

CAPITOLO 7 LA TERRA AERIFORME



“ La sfiducia che il conduttore televisivo sembra avere nei confronti dei modelli matematici usati dai meteorologi è forse eccessiva. La previsione del tempo richiede l'elaborazione di un'enorme quantità di dati. La disponibilità di calcolatori elettronici ha permesso un notevole sviluppo della meteorologia, che oggi è in grado di fornire previsioni del tempo attendibili nell'arco di più giorni.”

| | | | |
|--------------|--------------------------------------|------|---|
| lezione 26 › | L'atmosfera | 7.1 | Composizione dell'atmosfera |
| | | 7.2 | La bassa atmosfera |
| | | 7.3 | L'alta atmosfera |
| | | | • L'atmosfera primitiva |
| lezione 27 › | Le sfere dell'atmosfera | 7.4 | Sfere e pause nell'atmosfera |
| | | 7.5 | La troposfera |
| | | | • Alpinismo in alta quota |
| | | 7.6 | La stratosfera |
| | | 7.7 | Mesosfera e termosfera |
| | | 7.8 | Ionosfera e magnetosfera |
| | | | • Il colore del cielo |
| lezione 28 › | Pressione e movimenti dell'atmosfera | 7.9 | La pressione atmosferica |
| | | 7.10 | Variazioni della pressione nella troposfera |
| | | 7.11 | Aree cicloniche e anticicloniche |
| | | 7.12 | I venti |
| | | 7.13 | Le brezze |
| lezione 29 › | La circolazione generale dei venti | 7.14 | La circolazione generale nella bassa troposfera |
| | | 7.15 | La circolazione generale nell'alta troposfera |
| | | | • Origine delle correnti a getto |

CAPITOLO 7

LA TERRA AERIFORME L'atmosfera

7.1 Composizione dell'atmosfera

L'atmosfera, comunemente chiamata aria, è lo strato gassoso che circonda il nostro pianeta. L'aria è inodore e incolore ed è quasi 800 volte meno densa dell'acqua. L'atmosfera costituisce la Terra aeriforme. L'atmosfera ha uno spessore di migliaia di chilometri. Addirittura si può sostenere che non esista un suo limite superiore, poiché continua senza interruzione, anche se sempre più rarefatta, verso lo spazio interplanetario. Il margine inferiore dell'atmosfera coincide con la superficie terrestre. L'atmosfera è una miscela gassosa in cui azoto, ossigeno, argo e diossido di carbonio (detto anche anidride carbonica) sono i gas più abbondanti (figura 7.1).

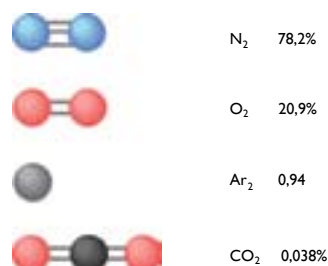


figura 7.1 Le molecole dell'azoto e dell'ossigeno sono formate da due atomi tenuti insieme rispettivamente da tre e da due legami. Le particelle dell'argo sono formate da un singolo atomo. Il diossido di carbonio contiene due atomi di ossigeno legati a un atomo di carbonio: la molecola è triatomica.

METTI A FUOCO

Gli organismi che vivono nell'acqua sono definiti subacquei. Per analogia, gli organismi che vivono sulla superficie solida della Terra sono definiti subaerei. Così come gli organismi subacquei sono immersi in un fluido liquido, anche gli organismi subaerei sono immersi in un fluido, l'atmosfera.

La quantità di un gas presente nell'atmosfera si indica con la percentuale in volume. 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 poco meno del 21% in volume, significa che su 100 litri di aria quasi 21 sono di ossigeno.

7.2 La bassa atmosfera

La bassa atmosfera è caratterizzata da continui rimescolamenti, che impediscono una stratificazione dei gas in base alla loro densità. Per questo motivo, la composizione della bassa atmosfera è omogenea e uniforme. Ciò significa che, se si analizzano diversi campioni di aria della bassa atmosfera, si ottengono le stesse percentuali in volume dei diversi gas. L'azoto (N2) è il gas più abbondante col 78,1% in volume. L'ossigeno (O2) corrisponde al 20,9%. L'argo (Ar) è presente con lo 0,94%. Il diossido di carbonio (CO2) arriva allo 0,038% in volume (figura 7.2). In tracce sono presenti anche l'ozono (O3), l'idrogeno (H2) e l'elio (He). In una ristretta fascia alla base della bassa atmosfera, compresa tra 0 e 10 km di quota, è presente anche il vapore acqueo, l'acqua allo stato aeriforme. Il vapore acqueo, a differenza dei gas, non si trova in percentuale fissa. Per questo motivo la composizione atmosferica è riferita all'aria secca. Nella bassa atmosfera, soprattutto nella parte più vicina alla superficie terrestre, è presente in grande quantità il pulviscolo atmosferico. Il pulviscolo atmosferico è formato da cenere vulcanica, da polline e da polveri di varia origine.

