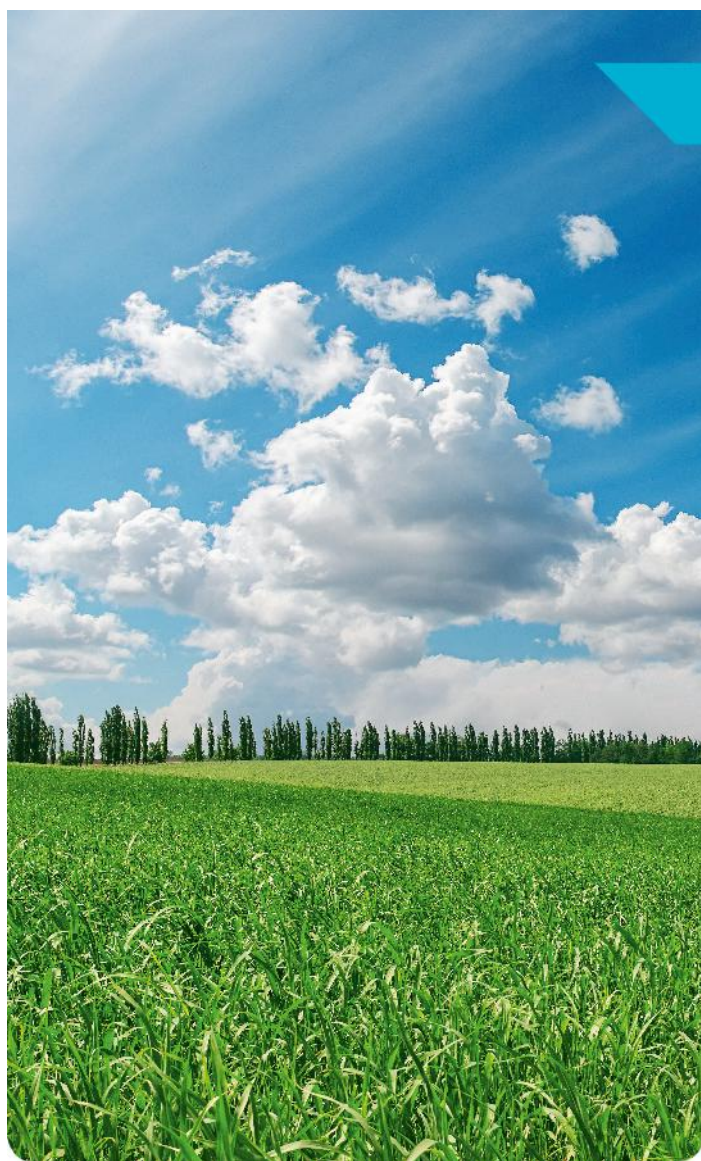


L'atmosfera



L'atmosfera terrestre, l'involucro gassoso che avvolge il nostro pianeta, costituisce l'interfaccia attraverso la quale avvengono gli scambi di energia tra il Sole e la superficie terrestre. L'atmosfera è fondamentale per la biosfera poiché contiene sostanze indispensabili alla vita, assorbe la maggior parte delle alte frequenze dello spettro solare, dannose per gli organismi, ed esercita un ruolo fondamentale nell'attivazione del ciclo dell'acqua. La circolazione atmosferica distribuisce l'energia e mantiene temperature che consentono la presenza di acqua allo stato liquido, condizioni fondamentali per lo svolgersi della vita. L'atmosfera impedisce che la Terra diventi troppo calda o troppo fredda e, con la sua dinamicità, contribuisce a determinare i climi e a modellare la superficie terrestre; per suo tramite avviene la continua circolazione delle acque tra continenti e oceani.

L'atmosfera avvolge la Terra e la protegge dalle pericolose radiazioni ultraviolette.
[MYCOLA / SHUTTERSTOCK]



lezione 1C > Composizione e caratteristiche fisiche dell'atmosfera

1.1 Composizione dell'atmosfera

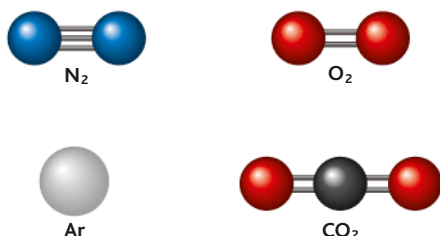


FIGURA 1.1 ↑ I gas che compongono l'atmosfera terrestre. Le molecole dell'azoto e dell'ossigeno sono biatomiche, l'argo è un gas monoatomico, la molecola del diossido di carbonio è triatomica.

Posto un volume di atmosfera uguale a 100, il volume di ogni gas corrisponde a una certa parte su 100. Dire che l'ossigeno è circa il 21% in volume, significa che su 100 litri di aria quasi 21 sono di ossigeno.



ANIMAZIONE

La composizione dell'atmosfera

Se la Terra fosse un palloncino, la pellicola di gomma corrisponderebbe allo strato atmosferico tra il suolo e i 3 km di quota nel quale si concentrano i sistemi viventi.

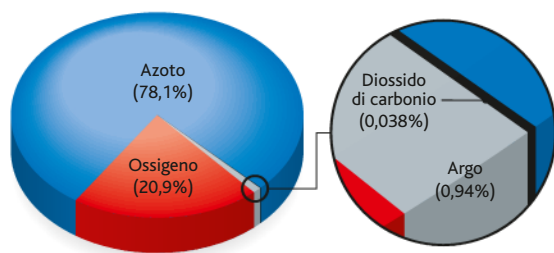


FIGURA 1.2 ↑ Diagramma che indica le percentuali dei principali gas presenti nella bassa atmosfera. Per poter apprezzare le percentuali di argo e diossido di carbonio occorre procedere a un ingrandimento dell'area, poiché questi due gas sono in percentuale molto inferiore rispetto ad azoto e ossigeno.

L'aria è un fluido allo stato gassoso, molto meno denso dell'acqua, inodore e incolore. In un linguaggio più specifico, chiamiamo questo fluido atmosfera.

▶ **L'atmosfera è uno spesso involucro aeriforme che, trattenuto dalla forza di gravità, avvolge completamente la parte solida e liquida del nostro pianeta. L'atmosfera partecipa al moto di rotazione della Terra e assume forma grossolanamente sferica.**

L'analisi chimica rivela che l'atmosfera è una miscela gassosa in cui l'azoto, l'ossigeno, l'argo e il diossido di carbonio sono i gas più significativi e abbondanti. L'azoto in condizioni normali è una molecola biatomica (N_2), come anche l'ossigeno (O_2). L'argo è costituito da molecole monoatomiche (Ar). Il diossido di carbonio (detto anche *anidride carbonica*) è una molecola triatomica (CO_2) (figura 1.1). La quantità di un gas presente nell'atmosfera si indica comunemente con la percentuale in volume.

Le molecole dei gas sono in continuo rapido movimento, perché ricevono energia dal Sole. Noi sappiamo che un gas messo in un recipiente occupa tutto lo spazio disponibile; lo spazio a disposizione per l'atmosfera è l'intero universo. I gas atmosferici però non si disperdono nello spazio grazie all'attrazione gravitazionale che li trattiene vicino alla Terra.

Il colore del cielo ci appare uniformemente azzurro perché le molecole dei gas atmosferici diffondono in tutte le direzioni la luce solare che le colpisce; il fenomeno della diffusione è massimo per la componente azzurra della luce solare.

In base alla composizione l'atmosfera è suddivisa in due parti. La **bassa atmosfera** è la parte di atmosfera più vicina alla superficie terrestre, con uno spessore di circa 100 km. L'involucro gassoso che si trova al di sopra di questa quota è detto **alta atmosfera**.

1.2 Bassa e alta atmosfera

L'azoto è il gas più abbondante della bassa atmosfera (78% in volume, figura 1.2). L'ossigeno è poco meno del 21%. Ossigeno e azoto rappresentano circa il 99% del totale; nel rimanente 1% sono compresi molti gas. L'argo è quantitativamente il più significativo, con lo 0,94%.

Una ristretta fascia alla base della bassa atmosfera, compresa tra 0 e 10 km, si trova a diretto contatto con la superficie terrestre. Tra questa fascia e la superficie terrestre si stabilisce una relazione molto stretta.

In soluzione nei gas atmosferici, nello strato prossimo alla superficie, c'è anche un'altra sostanza, il **vapore acqueo**. Ciò dimostra la reciproca influenza tra atmosfera e idrosfera.

Nella **bassa atmosfera**, soprattutto nella parte più vicina alla superficie terrestre, è presente in grande quantità il **pulviscolo atmosferico**. Il pulviscolo è formato da cenere vulcanica, da polline e da polveri di varia origine.



Nell'**alta atmosfera** i moti dei gas sono ridotti e non c'è rimescolamento. In questa fascia i gas sono perciò distribuiti per fasce in base alla densità (figura 1.3).

La stratificazione dei gas nell'alta atmosfera è una conseguenza dell'azione della forza di gravità esercitata dalla Terra. L'idrogeno è l'elemento più leggero presente in natura, seguito dall'elio. L'ossigeno atomico è più pesante di entrambi. Per questo motivo l'ossigeno si dispone più in basso; l'elio, che ha un peso intermedio, forma lo strato mediano; l'idrogeno, ancora più leggero, si dispone nella fascia più lontana dalla superficie terrestre.

1.3 La pressione atmosferica

Tutti i corpi presenti sulla superficie terrestre vengono attratti dalla forza di gravità e hanno un peso proporzionale alla loro massa. Così anche l'atmosfera ha un peso, per la precisione un litro d'aria (pari a 1 dm^3) sulla superficie terrestre pesa 1,3 grammi. Non bisogna confondere il peso con la massa. Il peso è una forza che dipende dal luogo in cui si trova il corpo, mentre la massa è una proprietà caratteristica del corpo e rimane invariata.

A causa del suo peso l'atmosfera esercita una pressione.

