni vitali.

Gli organismi viventi

Le funzioni vitali di tutti gli organismi viventi richiedono energia: dallo sviluppo alla riproduzione, dal trasporto dei metaboliti alla sintesi delle biomolecole. Tale necessità viene soddisfatta tramite strategie nutritive diverse. I vegetali trasformano l'energia del Sole per mezzo della fotosintesi, convertendo l'acqua e l'anidride carbonica in zuccheri. Gli animali (compreso l'uomo) prendono l'energia chimica contenuta nelle biomolecole derivate dagli alimenti e la trasformano in energia metabolica (trattenuta in molecole ad alto contenuto energetico, come l'ATP). Le sostanze nutritive che gli animali introducono con la dieta hanno un diverso contenuto calorico, liberano cioè diverse quantità di energia. Gli alimenti a più alto contenuto energetico sono i grassi (o lipidi) e i carboidrati (o zuccheri), che vengono metabolizzati durante la digestione e convertiti da sostanze complesse a molecole più semplici, in grado di entrare nelle singole cellule e qui subire ulteriori trasformazioni chimiche.

L'ATP: un veicolo di energia

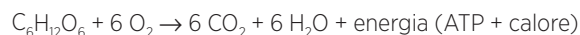
La principale fonte di energia per le cellule è il glucosio (uno zucchero semplice), che viene degradato attraverso una serie di reazioni allo scopo di produrre l'ATP (adenosintrifosfato), una molecola ad alto contenuto energetico. L'ATP è la «moneta di scambio» per lo svolgimento delle reazioni metaboliche della cellula ed è composta da adenina (una base azotata), ribosio (uno zucchero semplice) e 3 gruppi fosfato (PO_4^{3-}). L'ATP viene prodotto nella cosiddetta «respirazione cellulare», e in seguito libera la propria energia attraverso alcune reazioni, rendendo possibile un processo metabolico, altrimenti energeticamente sfavorito, utile alla vita della cellula e dell'intero organismo.

Come viene prodotto l'ATP?

L'ATP viene prodotto tramite una serie di reazioni chimiche, dette nell'insieme respirazione cellulare, che portano alla rottura dei legami del glucosio:

- la glicolisi (che avviene in assenza di ossigeno, nel citoplasma delle cellule);
- il ciclo di Krebs, la catena di trasporto degli elettroni;
- la fosforilazione ossidativa (che avviene in presenza di ossigeno, nei mitocondri).

Una reazione di respirazione cellulare completa, qui descritta mediante un'unica formula chimica, produce circa 32 molecole di ATP:

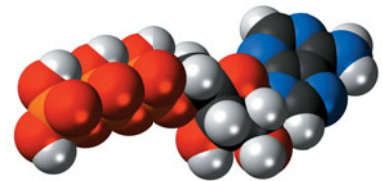


Iakov Kalinin / Shutterstock



Skyline / Shutterstock

Le piante trasformano direttamente l'energia del Sole con la fotosintesi; gli animali trasformano l'energia contenuta nei cibi.



Molecola di ATP.

DOMANDA La completa utilizzazione degli acidi grassi fornisce circa 9 kcal/g, mentre i carboidrati forniscono circa 4 kcal/g (come le proteine). Sai spiegare, quindi, perché una dieta equilibrata deve avere un ridotto apporto di grassi?

CON GLI OCCHI DI UN FISICO

Il sistema Terra

L'atmosfera

La Terra è un grande sistema termodinamico piuttosto complesso, con meccanismi di funzionamento interconnessi difficilmente schematizzabili mediante un modello semplice. Questa complessità deriva principalmente dalla presenza di un'atmosfera che influenza in modo determinante gli scambi energetici tra le parti solida e liquida del pianeta e lo spazio esterno. Anche per la Terra, infatti, vale il primo principio della termodinamica per cui la variazione di energia interna, e quindi della temperatura, dipende dalla differenza tra i flussi energetici entranti e quelli uscenti, che sono mediati dall'involucro gassoso che avvolge il pianeta. Così come gli abiti per un essere umano, l'atmosfera riduce le differenze di temperatura tra il giorno e la notte schermando le radiazioni in entrata e in uscita: sulla Luna, che non ha un'atmosfera, la differenza tra la temperatura delle zone illuminate e delle zone buie è di circa 350 °C.