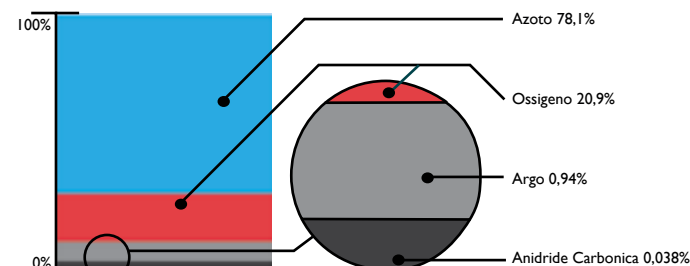


figura 7.2 Diagramma che indica le percentuali dei principali gas presenti nella bassa atmosfera. Per poter apprezzare le percentuali di argon e diossido di carbonio occorre procedere a un ingrandimento dell'area, poiché questi due gas sono in percentuale molto inferiore rispetto ad azoto e ossigeno.

7.3 L'alta atmosfera

Nell'alta atmosfera i moti dei gas sono ridotti e in pratica non esiste rimescolamento. I gas che costituiscono l'alta atmosfera tendono perciò a distribuirsi per fasce in base alla densità (figura 7.3).

L'atmosfera è attraversata dai raggi solari ricchi di energia. L'energia delle radiazioni solari non è però sufficiente a scindere le molecole di azoto, che rimangono biatomiche (N2). L'azoto risulta il gas più abbondante nello strato compreso tra 100 e 200 km di altezza. Le molecole biatomiche di ossigeno (O2) della bassa atmosfera, colpite dalle radiazioni, sono scisse in due atomi. La maggior parte degli atomi si lega di nuovo e riforma le molecole biatomiche.

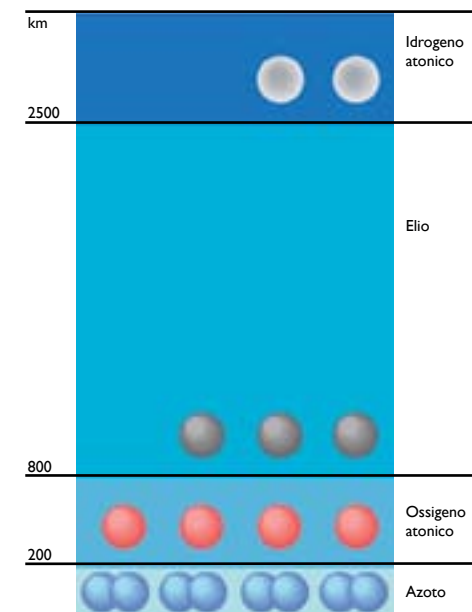


figura 7.3 L'alta atmosfera si stratifica in base alla densità dei gas. L'azoto si distribuisce al limite con la bassa atmosfera. Al di sopra si trova l'ossigeno atomico, successivamente si colloca l'elio e, infine, l'idrogeno atomico, l'elemento più leggero dell'universo.

Una parte invece rimane libera. Gli atomi di ossigeno, più leggeri delle molecole, si spostano verso l'alto per il principio di Archimede. Essendo più leggero anche dell'azoto molecolare, l'ossigeno atomico diventa il gas più abbondante attuale nella fascia compresa tra 200 e 800 km di altezza. Ancora a causa del principio di Archimede, sopra gli 800 km di altezza prevalgono i gas più leggeri. Tra 800 e 2.500 km il gas prevalente diventa l'elio, presente in tracce nella bassa atmosfera, perché è il gas più leggero dopo l'idrogeno. Infine, oltre i 2.500 km si trova solo idrogeno, l'elemento più leggero, sotto forma di singoli atomi.

Documento 7.1 l'atmosfera primitiva

L'atmosfera attuale non è l'unica atmosfera che il nostro pianeta ha avuto. Nei primi milioni di anni dopo la formazione della Terra, l'atmosfera aveva una composizione molto diversa da quella attuale. I principali gas presenti erano idrogeno, metano, ammoniaca e vapore acqueo. Si trattava in sostanza dei gas presenti nella nebulosa da cui aveva avuto origine il sistema solare (cfr. § 2.1). Il vento solare, particolarmente forte nella fase iniziale della vita di una stella, disperse nello spazio la maggior parte di questa primordiale atmosfera. In seguito, un'intensa attività vulcanica cominciò ad arricchire l'atmosfera di vapore acqueo e diossido di carbonio, che divenne molto abbondante con una percentuale più alta rispetto all'attuale. Col raffreddamento il vapore acqueo in gran parte condensò e l'acqua liquida si concentrò nelle depressioni, formando gli oceani. Il diossido di carbonio diminuì drasticamente, perché passò in soluzione nell'acqua degli oceani, dove formò le rocce carbonatiche, così chiamate perché contengono carbonio.



Nei primi stadi della sua esistenza il nostro pianeta si presentava in buona parte allo stato fluido. I magmi, in via di lento raffreddamento, liberarono grandi quantità di sostanze gassose che formarono la primitiva atmosfera terrestre. (Disegno di Daniela Veluti).

L'azoto, poco reattivo, non variò la propria iniziale concentrazione e, dopo che la maggior parte del vapore acqueo e del diossido di carbonio furono rimossi dall'atmosfera, divenne il gas atmosferico più abbondante. Quando nei mari primitivi comparvero i primi organismi autotrofi fotosintetici, l'acqua iniziò a essere usata come fonte di idrogeno per la sintesi di molecole organiche. In questo processo l'ossigeno rappresenta un prodotto di scarto ed è eliminato nell'ambiente. Gradualmente, nel corso dei successivi 3 miliardi di anni, l'ossigeno diffuse nei mari e, dopo avere saturato le acque, iniziò a diffondere anche nell'atmosfera. Col passare del tempo, l'ossigeno si accumulò nell'atmosfera, fino a raggiungere gli attuali valori di concentrazione.