► **La pressione atmosferica è il rapporto tra il peso di una colonna d'aria e la superficie su cui questa colonna grava.**

Noi non ci accorgiamo dell'esistenza della pressione atmosferica, ma in realtà sopportiamo il peso di una massa d'aria di circa 100 kg senza esserne schiacciati. Ciò avviene poiché la pressione atmosferica agisce con la stessa intensità in tutte le direzioni (figura 1.4), quindi essa agisce allo stesso modo su tutta la superficie del nostro corpo. Anche i fluidi interni al nostro corpo esercitano una pressione, che compensa esattamente quella esterna.

La pressione atmosferica è una grandezza molto importante per la meteorologia, la scienza che studia i fenomeni atmosferici. Infatti, i movimenti delle masse d'aria sono legati a differenze di pressione atmosferica.

Lo strumento utilizzato per determinare la pressione atmosferica è il **barometro** (figura 1.5). Il barometro, (dal greco *baros* = peso) fu inventato dal fisico italiano Evangelista Torricelli (1608-1647) nel 1644. A livello del mare, alla temperatura di 0°C e alla latitudine di 45° , la pressione atmosferica misurata è definita **pressione atmosferica standard**. Essa è equivalente a quella esercitata da una colonna di mercurio di 1 cm^2 di sezione, alta 760 mm. Per questo motivo la pressione si può esprimere anche in millimetri di mercurio (mm Hg). La pressione atmosferica di 760 mm Hg equivale a 101 300 Pa (pascal). In meteorologia si utilizzano spesso l'ettopascal (hPa), che equivale a 100 Pa, e il millibar (1 mbar = 1 hPa). La pressione atmosferica standard è pari a 1013 hPa = 1013 mbar.

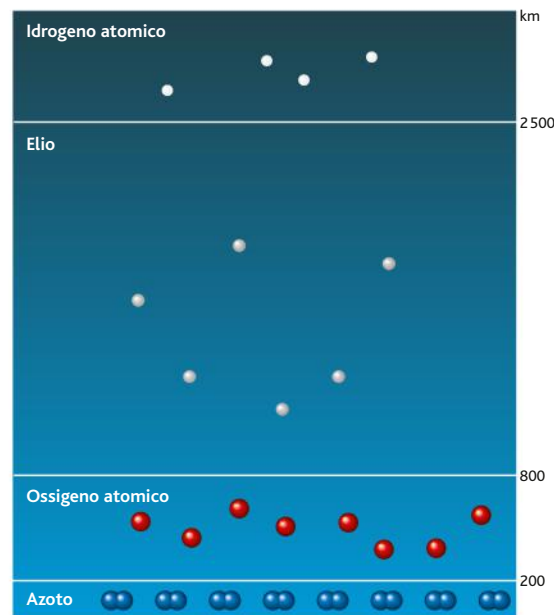


FIGURA 1.3 ↑ L'alta atmosfera si stratifica in base alla densità dei gas. L'azoto si distribuisce al limite con la bassa atmosfera. Al di sopra si trova l'ossigeno atomico, successivamente si colloca l'elio e, infine, l'idrogeno atomico, l'elemento più leggero dell'universo.

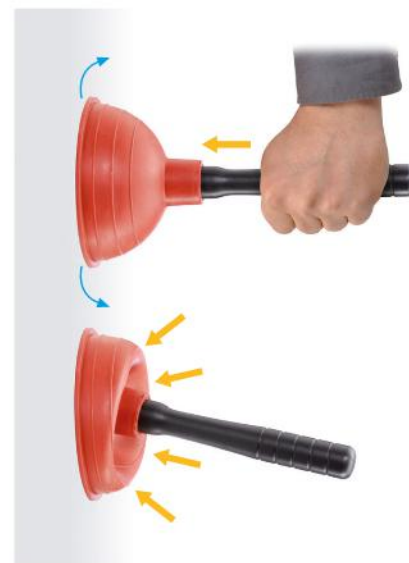


FIGURA 1.4 ↑ Se una ventosa viene premuta contro una superficie liscia, l'aria interna viene spinta fuori ed essa rimane attaccata alla superficie. Ciò accade poiché sulla ventosa agisce la pressione atmosferica che la comprime contro la superficie. Se si fa entrare dell'aria all'interno della ventosa, questa si stacca immediatamente.

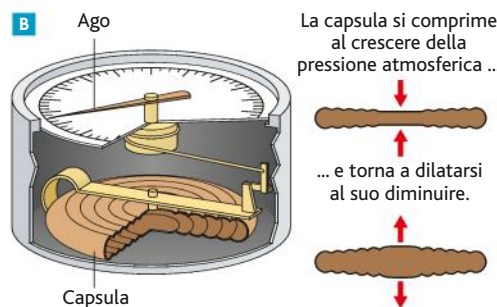


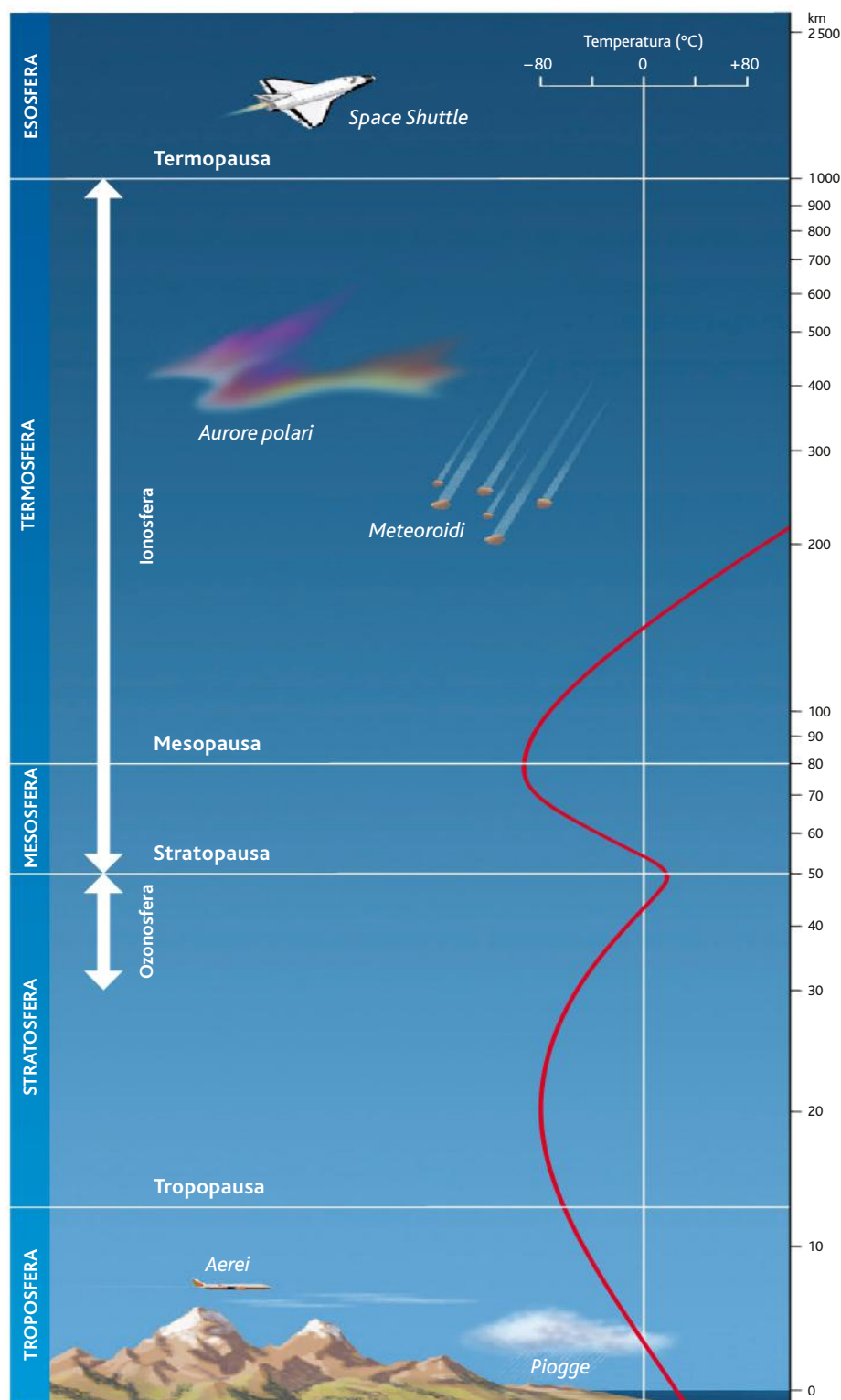
FIGURA 1.5 ← Il barometro più comune (A) è costituito da una capsula metallica (B), la cui lamina si comprime se la pressione aumenta o si dilata se questa diminuisce. La lamina è collegata ad un ago che indica su di una scala graduata l'andamento della pressione.



1.4 Suddivisione dell'atmosfera

In base alle variazioni di temperatura con l'altezza, si può suddividere l'atmosfera in strati concentrici, detti **sfere**. Ogni sfera corrisponde a una zona nella quale si ha un aumento o una diminuzione graduale della temperatura. La zona nella quale avviene l'inversione dell'andamento della temperatura rappresenta il confine tra due sfere e prende il nome di **pausa**. Dal basso verso l'alto si succedono: troposfera, stratosfera, mesosfera, termosfera, esosfera (figura 1.6).

FIGURA 1.6 → Schema generale che raffigura la stratificazione dell'atmosfera e l'andamento della temperatura con la quota (linea rossa). In figura sono rappresentati anche i principali fenomeni legati a ciascuna sfera. Si noti che, per ragioni di spazio, la scala delle quote non è lineare.



Nei primi 100 chilometri, l'aria mantiene la stessa composizione, ma diventa più rarefatta all'aumentare della quota. Perciò in alta montagna, oltre i 3000 metri si possono incontrare problemi respiratori dovuti alla minore densità dell'ossigeno.



■ Troposfera.

La **troposfera** è la sfera a contatto con la superficie terrestre e rappresenta l'aria che respiriamo. Ha un'altezza media di 12 km (8 km sopra i poli e 18 km sopra l'equatore) e termina con la **tropopausa**.