In entrata

L'energia proveniente dal Sole, sotto forma di radiazione elettromagnetica, raggiunge la superficie terrestre in misura ridotta. Parte viene riflessa dalle nuvole e dalle particelle solide e liquide in sospensione (i cosiddetti «aerosol») e parte viene assorbita dall'atmosfera stessa: dagli aerosol, per esempio, ma anche dall'ozono, una molecola composta da tre atomi di ossigeno (O_3) che si forma, viene distrutta e si riforma a partire dall'ossigeno (O_2), a circa 30 km di quota, in un processo che avviene per mezzo di determinate radiazioni ultraviolette.

L'atmosfera assorbe quindi parte della radiazione in entrata e la sua temperatura aumenta rispetto agli strati sottostanti.

Parte della radiazione che raggiunge la superficie terrestre ne viene infine riflessa, in misura diversa, a seconda delle caratteristiche delle superfici sulle quali incide (boschi, ghiaccio, deserto, zone urbane): di fatto la Terra assorbe, in media, meno del 50% dell'energia che raggiunge gli strati più alti dell'atmosfera.

In uscita

Di giorno quindi l'energia solare assorbita tende a far aumentare la temperatura del pianeta rispetto agli strati di atmosfera sovrastanti. Ciò comporta propagazione di calore principalmente per convezione e irraggiamento dalla Terra all'atmosfera: le masse d'aria più calde e meno dense si muovono verso l'alto, mentre la superficie, una volta scaldatasi, comincia a emettere radiazione infrarossa. Altra energia viene trasportata dalla superficie all'atmosfera sotto forma di calore latente, che viene rilasciato durante la condensazione del vapore acqueo nelle nubi. Anche l'atmosfera, quindi, si riscalda e insieme alla Terra emette radiazione infrarossa diretta verso l'esterno più freddo.

Tuttavia non tutte queste radiazioni riescono effettivamente ad abbandonare il sistema: buona parte di esse viene assorbita e riemessa dai cosiddetti «gas serra», costituenti dell'atmosfera non trasparenti all'infrarosso. Come i vetri di una serra, questi gas intrappolano l'energia irraggiata negli strati più bassi dell'atmosfera, favorendone il riscaldamento. In definitiva, la Terra emette circa il 70% dell'energia ricevuta, trattenendone quindi il 30%.



La vita sulla Terra è strettamente legata alle condizioni climatiche, che sono governate da meccanismi complessi e delicati sui quali è difficile fare previsioni, ma proprio per questo è importante acquisirne consapevolezza.

PAROLA CHIAVE Stato termodinamico

DOMANDA È possibile definire lo stato termodinamico dell'atmosfera terrestre? Motiva la risposta in 5 righe.

PAROLA CHIAVE Trasformazione termodinamica

DOMANDA Immaginando di poter definire lo stato termodinamico dell'atmosfera terrestre, quali variabili di stato cambierebbero in seguito all'aumento della sua temperatura?

Di nuovo in entrata

Questo fatto è di vitale importanza, perché durante la notte viene a mancare l'irraggiamento solare e il flusso energetico si inverte. L'atmosfera, che ha immagazzinato energia durante il giorno, inizia a cedere calore alla superficie che quindi si raffredda in misura molto minore rispetto a quanto si raffredderebbe in sua assenza. L'effetto serra, in un certo senso, collabora, insieme con la grande capacità termica dell'acqua degli oceani, a mitigare gli sbalzi di temperatura tra il giorno e la notte, limitando le perdite di energia.