CAPITOLO 7

LA TERRA AERIFORME Le sfere dell'atmosfera

Lezione 26 Prima di proseguire

1. È corretto affermare che uomini e pesci vivono entrambi immersi in un fluido?
2. Quali sono i principali gas che compongono l'atmosfera?
3. Se la massa della Terra diminuisse del 30%, pensi che l'atmosfera attuale sarebbe integralmente conservata?
4. Perché i gas dell'atmosfera si disperderebbero nello spazio, se la forza di gravità si indebolisse?
5. Da che cosa è prevalentemente formato il pulviscolo atmosferico?
6. Perché la massa dell'atmosfera è concentrata nella bassa atmosfera?
7. Perché la composizione atmosferica è riferita all'aria secca?
8. La massa di una molecola di azoto, N_2 , è 28 u (u = unità di massa atomica), mentre la massa di una molecola di ossigeno, O_2 , è 32 u. Perché nell'alta atmosfera l'azoto va a collocarsi prevalentemente negli strati più bassi, mentre l'ossigeno si distribuisce a una quota più elevata?
9. Quali componenti arricchiscono con la loro presenza gli strati inferiori della bassa atmosfera?
10. In base a quale criterio è posto il confine tra bassa atmosfera e alta atmosfera?

7. 4 Sfere e pause nell'atmosfera

Oltre che in base alla composizione, l'atmosfera può essere suddivisa in involucri concentrici, detti sfere, in base alle variazioni della temperatura con la quota. La temperatura atmosferica dipende dal calore che l'atmosfera riceve, direttamente o indirettamente, dal Sole. Non esiste una relazione costante tra temperatura e quota: in certe fasce di quota la temperatura diminuisce con l'altezza, in altre aumenta. Ogni sfera corrisponde a una fascia in cui la temperatura varia in modo uniforme, aumentando oppure diminuendo. Supponiamo di misurare la temperatura atmosferica a quote crescenti. Finché osserviamo una tendenza omogenea della variazione della temperatura, per esempio una costante diminuzione, possiamo stabilire che ci troviamo all'interno di una stessa sfera. Quando, salendo ancora, cominciamo a osservare che la temperatura aumenta, possiamo dedurre che siamo passati in una sfera diversa. La zona nella quale avviene l'inversione dell'andamento della temperatura rappresenta il confine tra le due sfere e prende il nome di pausa.

7. 5 Sfere e pause nell'atmosfera

L'involucro atmosferico a contatto con la superficie terrestre è la troposfera (figura 7.4). Nella troposfera la temperatura diminuisce procedendo verso l'alto, come sperimentiamo facilmente quando risaliamo i versanti di una montagna. L'origine del calore che riscalda l'aria è il Sole, ma il riscaldamento avviene in modo indiretto. La maggior parte delle radiazioni solari, infatti, attraversa l'atmosfera senza essere assorbita dai gas atmosferici e senza determinare alcun riscaldamento. I raggi solari sono assorbiti, invece, dalla superficie della Terra e la riscaldano. Le rocce e le acque della superficie terrestre, riscaldate dai raggi solari, cedono poi calore alla tropo sfera, che è perciò riscaldata dal basso. L'aria è più calda vicino alla superficie della Terra e diventa più fredda man mano che si sale. L'aria fredda, poiché è più densa dell'aria calda, tende a tornare verso il basso e a occupare il posto dell'aria calda che si solleva.

La troposfera è in una condizione di permanente instabilità gravitazionale ed è caratterizzata da un continuo rimescolamento di masse d'aria.

Nella troposfera avvengono tutti i principali fenomeni meteorologici.

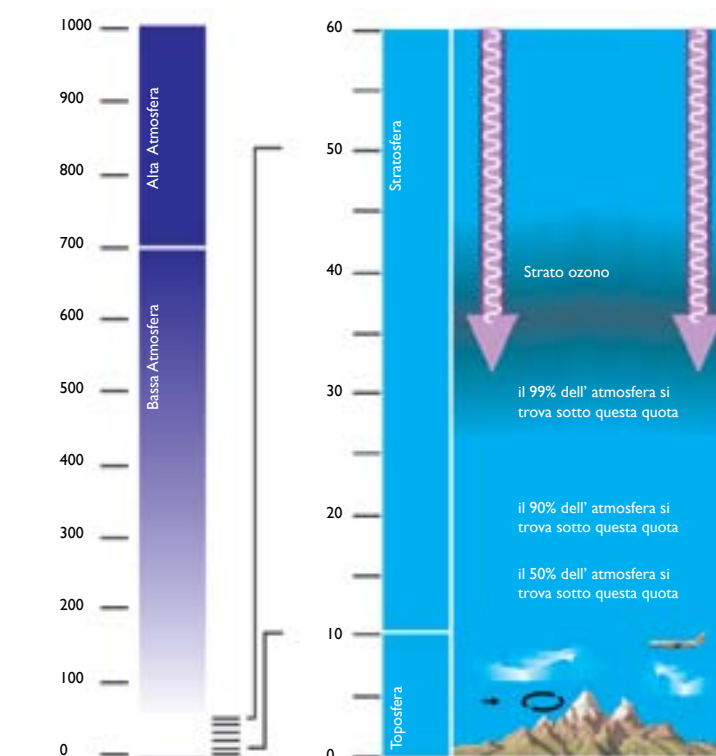


figura 7.4 Nella troposfera si verificano continuamente risalite e discese di masse d'aria, che provocano la formazione di nuvole e originano i venti. La densità dell'aria diminuisce sensibilmente salendo in quota.