È lo strato più denso di tutti, infatti esso contiene circa l'80% della massa dell'intera atmosfera. Ha composizione uniforme e contiene quasi tutto il vapore acqueo presente nell'atmosfera. Contiene anche il pulviscolo atmosferico e le sostanze inquinanti.

► *Nella troposfera la temperatura diminuisce procedendo verso l'alto, poiché essa è riscaldata dal basso.*

L'aria è più calda vicino alla superficie della Terra e diventa più fredda man mano che si sale in quota nella troposfera. L'aria fredda, poiché è più densa dell'aria calda, tende a tornare verso il basso, provocando continui rimescolamenti. Per questo motivo e anche a causa della presenza del vapore acqueo, nella troposfera avvengono tutti i principali fenomeni meteorologici (venti, nubi e precipitazioni).

■ Stratosfera.

Sopra la troposfera si trova la **stratosfera** e intorno ai 50 km di altezza si colloca la **stratopausa**.

Come in tutte le sfere successive, i fenomeni atmosferici sono assenti, poiché non si ha rimescolamento delle masse d'aria e il vapore acqueo è praticamente inesistente.

Nella stratosfera la composizione percentuale dei gas è la medesima della troposfera, ma le particelle gassose sono più distanti fra loro.

► *Nella stratosfera si ha un aumento della temperatura, benché ci si allontani dalla superficie terrestre, a causa della presenza dell'ozono.*

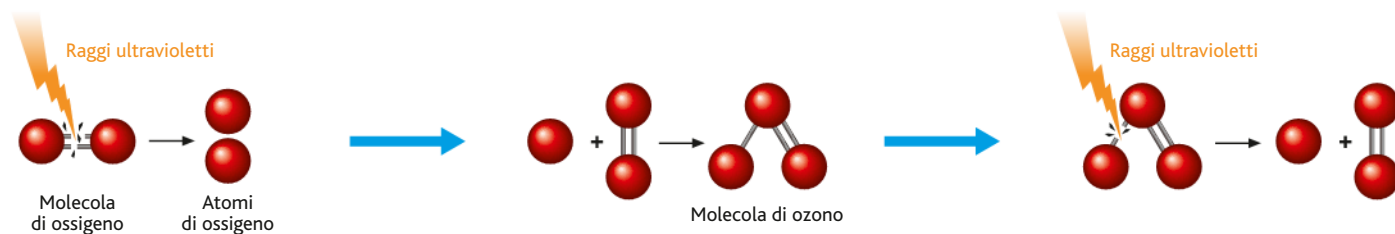
L'ozono (O_3) forma uno strato detto **ozonosfera** (figura 1.6), situato a quote comprese fra circa 30 e 50 km. L'ozono è un gas che si forma per azione delle radiazioni ultraviolette solari. Le molecole di ozono sono instabili: si formano, si scindono e si riformano continuamente, sempre ad opera dei raggi ultravioletti (figura 1.7).

Queste continue reazioni consentono l'assorbimento della maggior parte delle radiazioni ultraviolette provenienti dal Sole, diminuendo così la quantità di radiazioni che giungono sulla superficie terrestre. L'ozono assorbe le radiazioni ultraviolette e libera calore, provocando il graduale riscaldamento della stratosfera all'aumentare della quota. La presenza dell'ozonosfera ha una enorme importanza per i sistemi viventi, poiché essa scherma i raggi ultravioletti, in grado di provocare tumori della pelle ed ustioni.

Il termine troposfera deriva dal greco *tropé*, che significa «rivolgimento».

Gli aerei che effettuano voli intercontinentali viaggiano all'interno della stratosfera per risparmiare carburante. Infatti, nella stratosfera, poiché l'aria è più rarefatta, diminuisce l'attrito sull'aereo, permettendo di raggiungere velocità maggiori con minori consumi.

FIGURA 1.7 ↓ Le radiazioni ultraviolette contengono molta energia e sono in grado di spezzare i legami delle molecole di ossigeno. Si formano così atomi di ossigeno isolati che sono molto reattivi e possono legarsi a molecole di ossigeno, formando la molecola triatomica dell'ozono, O_3 . La molecola di ozono è instabile e a sua volta si scinde in atomi di O singoli e molecole di O_2 per azione dei raggi ultravioletti.



■ Mesosfera.

Sopra la stratosfera troviamo la **mesosfera** e a circa 80 km di altezza si colloca la **mesopausa**.

I gas della mesosfera sono assai rarefatti e ionizzati, cioè trasformati in ioni. Tali gas vengono ionizzati dai raggi ultravioletti e dai raggi X provenienti dal Sole. Infatti, queste radiazioni altamente energetiche colpiscono gli atomi dei gas e strappano loro elettroni trasformandoli in ioni.

Un atomo è elettricamente neutro poiché ha lo stesso numero di protoni e di elettroni, ma in alcuni casi può perdere o acquistare uno o più elettroni divenendo uno ione. Nel primo caso si avrà uno ione positivo o catione, nel secondo caso uno ione negativo o anione.



- *Nella mesosfera la temperatura diminuisce progressivamente con la quota, poiché è riscaldata dallo strato sottostante di ozono.*

Nella mesopausa si registrano le temperature più basse di tutta l'atmosfera (mediamente intorno a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$).

■ Termosfera.

La sfera successiva è la **termosfera** che termina con la **termopausa** intorno ai 1000 km di altezza. Anche in questa fascia i gas sono rarefatti e ionizzati.

- *La termosfera è caratterizzata da un costante aumento della temperatura con la quota, a causa del riscaldamento diretto da parte del Sole.*

L'aumento di temperatura è dovuto al fatto che i raggi solari cedono direttamente energia alle particelle dei gas, che, di conseguenza, si muovono più rapidamente. In generale, infatti, la temperatura di un gas aumenta all'aumentare della velocità delle sue particelle. Nella termosfera la temperatura raggiunge i $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, eppure questa zona è assai fredda.

Non c'è contraddizione nelle due affermazioni. Infatti, la temperatura è una misura della velocità delle particelle e nella termosfera le particelle si spostano a velocità enormi. Il calore, invece, è l'energia che si trasferisce da un corpo a un altro: questa energia si libera quando le particelle si urtano. Nella termosfera gli urti sono rarissimi, perché le particelle sono molto rarefatte.

Nella termosfera si verificano fenomeni luminosi particolarmente suggestivi, denominati **aurore polari** (figura 1.8).

FIGURA 1.8 → Le aurore polari sono lo spettacolare conseguenza del campo magnetico terrestre. Particelle cariche di origine solare sono attratte dai poli magnetici terrestri e producono il magnifico spettacolo delle aurore polari; queste durano qualche ora, poi si attenuano progressivamente fino a scomparire. Le aurore polari in cui predominano i colori rosso e giallo sono dovute agli urti delle particelle solari con le molecole di ossigeno, quelle in cui sono prevalenti i colori blu e violetto sono dovute agli urti con le molecole di azoto.

Le aurore polari non sono un fenomeno esclusivo della Terra: ogni pianeta che abbia un'atmosfera presenta questo fenomeno.



CHRIS MADLEY/SCIENCE PHOTO LIBRARY



PETER PARFITT/SCIENCE PHOTO LIBRARY

■ Esosfera.

L'**esosfera** si estende sopra la termosfera e non ha un limite superiore ben definito, in quanto sfuma nello spazio interstellare. Viene stabilito un limite convenzionale tra i 2000÷2500 km di altezza, in corrispondenza del quale le particelle atmosferiche sfuggono alla forza di gravità terrestre e migrano nello spazio interstellare.

- *L'esosfera è caratterizzata da una bassissima densità dei gas ed è composta quasi esclusivamente da idrogeno ed elio.*



All'interno degli strati appena descritti è possibile distinguere la ionosfera, una fascia compresa tra 50 e 1 000 km di quota, in cui sono presenti ioni. Le particelle dotate di carica elettrica formano strati che riflettono le onde radio emesse dalla superficie terrestre. Ciò permette la trasmissione dei messaggi radiofonici anche a grandissime distanze (figura 1.9).

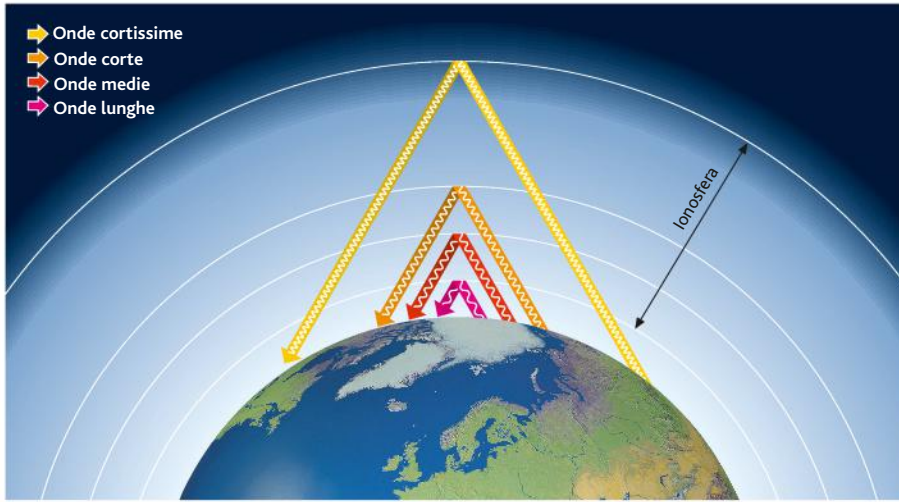


FIGURA 1.9 ← Nella ionosfera si individuano diversi strati ionizzati che riflettono le diverse onde radio. Le onde lunghe e le onde medie sono riflesse dagli strati più bassi. Le onde corte sono riflesse dagli strati più alti. Gli apparecchi che captano le onde corte ricevono distintamente i segnali provenienti da località anche molto distanti. Tra queste località la trasmissione in linea retta è impossibile a causa della curvatura della Terra.