Surriscaldamento globale

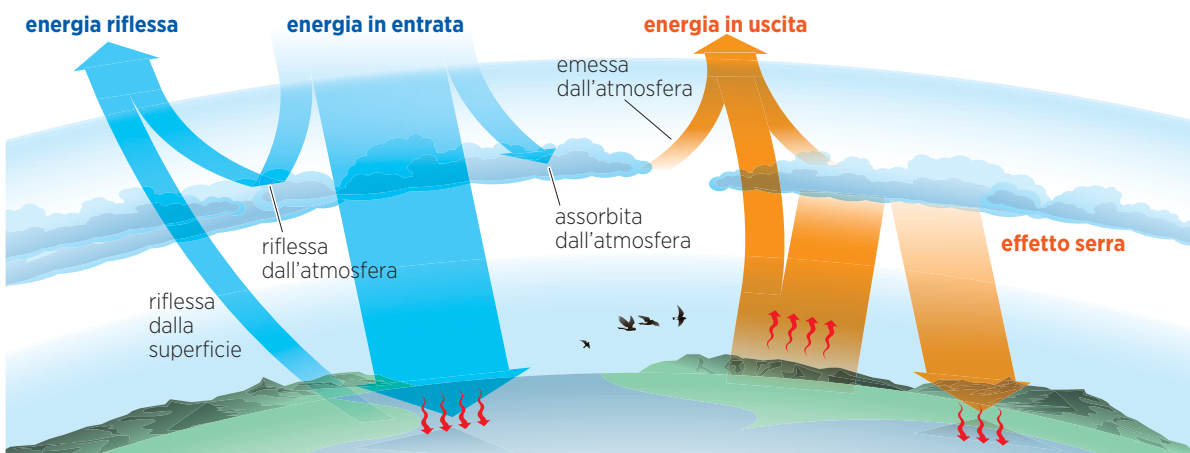
Se l'effetto serra è un bene per il pianeta, perché preoccuparsi di un suo eventuale aumento? Ovviamente il beneficio finisce nel momento in cui il bilancio globale, diurno e notturno, tra l'energia in entrata e quella in uscita è sistematicamente positivo. Se il sistema Terra disperde nello spazio sempre un quantitativo di energia minore di quella che riceve dal Sole, a lungo andare la sua temperatura media aumenta in modo evidente.

Oggi, per esempio, stiamo attraversando un periodo caratterizzato da un aumento della temperatura media, che ha avuto inizio alla fine del XIX secolo ed è ampiamente documentato dalla metà del XX secolo. Il cosiddetto surriscaldamento globale (*global warming*) è spesso accompagnato da controversie circa il fatto che sia o meno

dovuto all'incremento delle attività produttive (industria, allevamento, agricoltura) che, nello stesso periodo, hanno avuto un andamento analogo. In effetti è molto difficile costruire un modello soddisfacente, che tenga conto di tutti i processi di scambio energetico in cui è coinvolta l'atmosfera, e con il quale predire con certezza il futuro termico del pianeta, e c'è ampio spazio per diverse ipotesi.

Feedback

I processi coinvolti nel bilancio energetico terrestre sono davvero molti, e ogni semplificazione contiene margini di incertezza notevoli; inoltre tali processi sono fortemente interconnessi con meccanismi di difficile controllo. Per esempio, un aumento della temperatura induce un aumento dell'evaporazione dell'acqua e quindi della formazione di nubi. Se da una parte il vapore acqueo contribuisce all'effetto serra inducendo un ulteriore aumento della temperatura (*feedback positivo*), le nuvole hanno un elevato potere riflettente, riducendo la radiazione in entrata, e quindi favoriscono una diminuzione della temperatura (*feedback negativo*). In altre parole, gli effetti di un fenomeno possono favorire un suo rinforzo o un suo smorzamento, in modo non facilmente quantificabile e prevedibile. Tuttavia, proprio perché si tratta di un sistema complesso, è anche vero che qualsiasi mutamento delle sue condizioni termodinamiche può influire sull'evoluzione della vita sulla Terra.



La Terra è un sistema termodinamico complesso che può essere approssimativamente considerato chiuso, ma non isolato, in quanto riceve energia dal Sole sotto forma di radiazioni elettromagnetiche di ogni tipo ed emette radiazioni infrarosse.

PAROLA CHIAVE Energia interna

DOMANDA Abbiamo analizzato le variazioni di energia interna della Terra prendendo in considerazione soltanto gli scambi di calore. Che cosa è stato tacitamente trascurato?