Documento 7. 2 Alpinismo in alta quota

Per prepararsi alla scalata dell'Everest, la cima più elevata del mondo con i suoi 8.848 m, gli alpinisti devono passare un certo periodo di tempo nei campi base. Questo periodo è necessario per abituarsi all'altitudine e fare aumentare nel sangue il numero di globuli rossi, le cellule che trasportano l'ossigeno in tutto il corpo. Infatti, all'altezza di 5.500 m la densità dell'ossigeno è ridotta alla metà di quella presente a livello del mare. La maggiore quantità di globuli rossi nel sangue permette un più abbondante apporto di ossigeno, in grado di compensare, almeno in parte, la ridotta presenza dell'ossigeno nell'aria. Per la scalata della parete sud dell'Everest, i campi base sono situati ad altezze diverse, così da permettere un ulteriore adattamento. Il campo 1 è a 6.000 mt, il campo 2 è a 6.500 m, il campo 3 a 7.300 m, il campo 4, l'ultimo prima della scalata finale verso la vetta, è posto a 7.900 m. Malgrado il graduale acclimatamento, molti alpinisti che salgono oltre gli 8.000 m sono costretti a ricorrere all'uso di un respiratore a ossigeno.



Un campo base su un versante dell'Everest. L'acclimatazione in quota è uno dei grandi problemi dell'alpinismo himalayano.

METTI A FUOCO

Si può ben dire che la troposfera mantiene fede al proprio nome, dato che tropé in greco significa «rivolgimento».

CAPITOLO 7

LA TERRA AERIFORME

7.6 La stratosfera

Sopra la troposfera si trova la stratosfera.

Nella stratosfera la temperatura cresce progressivamente con la quota.

La stratopausa segna il confine con la successiva sfera, nella quale la temperatura torna a decrescere. La stratopausa si colloca intorno ai 50 km di altezza, quota alla quale si registra un massimo termico. Nella stratosfera, come in tutte le sfere successive, i fenomeni dovuti alla turbolenza atmosferica sono assenti. Il vapore acqueo è praticamente assente e la composizione percentuale dei gas è la medesima della troposfera. La densità è invece molto inferiore: i gas sono più rarefatti. Benché ci si allontani dalla superficie terrestre, nella stratosfera non c'è più diminuzione della temperatura con la quota. Al contrario si ha un aumento della temperatura dovuto alla presenza dell'ozono, un gas relativamente abbondante in questo strato. Le radiazioni solari che colpiscono l'atmosfera sono ricche di radiazioni ultraviolette. Le molecole biatomiche di ossigeno, colpite dalle radiazioni ultraviolette, si scindono nei due atomi di ossigeno. Un atomo di ossigeno isolato è molto reattivo e tende a legarsi con altre particelle. Se la reazione avviene con un altro atomo di ossigeno, si forma nuovamente una molecola di ossigeno O_2 . Se, invece, l'atomo di ossigeno si lega con una molecola di ossigeno, che è biatomica, si origina una molecola formata da tre atomi di ossigeno: la nuova molecola è l'ozono, O_3 (figura 7.5).

METTI A FUOCO

Molti voli aerei, soprattutto quelli su lunghi tragitti, seguono rotte che attraversano la stratosfera. La rarefazione dei gas alle alte quote diminuisce sensibilmente l'attrito dell'aria sulla fusoliera e sulle ali. Ciò rende possibile raggiungere maggiori velocità e quindi economizzare sul consumo di carburante. La permanenza ad alte quote richiede però un adeguato isolamento termico e il mantenimento all'interno dell'aereo di condizioni di pressurizzazione.

ozono dipende dalla concentrazione dell'ossigeno. A quote poste oltre i 50 km, dove le particelle di ossigeno biatomico sono molto rarefatte, gli atomi scissi dalle radiazioni solari si combinano più facilmente tra loro che con le rare molecole di ossigeno; pertanto a queste quote non si formano molte molecole di ozono. Diversa è la situazione a quote tra i 30 e i 50 km, dove la concentrazione delle molecole di ossigeno è relativamente elevata: è alta la probabilità che un atomo di ossigeno reagisca con una molecola di ossigeno e che si formi una molecola di ozono. Anche se la massima concentrazione di ozono si trova alla quota di circa 30 km, il massimo di assorbimento di radiazioni ultraviolette si ha intorno ai 50 km di quota. Ciò dipende dal fatto che alla quota della massima concentrazione di ozono la quantità di radiazione ultravioletta ha già subito una forte riduzione a causa dell'assorbimento avvenuto negli strati superiori. Le molecole di ozono sono instabili e si scindono facilmente, di nuovo per opera delle radiazioni ultraviolette. L'ozono si forma, si scinde e si riforma continuamente, con un processo che provoca l'assorbimento della maggior parte delle radiazioni ultraviolette, prima che queste giungano sulla superficie terrestre. Questo fatto ha una enorme importanza per i sistemi viventi, perché i raggi ultravioletti sono radiazioni ad alta energia, capaci di provocare danni biologici irreparabili. L'ozono assorbe le radiazioni ultraviolette e riemette energia sotto forma di radiazioni termiche. Lo strato di ozono è una sorgente di calore, responsabile del graduale riscaldamento della stratosfera con la quota.