IL COLORE DEL CIELO

Il cielo è azzurro quando è illuminato dai raggi solari. Il colore azzurro del cielo sereno è riconducibile al fenomeno fisico della diffusione. La luce solare subisce una diffusione che è tanto maggiore quanto minore

è la lunghezza d'onda. Le radiazioni più diffuse sono pertanto quelle dell'azzurro e del violetto. Il cielo ha un colore azzurro e non violetto a causa del fatto che la lunghezza d'onda dell'azzurro è presente in maggiore

quantità nella radiazione solare rispetto a quella del violetto.

All'alba e al tramonto, con il Sole basso sull'orizzonte, i raggi solari attraversano uno strato molto spesso di atmosfera. Le radiazioni del rosso, che subiscono la diffusione in misura minore, arrivano direttamente e in quantità maggiore ai nostri occhi. Questo fenomeno è anche più evidente, se l'atmosfera è ricca di vapore acqueo.

I tramonti al mare sono più spettacolari di quelli in alta montagna, perché nell'atmosfera marina il vapore acqueo è più abbondante.



Benché l'aria sia incolore, quando volgiamo lo sguardo verso il cielo osserviamo colori che variano a seconda dell'angolo di incidenza dei raggi solari e dello spessore di atmosfera che essi conseguentemente attraversano.

- 1 Quali sono i principali gas componenti l'atmosfera?
- 2 Qual è la causa della stratificazione dei gas nell'alta atmosfera?
- 3 Dove è concentrato l'80% della massa di tutta l'atmosfera?
- 4 Descrivi la struttura stratificata dell'at-

mosfera.

- 5 Come varia la temperatura atmosferica nella troposfera?
- 6 Descrivi il processo che porta alla formazione dell'ozono.
- 7 A quale quota si trova lo stato di ozono?
- 8 Qual è il ruolo della ozonofera per gli

organismi viventi? In quale modo agisce l'ozono?

- 9 In quale fascia dell'atmosfera si verificano le aurore polari?
- 10 Che cosa è la ionosfera?
- 11 Perché la presenza della ionosfera è importante per gli esseri umani?



lezione 2C > Bilancio termico ed effetto serra

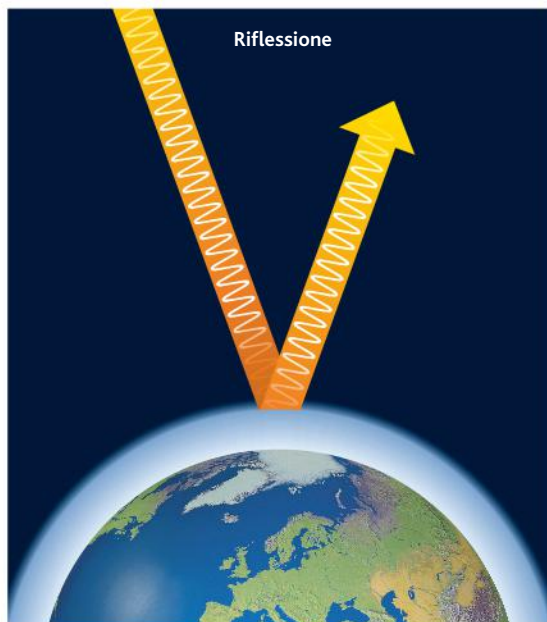


FIGURA 1.10 ↑ Un raggio riflesso dall'atmosfera o dalla superficie della Terra non è convertito in energia termica e non concorre al riscaldamento dell'aria.



FIGURA 1.11 ↑ La Terra vista dallo spazio è più luminosa della Luna, grazie al potere riflettente delle nuvole e dei ghiacci che la ricoprono. L'albedo della Luna è circa cinque volte minore di quello della Terra.

1.5 L'energia solare e l'atmosfera

I fenomeni atmosferici sono causati dall'interazione dell'energia solare con la troposfera. L'energia solare è un insieme di radiazioni elettromagnetiche a diverse lunghezze d'onda (vedi PER SAPERNE DI PIÙ a pagina A/50 del volume A di questo corso). L'energia associata a ogni tipo di radiazione dipende dalla lunghezza d'onda: le radiazioni a lunghezza d'onda corta, per esempio le radiazioni ultraviolette, sono molto energetiche; quelle a lunghezza d'onda lunga, come le radiazioni infrarosse, lo sono meno.

L'energia solare ricevuta dall'atmosfera e dalla superficie terrestre è restituita allo spazio in uguale quantità. Si stabilisce cioè un **equilibrio energetico**: l'energia in ingresso è quantitativamente uguale all'energia in uscita. La conferma sta nel fatto che la temperatura del pianeta si è mantenuta mediamente costante nel corso dei lunghi tempi geologici.

L'energia totale liberata dal Sole nello spazio è di circa $3,90 \cdot 10^{26} \text{ W/m}^2$. La Terra ne riceve poco meno di 0,5 miliardesimi; questa quantità è detta costante solare.

► *La costante solare rappresenta il flusso di energia media che la Terra riceve dal Sole, misurata agli estremi esterni dell'atmosfera, su un piano di un centimetro quadrato, disposto perpendicolarmente ai raggi solari, in un minuto di tempo.*

Il valore della costante solare è di 1350 W/m^2 o $2 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$.

Prima di essere restituita allo spazio, l'energia in arrivo dal Sole mette in azione una serie di fondamentali processi naturali: permette la vita degli organismi, fa muovere le correnti marine e girare il ciclo dell'acqua ed è responsabile dei fenomeni atmosferici e meteorologici.

► *Il ritorno dell'energia nello spazio avviene attraverso due diverse modalità: per riflessione e per irraggiamento.*

Con la **riflessione** le radiazioni sono direttamente respinte (figura 1.10). L'energia riflessa non subisce alcuna sensibile trasformazione e mantiene la lunghezza d'onda iniziale. La riflessione di una radiazione dipende dalle caratteristiche della superficie colpita: una superficie chiara, per esempio, riflette più di una scura.

► *Il potere riflettente di una superficie si definisce albedo.*

Anche la Terra ha una albedo e il nostro pianeta, visto dallo spazio, si presenta come una sfera luminosa grazie al potere riflettente delle nuvole e delle regioni ricoperte dai ghiacci (figura 1.11).

L'**irraggiamento** si verifica quando la superficie terrestre assorbe parte dell'energia solare, si riscalda e riemette energia sotto forma di energia termica (figura 1.12). Circa il 35% dell'energia solare che arriva alla Terra è direttamente riflesso nello spazio, il 18% è assorbito dall'atmosfera, mentre il 47% è assorbito dalle acque, dalle rocce e dalle piante (figura 1.13).

L'energia riemessa sotto forma di calore riscalda direttamente gli strati inferiori dell'atmosfera. La notevole dinamicità della troposfera dipende dal fatto che questo strato è riscaldato dal basso dalla superficie terrestre.

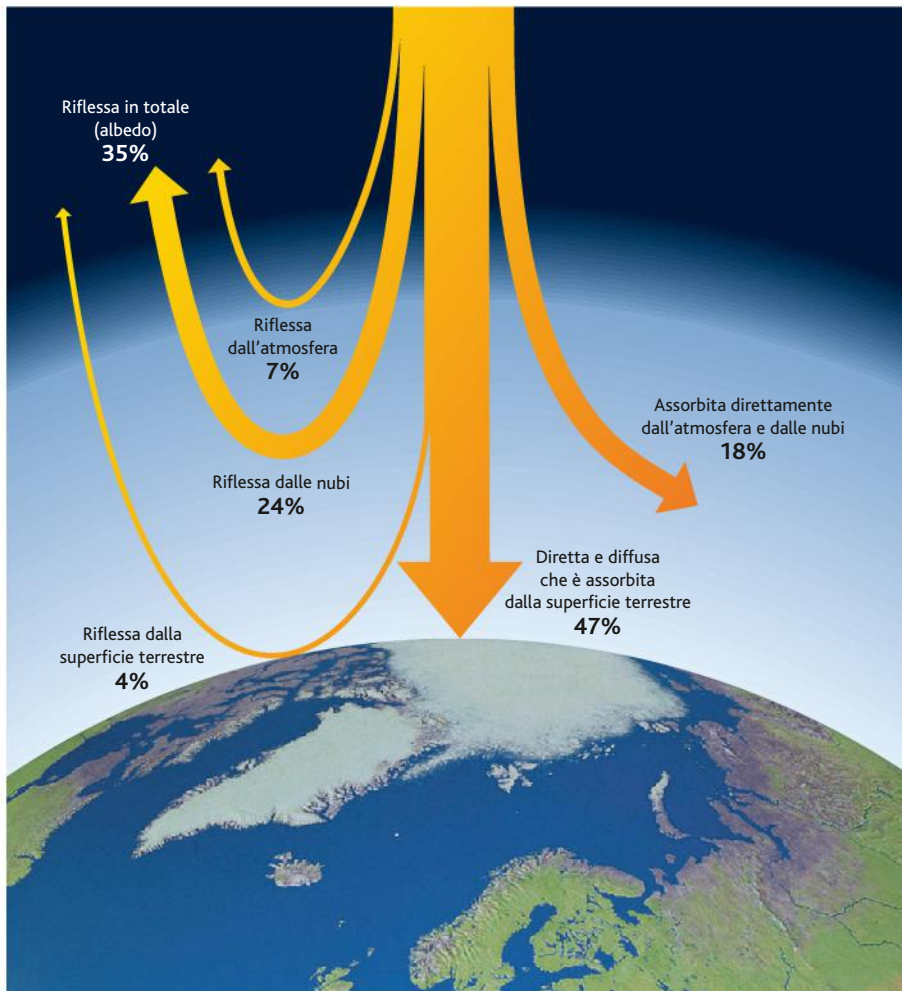


FIGURA 1.12 ↓ Un raggio assorbito riscalda la superficie terrestre. Successivamente, quest'ultima emette radiazioni a lunghezza d'onda maggiore. Le onde lunghe riemesse sono assorbite dai gas atmosferici e l'aria si riscalda.

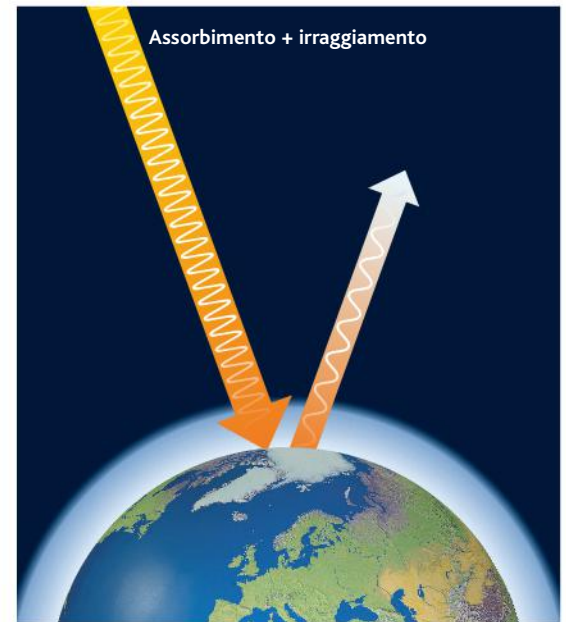


FIGURA 1.13 ← La radiazione complessiva riflessa nello spazio dalla Terra è costituita da un 24% di radiazione riflessa direttamente nello spazio dalle nuvole e dal pulviscolo atmosferico, da un 7% dai gas atmosferici e da un 4% riflessa dalla superficie dei mari e delle terre emerse. La somma di queste percentuali, cioè il 35%, costituisce l'albedo della Terra.

1.6 L'effetto serra

I raggi solari che raggiungono la superficie terrestre sono riusciti a passare inalterati attraverso i gas atmosferici. Colpita dai raggi, la superficie si riscalda e riemette energia sotto forma di radiazioni elettromagnetiche a lunghezza d'onda maggiore di quelle incidenti.

Nel flusso energetico che si stabilisce tra Terra e spazio è molto importante il ruolo del diossido di carbonio (CO_2), presente nell'aria. Infatti, così come il vapore acqueo, anche questo gas assorbe le radiazioni a elevata lunghezza d'onda. L'energia termica viene perciò trattenuta negli strati più bassi dell'atmosfera. Il fenomeno è noto come **effetto serra** (figura 1.14).



ANIMAZIONI

- Il bilancio radiativo del sistema Terra-atmosfera e l'effetto serra
- Temperatura atmosferica e anidride carbonica

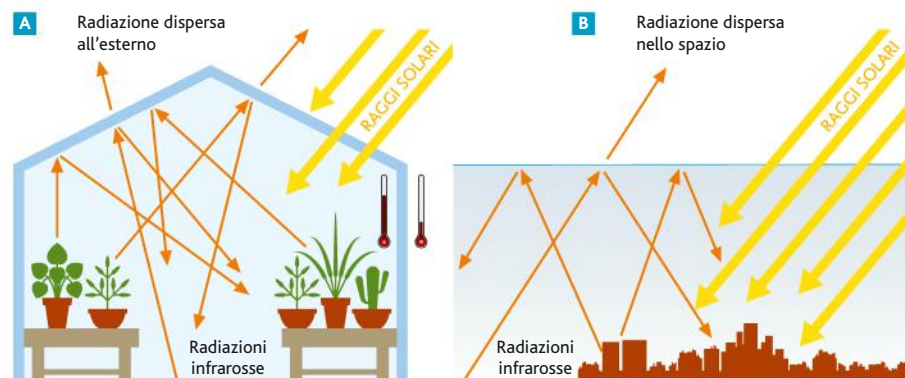


FIGURA 1.14 ← (A), la radiazione solare riesce ad attraversare i vetri della serra, viene assorbita dalle piante e dal terreno, che si riscaldano ed emettono perciò radiazioni infrarosse. Tali radiazioni restano in parte intrappolate all'interno della serra, causandone il riscaldamento. (B), analogamente, le radiazioni solari che attraversano l'atmosfera vengono assorbite dal suolo, che si riscalda ed emette radiazioni infrarosse. Queste radiazioni vengono in parte trattenute dall'atmosfera, causando l'effetto serra, e in parte si disperdono verso lo spazio.



I clorofluorocarburi sono gas serra da 3000 a 13000 volte più potenti nel trattenere il calore rispetto al diossido di carbonio. Questi gas, essenzialmente prodotti dalle attività umane, sono responsabili anche della riduzione dello strato di ozono stratosferico. Per questo motivo i clorofluorocarburi sono stati eliminati dalle bombolette spray, dove agivano da propellenti.

La troposfera si comporta come una serra. Il diossido di carbonio e il vapore acqueo, che sono detti **gas serra**, non schermano le radiazioni in ingresso, ma trattengono le radiazioni infrarosse in uscita e sono responsabili del riscaldamento della troposfera. Altri gas serra sono il metano (CH_4), il protossido di azoto (N_2O), l'ozono (O_3) e i clorofluorocarburi (CFC). Questi gas serra concorrono all'effetto serra, anche se in misura minore data la loro non rilevante presenza quantitativa. I gas serra nella troposfera svolgono la stessa funzione dei vetri in una serra.

L'effetto serra ha una importanza fondamentale: in sua assenza la temperatura media del pianeta si aggirerebbe intorno ai -18°C , contro i 14°C attuali.

IL PROTOCOLLO DI KYOTO

Nel 1997 a Kyoto è stato firmato da oltre 160 Paesi un trattato internazionale, noto come Protocollo di Kyoto, che impegna i Paesi industrializzati a ridurre entro il 2012 le emissioni di gas serra del 5,2% rispetto ai livelli del 1990. Per realizzare questo obiettivo, il trattato prevede un sistema di meccanismi economici di premi e sanzioni, che incentivano la riduzione delle emissioni senza penalizzare la crescita economica e la produzione industriale dei Paesi. Il Protocollo aiuta così i Paesi che adottano le misure di riduzione delle emissioni a sopportarne i costi. I Paesi più «virtuosi» possono infatti utilizzare i finanziamenti provenienti dalle Nazioni che, essendo meno impegnate a raggiungere il traguardo prefissato, vengono penalizzate.

Dopo la sua approvazione nel 1997, il Protocollo di Kyoto non è diventato subito operativo. Il trattato prevedeva infatti che per entrare in vigore occorresse la ratifica di almeno 55 Paesi, rappresentanti non meno del 55% delle emissioni di gas serra registrate nel 1990.

Quest'ultima condizione è risultata la più critica, dal momento che il Paese con maggiori emissioni, gli USA, non è stato favorevole alla ratifica del Protocollo, inizialmente approvato da Unione Europea, Giappone,

Canada ed altri Paesi, responsabili nel complesso solo del 37% delle emissioni. Infine, dopo essere stato avversato dagli USA e non sottoscritto da Paesi in via di sviluppo come Cina, India e Brasile, il trattato è entrato in vigore il 16 febbraio 2005 grazie alla firma della Federazione Russa, che ha portato in dote il suo 17,4% delle emissioni.

Nel 1998, con una decisione del Consiglio dei Ministri dell'Ambiente dell'Unione Europea, l'Italia si è impegnata a ridurre le proprie emissioni del 6,5%, nel quadro degli impegni comunitari di riduzione complessiva dell'8%. Ridurre le emissioni di CO_2 e realizzare gli obiettivi previsti dal Protocollo di Kyoto rappresenta anche per l'Italia un primo ma indispensabile passo per invertire la tendenza rispetto all'effetto serra.

L'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), il prestigioso organismo scientifico che fa capo alle Nazioni Unite, ha affermato nella sua relazione del 2007 che il processo di riscaldamento globale è provocato soprattutto dai consumi crescenti di petrolio e degli altri combustibili fossili. Questo processo sta già producendo effetti devastanti anche nel nostro Paese: alluvioni e siccità si stanno verificando con una intensità e una frequenza senza precedenti e determinano alterazioni sempre più consistenti

nel territorio e nel paesaggio. Il riscaldamento del pianeta, infatti, a livello locale si manifesta con un aumento dei fenomeni climatici estremi. Senza interventi di riduzione delle emissioni di gas serra, gli effetti dei cambiamenti climatici andranno aumentando nel tempo, con accelerazione dei processi di desertificazione e abbandono delle colture per mancanza di acqua.

Oggi è possibile cambiare strada, perché ci sono tutte le condizioni tecniche e di mercato per farlo. Un Paese dipendente dall'importazione di combustibili fossili, come l'Italia, può cogliere il meglio dalla rivoluzione tecnologica in corso per ridurre i consumi energetici e le emissioni di gas serra. Scommettere sulle alternative al petrolio richiede forte impegno nella ricerca scientifica e nel risparmio energetico a parità di comfort, con case costruite secondo moderni criteri bioclimatici, con pannelli solari, generatori eolici, celle fotovoltaiche e tecnologie a basso impatto ambientale. Si eviterebbe così di pagare le sanzioni previste dal Protocollo di Kyoto e non sarebbero più necessari provvedimenti impopolari come il blocco del traffico veicolare e il black-out elettrico.

Con l'accordo di Doha l'estensione del Protocollo si è prolungata fino al 2020 anziché alla fine del 2012.

- 12 Da che cosa dipende l'energia associata a ogni tipo di radiazione?
- 13 Sono più energetiche le radiazioni a onda corta o a onda lunga?
- 14 Quale dato ci permette di affermare che il

- nostro pianeta si trova in una condizione di equilibrio energetico?
- 15 In che cosa consiste la differenza tra riflessione e irraggiamento?
- 16 Come è chiamato il potere riflettente di

- una superficie?
- 17 In che cosa consiste il fenomeno noto come effetto serra?
- 18 Quali gas sono i maggiori responsabili dell'effetto serra?



La temperatura dell'aria < lezione 3C

1.7 Riequilibrio termico della Terra

Il flusso solare, assorbito dall'atmosfera e dalla superficie terrestre, si trasforma essenzialmente in calore. Esiste, perlomeno su tempi lunghi, un chiaro equilibrio tra la quantità totale di insolazione ricevuta dalla Terra e dalla sua atmosfera e tutta la radiazione terrestre che ritorna allo spazio; se così non fosse, la Terra diverrebbe progressivamente più calda o più fredda. Si verifica quindi, a livello globale, una condizione di bilanciamento tra la radiazione entrante e quella uscente, sebbene vi siano molte situazioni di non equilibrio sia a livello locale sia alle diverse latitudini.