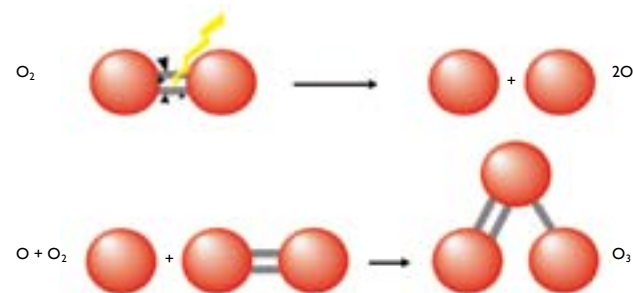


figura 7.5 Le radiazioni ultraviolette contengono molta energia e sono in grado di spezzare i legami delle molecole di ossigeno. Ciascun atomo si può combinare con un'altra molecola di ossigeno e formare la molecola dell'ozono. L'ozono assorbe radiazioni ultraviolette e libera energia termica. I gas della stratosfera si riscaldano per questo motivo. $O_2 + 2O + O + O_2 \rightarrow O_3$.

7.7 Mesosfera e termosfera

Sopra la stratosfera troviamo la mesosfera.

Nella mesosfera la temperatura diminuisce progressivamente con la quota.

Ciò indica che la mesosfera è riscaldata dal basso. La fonte di calore è lo strato di ozono nella stratosfera, più che la superficie terrestre, troppo distante. La temperatura diminuisce progressivamente, fino al raggiungimento di un minimo termico. A circa 80 km di altezza si colloca la mesopausa. È nella mesopausa che si registrano le temperature più basse di tutta l'atmosfera, che possono giungere fino a $-140^\circ C$. La sfera successiva alla mesosfera è la termosfera.

La termosfera è caratterizzata da un costante aumento della temperatura con la quota.

L'aumento di temperatura è dovuto al fatto che i raggi solari cedono direttamente energia alle rarefatte molecole dei gas. Dati sperimentali confermano che nella termosfera la temperatura raggiunge valori di centinaia di gradi centigradi. Eppure in questa sfera è molto freddo. Non c'è contraddizione tra le due affermazioni. Infatti, la temperatura è una misura della velocità media delle particelle e nella termosfera le particelle si spostano a velocità enormi. Il calore, inve-

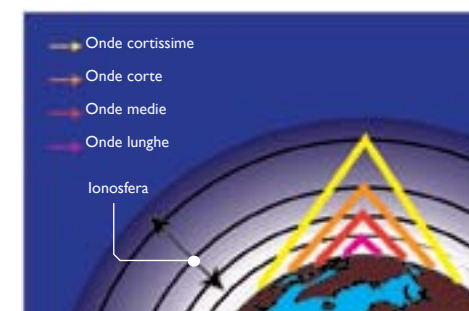


figura 7.6 Nella ionosfera si individuano diversi strati ionizzati che riflettono le diverse onde radio. Le onde lunghe e le onde medie sono riflesse dagli strati più bassi. Le onde corte sono riflesse dagli strati più alti. Gli apparecchi che captano le onde corte ricevono distintamente i segnali provenienti da località anche molto distanti. Tra queste località la trasmissione in linea retta è impossibile a causa della curvatura della Terra.

ce, 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.

7.8 Ionosfera e termosfera

In tutta l'alta atmosfera e nella parte superiore della bassa atmosfera, nello spazio compreso tra 50 km e 1.000 km, sono presenti elettroni e ioni liberi con una densità significativa; pertanto a questa parte di atmosfera è stato assegnato il nome di ionosfera. La ionizzazione è prodotta soprattutto dalle radiazioni ultraviolette e dai raggi X provenienti dal Sole. La percentuale di particelle ionizzate, anche se molto bassa, è sufficiente per generare fenomeni di grande importanza per l'uomo. Infatti, queste 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 7.6).

Il vento solare (figura 7.7, cfr. § 2.3) è formato da particelle elettricamente cariche che sono catturate dal campo magnetico terrestre e sono costrette a muoversi in una zona detta magnetosfera (figura 7.8). A causa dell'interazione con il vento solare, la parte della magnetosfera opposta al Sole si allunga come la coda di una cometa. La magnetosfera è un involucro protettivo e impedisce che la Terra sia massicciamente investita dalle particelle cariche del vento solare, che potrebbero arrecare notevoli danni agli organismi. Quando il vento solare è particolarmente attivo, le particelle elettricamente cariche si avvicinano alla superficie terrestre in corrispondenza dei poli magnetici, da cui sono attratte. Si origina così un fenomeno atmosferico tra i più spettacolari: le aurore polari (figura 7.9).

Le particelle si muovono ad altissima velocità e urtano le molecole dei gas atmosferici, azoto e ossigeno. Le particelle urtate riemettono energia in forma di luce. L'ossigeno è responsabile dei colori rosso e gialloverde, mentre l'azoto dei colori blu e violetto. Le aurore polari avvengono tra 100 e 1.000 km di altezza e sono visibili di notte nelle regioni vicine ai poli magnetici. Non solo la Terra, ma ogni pianeta che abbia un campo magnetico sufficientemente intenso e un'atmosfera presenta il fenomeno delle aurore polari.