► **Si definisce bilancio energetico la differenza tra l'energia solare assorbita e l'energia riemessa dalla Terra.**

Località poste a latitudini diverse hanno bilanci energetici differenti.

La fascia compresa tra i tropici riceve i raggi solari con un'inclinazione molto vicina alla perpendicolare durante tutto l'anno. La fascia intertropicale assorbe più energia di quanta ne riemette. Il bilancio energetico è perciò positivo. In generale il bilancio energetico è positivo per la fascia compresa tra i 38° nord e i 38° sud circa (figura 1.15). In queste zone ci dovremmo attendere un aumento della temperatura anno dopo anno. Le aree poste al di fuori di questa fascia hanno bilancio energetico negativo: la quantità di energia persa supera quella assorbita. In queste regioni dovremmo aspettarci una progressiva diminuzione della temperatura anno dopo anno.

L'analisi dei valori delle temperature annuali delle varie regioni del pianeta dimostra, al contrario, una sostanziale stabilità: le temperature delle regioni intertropicali sono nettamente superiori a quelle delle regioni vicine ai poli, ma entrambe rimangono mediamente costanti nel tempo.

Esistono meccanismi di trasferimento del calore dalle basse latitudini, con bilancio energetico positivo, alle alte latitudini, caratterizzate da bilancio energetico negativo. Questo fenomeno di riequilibrio termico avviene su grandi distanze e interessa aree molto ampie. Due sono i fenomeni a scala planetaria che concorrono al riequilibrio termico del pianeta: la circolazione dei venti e le correnti marine.

Le masse d'aria che si formano nella fascia calda si spostano verso le regioni polari, mentre le masse d'aria fredda polare si dirigono verso le regioni calde. I venti caldi cedono calore e innalzano le temperature delle regioni fredde; i venti freddi assorbono calore sottraendo energia termica alle regioni calde e concorrono a diminuire la temperatura in queste zone.

Le correnti marine superficiali possono essere sia calde sia fredde. Le correnti calde si portano verso le regioni fredde e cedono calore all'ambiente. Le correnti fredde si allontanano dalle zone in cui le temperature sono molto basse e si dirigono verso le zone calde del pianeta, a cui sottraggono calore.

Anche le correnti marine profonde determinano lo spostamento di grandi masse d'acqua fredda polare verso il fondo degli oceani e verso latitudini più basse. Pur se in minor misura rispetto alle correnti superficiali, anche le correnti marine profonde contribuiscono al riequilibrio energetico della Terra.

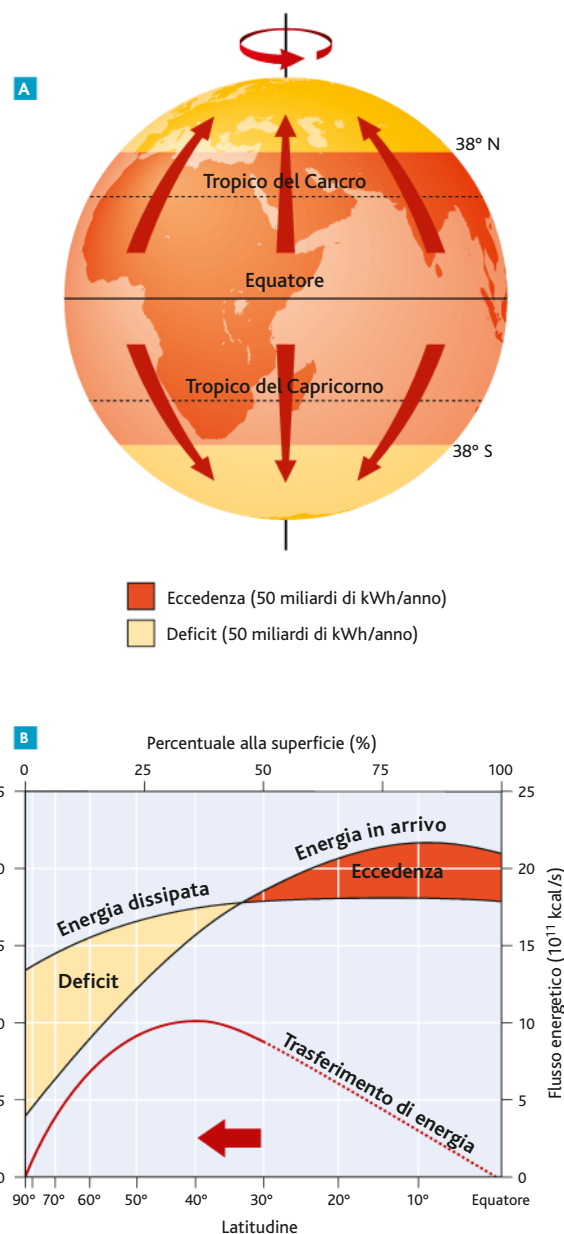


FIGURA 1.15 ↑ (A), il 38° parallelo separa le fasce latitudinali con bilancio energetico positivo e negativo; le frecce rosse indicano i trasferimenti di calore che mantengono mediamente stabili le temperature del pianeta. (B), bilancio tra energia solare ricevuta e energia dissipata dalla Terra nell'emisfero boreale. L'unità di misura utilizzata per misurare la radiazione solare è il langley (Ly); un langley equivale a una caloria per cm².



1.8 La temperatura atmosferica

La misura della temperatura dell'aria è effettuata con termometri. In una località, la media delle temperature rilevate nel corso di una giornata, o la media fra la temperatura massima e minima, consente di calcolare la **temperatura media**. La temperatura media si può riferire, oltre che a un giorno, anche a un mese o a un anno e si hanno così le **temperature medie diurne, mensili e annue**.

► **La differenza tra la temperatura massima e la temperatura minima di una località è definita escursione termica.**

L'escursione termica riferita a un giorno è l'**escursione termica diurna**, quella riferita a un anno (differenza tra la temperatura media del mese più caldo e quella del mese più freddo) è detta **escursione termica annua**.

Le misure di temperatura al suolo sono di solito effettuate con termometri posti all'interno delle cosiddette *capannine meteorologiche* (figura 1.16), per effettuare la misura all'ombra.

Le capannine sono costruite in legno verniciato di bianco, per limitare l'assorbimento di calore e hanno pareti a persiane per favorire l'aerazione. L'altezza delle capannine dal suolo non deve essere minore di 1,5 m, per impedire che le misure risentano del calore emesso dal terreno. In Italia questi centri di rilevamento sono distribuiti su gran parte del territorio e la raccolta dei dati è competenza del Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici.

Le misure in quota sono effettuate tramite palloni aerostatici periodicamente lanciati dalle stazioni meteorologiche. In Italia il rilevamento delle temperature in quota è competenza del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica.

Con i dati relativi alla temperatura di moltissime stazioni si costruiscono le **carte delle isoterme**.

► **Le isoterme sono le linee che uniscono località aventi la medesima temperatura.**

Le isoterme possono essere giornaliere, mensili e annue. Le più significative sono le carte mensili riferite a gennaio e a luglio, rispettivamente il mese più freddo e più caldo nel nostro emisfero (figura 1.17). Anche nell'emisfero meridionale si fa riferimento agli stessi mesi, che sono però rispettivamente il mese più caldo e quello più freddo.

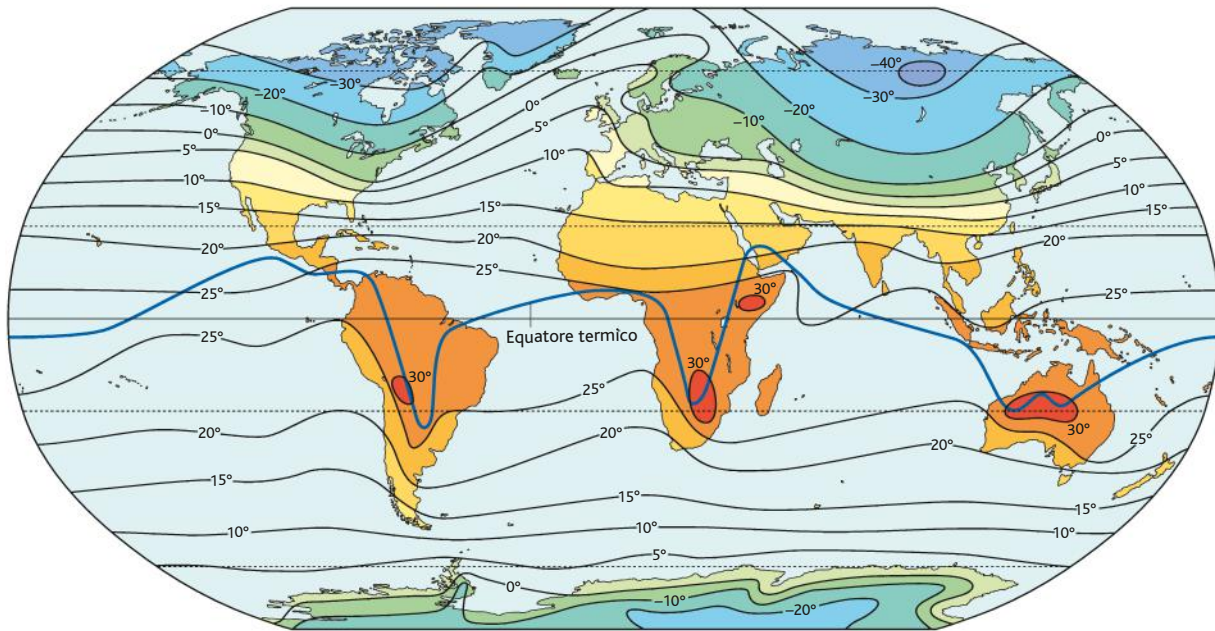
Sappiamo che la troposfera è riscaldata dal basso verso l'alto e che la temperatura diminuisce con la quota.