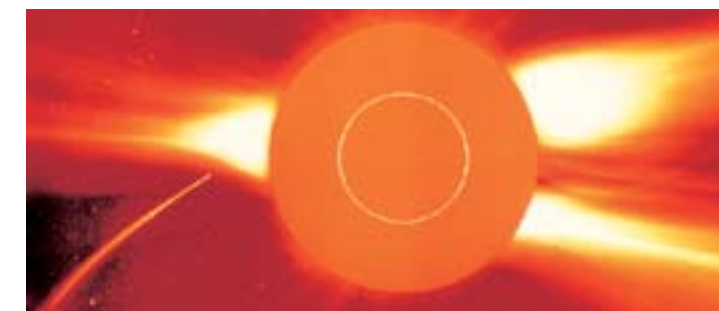


figura 7.7 La corona solare, da cui promanano per milioni di chilometri forti correnti di vento solare, ripresa dagli strumenti a bordo della sonda SoHO (Solar Heliospheric Observatory). In basso a sinistra si vede la cometa SoHO-6, una delle numerose comete scoperte da questa sonda, mentre precipita nella regione equatoriale del Sole. Quando giunge a contatto con la magnetosfera terrestre, il vento solare provoca fenomeni elettromagnetici.

CAPITOLO 7

LA TERRA AERIFORME

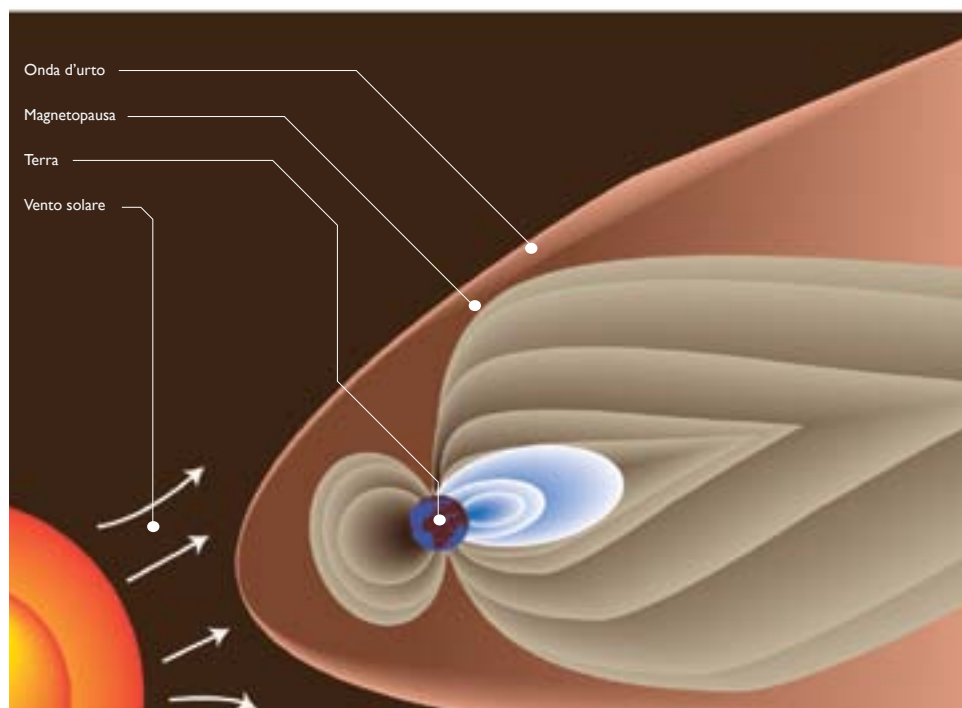


figura 7.8 La magnetosfera assume una forma particolare a causa del vento solare che la investe. La magnetosfera rivolta dalla parte opposta al Sole si allunga a formare una coda.



figura 7.9 Le aurore polari sono la spettacolare conseguenza del campo magnetico terrestre: le particelle cariche sono attratte dai poli magnetici terrestri e producono il magnifico spettacolo delle aurore polari. Le aurore polari durano qualche ora, poi si attenuano progressivamente fino a scomparire. Le aurore polari in cui predominano i colori rosso e giallo sono dovute all'ossigeno, quelle in cui sono prevalenti i colori blu e violetto sono dovute all'azoto.

Documento 7.3 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. Alcuni degli spettacoli più emozionanti che la natura ci regala ogni giorno sono l'alba e il tramonto del Sole, quando il cielo diventa fiammeggiante. 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.



Lezione 27 Prima di proseguire

11. Quale grandezza fisica è presa come riferimento per suddividere l'atmosfera in sfere?
12. Come si chiama e come è individuata la zona di passaggio da una sfera all'altra?
13. Perché la troposfera è instabile dal punto di vista gravitazionale?
14. Che cosa ha a che fare l'instabilità gravitazionale della troposfera con l'uniformità della sua composizione?
15. Perché la quota a cui si trova la tropopausa varia con la latitudine?
16. Come si spiega il fatto che la temperatura della troposfera diminuisce quando si sale di quota?
17. A quale fenomeno è dovuto l'innalzamento termico con la quota che si registra nella stratosfera?
18. Qual è la fonte di calore a cui si deve attribuire il riscaldamento della mesosfera?
19. Dove si registrano le temperature più basse di tutta l'atmosfera?

CAPITOLO 7

LA TERRA AERIFORME

Pressione e movimenti dell'atmosfera

7.9 La pressione atmosferica

Nel campo gravitazionale i corpi esercitano una forza chiamata peso, proporzionale alla loro massa. L'atmosfera ha un peso che equivale a quello di una colonna di mercurio alta 76 cm. Ciò significa che su ogni m^2 esposto all'aria gravano 76 cm^3 ($76 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}^2$) di mercurio. Essendo il newton (N) l'unità di misura della forza, il peso di una colonna di atmosfera di 1 cm^2 di base è $10,13 \text{ N}$, che corrisponde alla massa di $1,033 \text{ kg}$. La pressione è il rapporto fra una forza e la superficie su cui la forza si esercita. La pressione atmosferica è il rapporto tra la forza peso dell'aria e la superficie su cui questa forza grava. L'unità di misura della pressione è il pascal (Pa): 1 Pa equivale alla pressione esercitata dalla forza di 1 N su una superficie di 1 m^2 . La pressione atmosferica equivale a $10,13 \text{ N/cm}^2 \times 10^4 \text{ cm}^2 = 101.300 \text{ Pa}$.

In meteorologia, per esprimere la pressione atmosferica si ricorre a multipli del pascal, come l'ettopascal (hPa), corrispondente a 100 Pa , e il kilopascal (kPa), corrispondente a 1.000 Pa . Spesso si adopera un'altra unità di misura, il bar ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$), con il suo sottomultiplo millibar ($1 \text{ mbar} = 10^2 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa}$). Sulla nostra testa e sulle nostre spalle sopportiamo il peso di una massa d'aria di circa 100 kg . Può sembrare sorprendente che non avvertiamo l'oppressione di questo peso. In realtà la nostra situazione è analoga a quella dei pesci che vivono a grande profondità, sottoposti a una pressione centinaia di volte maggiore di quella in superficie senza esserne schiacciati. Infatti: la pressione in un fluido si esercita allo stesso modo in tutte le direzioni. Noi non siamo schiacciati dall'aria che ci circonda, perché anche i fluidi interni al corpo esercitano una pressione, che bilancia esattamente quella esterna.

La pressione atmosferica diminuisce in modo esponenziale con la quota. Infatti, più si sale e più diminuisce lo spessore della colonna d'aria che grava con il suo peso

sull'unità di superficie (figura 7.10). A 6 km di quota la pressione è già circa la metà di quella a livello del mare e a 16 km si è ridotta a un decimo. Alla quota di 80 km , la pressione atmosferica è 1 Pa , cioè centomila volte più piccola di quella a livello del mare. La densità dell'aria diminuisce in modo assai rapido con la quota. Infatti, la forza di gravità trattiene vicino alla superficie la maggior parte dei gas atmosferici. L'involucro gassoso è molto denso alla base e sempre più rarefatto man mano che si sale in quota (figura 7.11). Le particelle dei gas dell'aria si comportano come un enorme mucchio di palline di polistirolo. Le palline alla base sono costrette a stare molto vicine, perché pressate dal peso di quelle sovrastanti. Le palline in cima al mucchio sono invece distanziate tra loro e possono fluire con facilità al minimo movimento. La diminuzione di densità dell'aria con la quota è conseguenza del minore numero di particelle presenti. A livello del mare ci sono circa $3 \cdot 10^{19}$, cioè 30 miliardi di miliardi di particelle in 1 cm^3 di aria. A 80 km di quota il numero delle particelle per cm^3 è calato a $3 \cdot 10^{14}$, cioè 300.000 miliardi. A 450 km di quota si trova mediamente una particella per cm^3

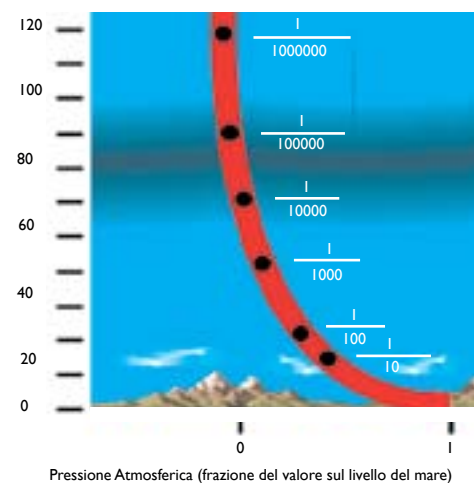


figura 7.10 La curva dell'andamento della pressione atmosferica indica una diminuzione rapida con l'aumentare della quota.

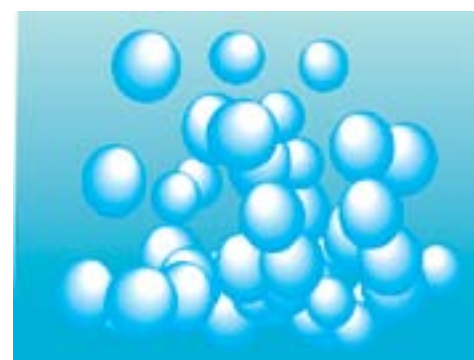


figura 7.11 Man mano che ci si allontana dalla superficie terrestre, la densità dell'atmosfera diminuisce perché il numero di particelle per unità di volume diminuisce

7.10 Mesosfera e termosfera

Le caratteristiche fisiche e i fenomeni atmosferici della troposfera sono oggetto di studio della meteorologia. I moti delle masse d'aria dipendono da variazioni di densità, a loro volta collegate a variazioni di pressione. Per questo motivo, la pressione atmosferica è una grandezza molto importante in meteorologia. La pressione atmosferica varia da zona a zona e, nella stessa area, da momento a momento. Le variazioni della pressione sono dovute a tre fattori: l'altitudine, la temperatura e l'umidità. Esaminiamoli singolarmente. Altitudine. La pressione atmosferica è maggiore al mare che in montagna (figura 7.12). La colonna d'aria che grava in una località posta a livello del mare ha altezza maggiore rispetto a quella di una località montana.