Il gradiente termico verticale nella troposfera presenta una certa regolarità: il suo valore è di circa $-6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$; quindi per ogni kilometro che si sale di quota la temperatura diminuisce di $6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Spesso è utile avere informazioni sull'andamento della temperatura a prescindere dall'influenza della quota. Poiché la temperatura dell'aria diminuisce con l'altitudine, alla temperatura misurata in una data località si aggiungono $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ogni 100 metri di quota. Per esempio, se a l'Aquila si rileva la temperatura di $18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, la temperatura ridotta tiene conto della quota, 750 m, e si ottiene: $18,0\text{ }^{\circ}\text{C} + 0,75\text{ km} \cdot 6,0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km} = 22,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Si ottengono, così, i valori di temperatura che quelle località avrebbero se si trovassero al livello del mare (figura 1.17).

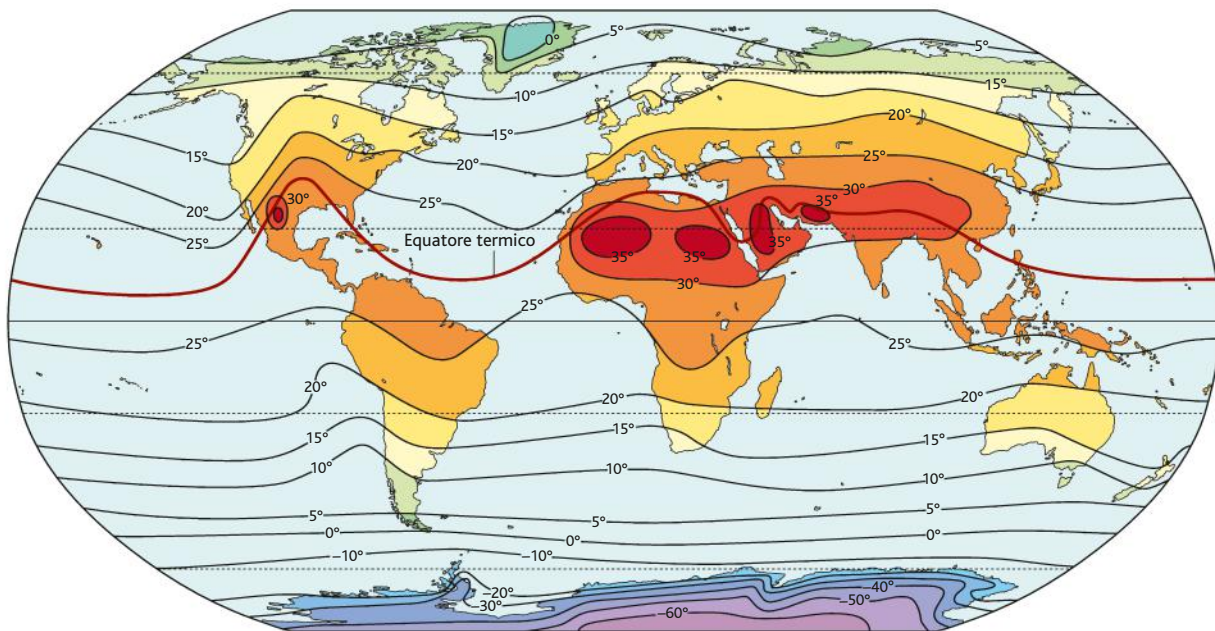
FIGURA 1.16 ↓ La capannina meteorologica protegge gli strumenti dalla radiazione solare diretta e dalle precipitazioni, ma consente la circolazione dell'aria. Gli strumenti al centro rilevano umidità e temperatura e i dati vengono raccolti dai registratori visibili ai lati.





A

Isotherme di gennaio



B

Isotherme di luglio

► Si definiscono **isoterme ridotte** le linee che congiungono i punti con uguali temperature riportate a livello del mare.

FIGURA 1.17 ↑ Le isoterme di gennaio (A), e di luglio (B) ridotte al livello del mare sulla superficie terrestre.

Una continua e progressiva diminuzione della temperatura con la quota non è una regola fissa. In particolari situazioni si può verificare il fenomeno della cosiddetta **inversione termica** (figura 1.18). In spessori limitati di aria, al massimo alcune centinaia di metri, si può avere un aumento di temperatura verso l'alto.

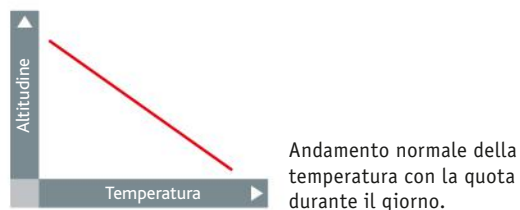


FIGURA 1.18 → Durante il giorno l'aria calda sale, di notte l'andamento della temperatura si inverte e l'aria calda rimane intrappolata tra due strati di aria fredda.

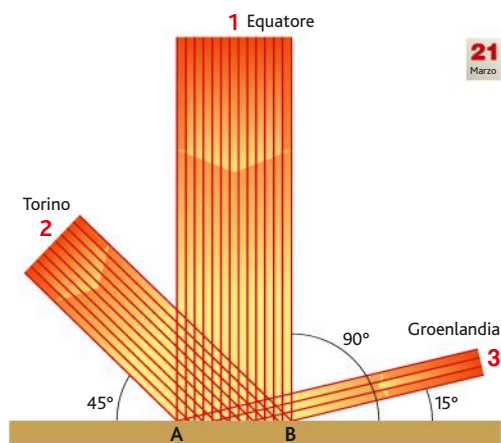
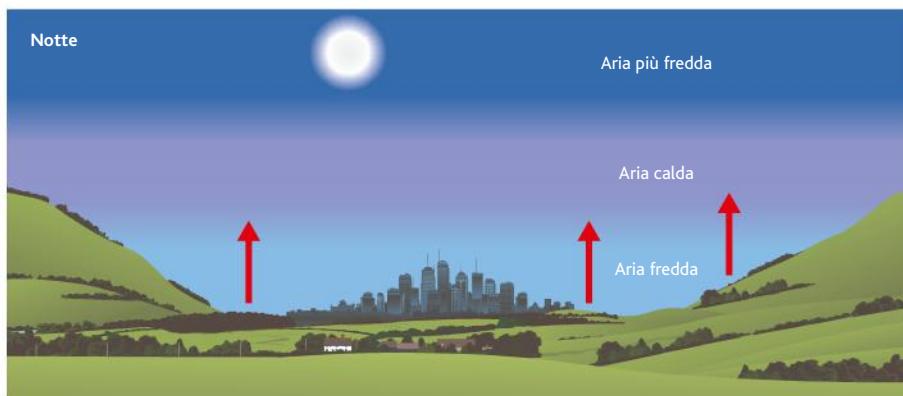
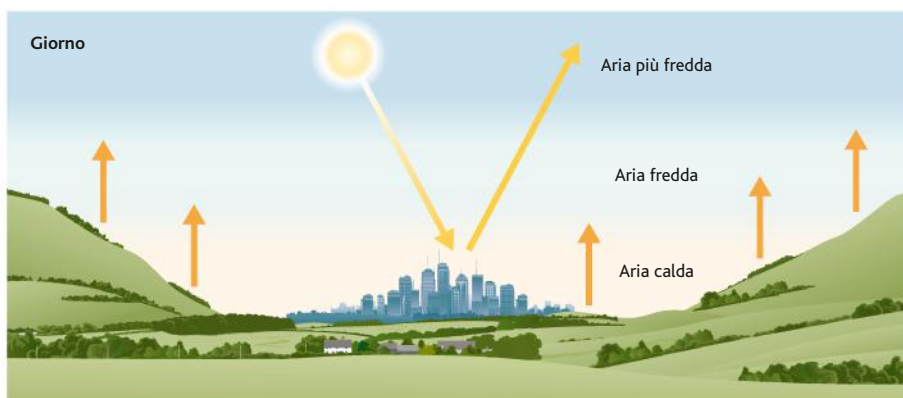
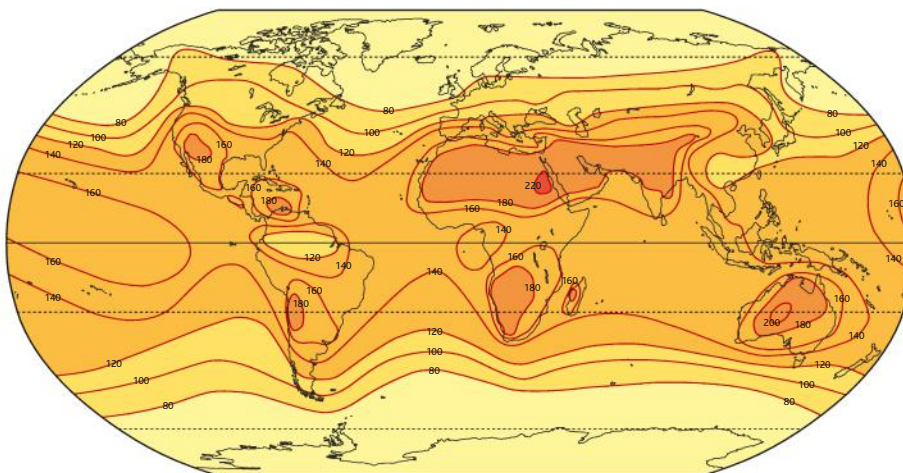


FIGURA 1.19 ↑ Alla data del 21 marzo i raggi solari colpiscono perpendicolarmente l'equatore (1), dove si ha il massimo del riscaldamento. Nello stesso giorno, la quantità di energia è ridotta al 71% alla latitudine di Torino (2), cioè a 45°, e al 26% sulle coste della Groenlandia, dove vivono gli Inuit, a 75° di latitudine (3).

Alle diverse latitudini l'incidenza dei raggi solari cambia. Maggiore è l'inclinazione dei raggi, minore è la quantità di energia assorbita per unità di superficie e minore è la quantità di energia riemessa (figura 1.19). A parità di quota, la temperatura dell'aria diminuisce dall'equatore verso i poli (figura 1.20).

Il fenomeno dell'inversione termica è spesso dovuto a un rapido irraggiamento terrestre, frequente nelle notti invernali serene; esso porta ad un veloce raffreddamento del suolo che per conduzione raffredda l'aria con la quale è a contatto, mentre sopra rimane aria più calda. In zone costiere può avvenire *inversione per avvezione*, quando masse d'aria marina fredda e densa si incuneano orizzontalmente sotto aria più calda. Nelle valli può accadere un *drenaggio di aria fredda* che scende dai versanti fino al fondovalle, prendendo il posto di aria più calda. Il perdurare dell'inversione termica è poi favorito dall'assenza di vento che non allontana o non disperde l'aria fredda. La conseguenza più evidente è la formazione di nebbie fitte e durevoli o di gelo.

FIGURA 1.20 → Radiazione solare ricevuta dalla Terra nelle diverse località, espressa in kcal/cm²/anno.





1.9 L'influenza del mare e della vegetazione sulla temperatura

L'acqua ha un calore specifico più elevato rispetto alle rocce della superficie terrestre. Per riscaldare una massa d'acqua, è necessaria energia in quantità maggiore di quella che serve per riscaldare una pari massa di roccia.

Durante il dì le terre emerse si riscaldano velocemente, sia perché le rocce hanno calore specifico basso, sia perché l'energia solare assorbita non va oltre lo strato più superficiale. Il calore riemesso dalle rocce fa aumentare sensibilmente la temperatura dell'aria sovrastante. Durante la notte, però, l'energia incamerata nel periodo illuminato è persa molto velocemente e l'aria, non più riscaldata, si raffredda.

Il mare si riscalda più lentamente delle rocce per il maggiore calore specifico dell'acqua e per l'elevato spessore d'acqua riscaldato dai raggi solari. Il rimescolamento delle acque superficiali fa sì che l'energia solare sia assorbita da un volume molto maggiore di quello interessato dal riscaldamento delle rocce. Le acque marine durante il dì aumentano poco la loro temperatura e riscaldano meno l'aria sovrastante; durante la notte le acque perdono calore lentamente e, di conseguenza, continuano a cedere calore per più tempo all'aria.

In una località lontana dal mare la temperatura dell'aria durante il dì è notevolmente maggiore rispetto alla temperatura notturna. La vicinanza di un vasto bacino d'acqua attenua la differenza tra la temperatura giornaliera più alta e quella più bassa. Nelle località lontane dal mare l'escursione termica è accentuata, mentre in quelle costiere è ridotta.

Anche la presenza di un'estesa copertura vegetale influenza la temperatura dell'aria, in quanto le piante assorbono una parte delle radiazioni solari (figura 1.21). Le piante, inoltre, traspirano ed emettono nell'atmosfera vapore acqueo in abbondanza. Per passare allo stato di vapore occorre che l'acqua assorba dall'aria una notevole quantità di energia, perciò nei periodi caldi il processo di traspirazione contribuisce a mantenere la temperatura su valori meno elevati.

La presenza di boschi e piante rigogliose determina una attenuazione dell'escursione termica, soprattutto quella annua.



ANIMAZIONE

L'influenza dei fattori geografici sulle temperature

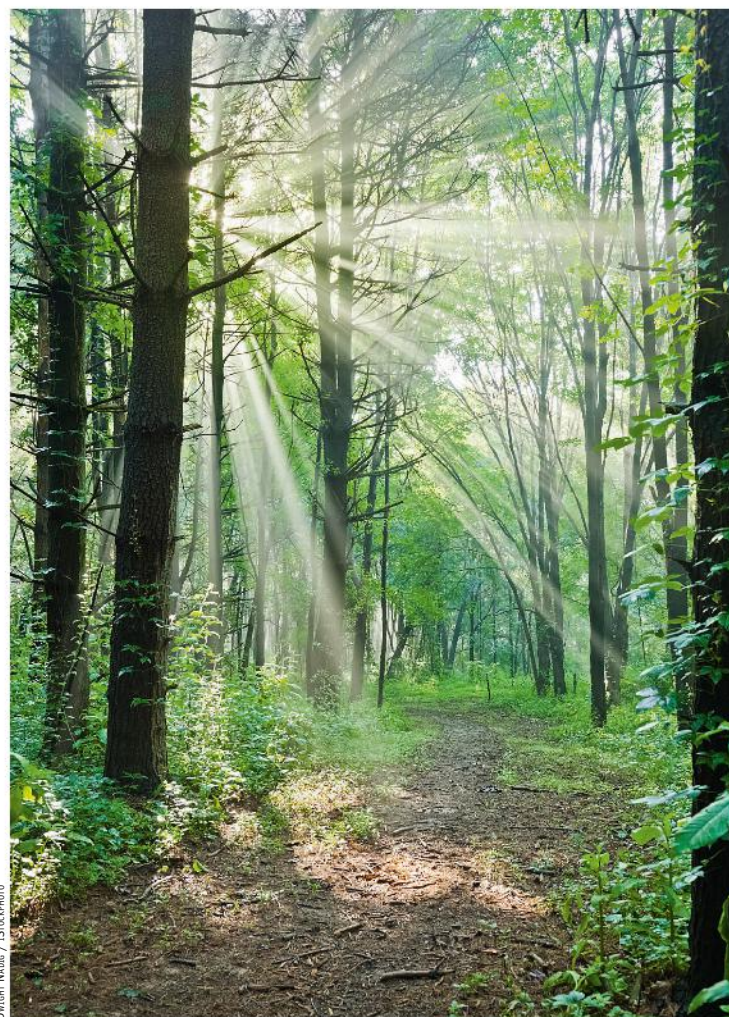


FIGURA 1.21 → Gli alberi del bosco impediscono alla radiazione solare di raggiungere direttamente il terreno, quindi di riscaldare fortemente il suolo, che a sua volta riscalda l'aria vicina, cioè quella in cui noi ci muoviamo e viviamo.

- 19 Qual è il gradiente termico nella troposfera?
- 20 In quale modo il mare influisce sulla temperatura atmosferica?
- 21 Come si calcola la temperatura media giornaliera?

- 22 Come si determina l'escursione termica annua?
- 23 Che cosa si intende con bilancio energetico della Terra?
- 24 Quando si parla di isoterme ridotte?

- 25 In che cosa consiste il fenomeno dell'inversione termica?
- 26 Quale effetto ha sulla escursione termica annua di una regione la presenza di una vegetazione rigogliosa?

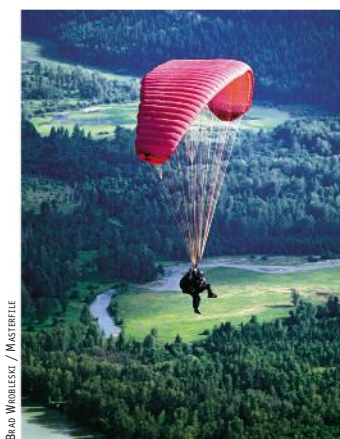


lezione 4C > La pressione atmosferica e i moti dell'aria

1.10 Moti convettivi e pressione atmosferica

L'aria della troposfera è in continuo movimento: si verificano moti in senso verticale e moti in senso orizzontale. Un alianti che si libra nel cielo sfrutta i moti ascendenti per rimanere in aria; una barca a vela utilizza i moti orizzontali per solcare le onde (figura 1.22).

FIGURA 1.22 → Il parapendio per mantenersi in aria sfrutta i moti ascendenti dell'atmosfera. La tavola a vela solca velocemente le onde grazie ai moti orizzontali dell'atmosfera.



BRAD WHEELER / MASTERFILE



CLIVE ROSE-STAFF / GETTY IMAGES



ANIMAZIONE

Come varia la pressione atmosferica

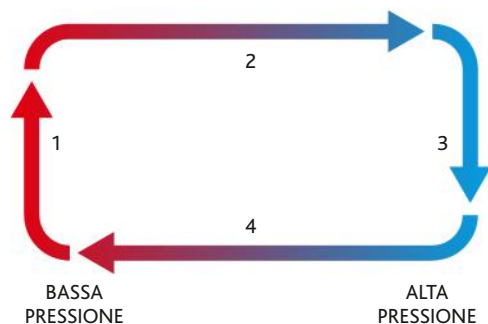


FIGURA 1.23 ↑ Da una zona di bassa pressione l'aria sale verso l'alto (1) e, giunta in quota, si sposta, si raffredda (2) e scende in corrispondenza dell'area di alta pressione (3). Da qui l'aria viene richiamata verso le zone di bassa pressione (4), chiudendo una cella convettiva.

L'aria della troposfera è riscaldata dal basso: questa condizione, diversamente da quella che caratterizza le acque oceaniche, che sono riscaldate dall'alto, determina instabilità. Le masse d'aria dilatate dal calore salgono e lasciano il posto a masse d'aria più fredde e più dense che scendono dalle alte quote.

I movimenti di discesa di masse di aria fredda avvengono su aree diverse da quelle in cui si verifica la risalita di aria calda. Si formano flussi orizzontali che raccordano le zone in cui si verificano moti ascendenti e discendenti.

► **L'insieme dei flussi che consentono all'aria calda e leggera di risalire e a quella fredda e pesante di discendere costituisce una cella convettiva di circolazione atmosferica (figura 1.23).**

Le caratteristiche fisiche della troposfera sono oggetto di studio della meteorologia. Il movimento continuo di masse d'aria, che è una manifestazione della instabilità della troposfera, è originato dalle variazioni della pressione atmosferica. La conoscenza della distribuzione della pressione atmosferica sulla superficie terrestre è molto importante per i meteorologi.

Lo strumento con cui si misura la pressione è il *barometro* (vedi § 2.7). Per ottenere registrazioni continue delle variazioni di pressione si usano particolari barometri detti *barografi*. La pressione atmosferica varia da zona a zona e, nella stessa zona, da momento a momento. In generale le variazioni di pressione durante il corso dell'anno sono minime in prossimità dell'equatore e aumentano man mano che si passa dai tropici alle zone polari. Le variazioni della pressione sono dovute principalmente a tre fattori: l'altitudine, la temperatura e l'umidità dell'aria, cioè il suo contenuto di vapore acqueo.

Esaminiamo ogni fattore.