Il peso della massa d'aria che grava sull'unità di superficie è pertanto maggiore. Di conseguenza anche la pressione al mare è maggiore di quella in montagna. Temperatura. L'aria calda è meno densa dell'aria fredda ed esercita una pressione minore. L'aria della troposfera è riscaldata dal calore emesso dalla superficie terrestre. L'aria che si riscalda è costretta a salire, poiché si espande e diventa più leggera dell'aria circostante. Umidità. Il contenuto di vapore acqueo dell'aria esprime la sua umidità. Un volume di aria umida è più leggero di un uguale volume di aria secca che si trovi nelle stesse condizioni di temperatura e pressione. Immaginiamo di pesare un volume di aria secca e un uguale volume di aria umida. La bilancia indicherà un peso maggiore dell'aria secca (figura 7.13). I due volumi d'aria contengono molecole di gas e vapore acqueo. Ogni molecola ha una propria massa e, insieme a tutte le altre molecole contenute nel volume del campione, concorre alla massa complessiva. Le molecole di vapore acqueo hanno massa minore di quella delle molecole dei gas atmosferici. In base al principio di Avogadro, il volume di aria umida contiene il medesimo numero di particelle del volume di aria secca, ma le particelle di vapore acqueo sono in numero superiore. Il peso dell'aria umida è inferiore, perché le leggere particelle di vapore acqueo hanno occupato il posto di un uguale numero di molecole di gas atmosferici, più pesanti. L'aria umida esercita perciò una pressione inferiore rispetto all'aria secca.

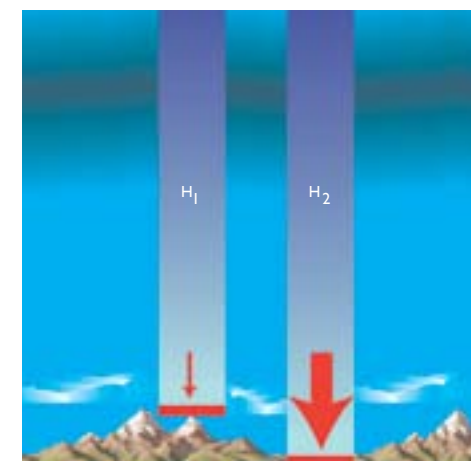


figura 7.12 L'altezza della colonna d'aria sopra la montagna è minore dell'altezza della colonna d'aria sopra il mare. Minore è lo spessore della colonna d'aria, minore è la forza esercitata sull'unità di superficie, minore è la pressione.

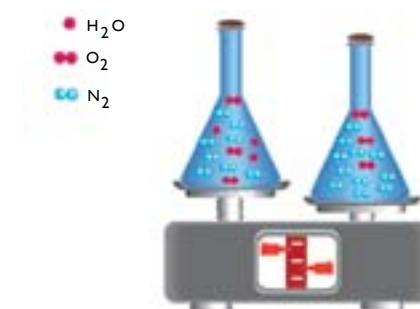


figura 7.13 Nell'aria umida le molecole di vapore acqueo sostituiscono altre molecole, perlopiù di azoto e ossigeno, che hanno massa maggiore. Uguali volumi di aria secca (a sinistra) e umida (a destra) hanno pertanto massa diversa.

7.11 Aree cicloniche e anticicloniche

Nella troposfera si verificano movimenti di masse d'aria in senso verticale e in senso orizzontale. Un parapendio che si libra nel cielo sfrutta i moti ascendenti per rimanere in aria. Una tavola a vela utilizza i moti orizzontali per solcare le onde (figura 7.14). L'aria della troposfera è riscaldata dal basso, a differenza di quello che succede all'acqua del mare. Questa condizione determina instabilità. Una massa d'aria dilatata dal calore diventa meno densa dell'aria circostante e tende a salire. La pressione di questa massa d'aria è minore di quella dell'aria circostante. Al posto dell'aria calda arriva una massa d'aria più densa, che scende dalle alte quote. I movimenti di discesa delle masse d'aria densa avvengono su aree diverse da quelle in cui si registra salita di aria calda. Le aree in cui avviene la discesa di aria sono caratterizzate da alta pressione. Flussi orizzontali di aria raccordano le zone in cui si verificano i moti ascendenti alle zone in cui avvengono i moti discendenti.

METTI A FUOCO

Un chimico italiano dell'Ottocento, Amedeo Avogadro, enunciò un principio fondamentale che riguarda i gas. Il principio di Avogadro afferma che, nelle stesse condizioni di temperatura e pressione, volumi uguali di gas diversi contengono lo stesso numero di particelle.

Isobara deriva dal greco isos = stesso e baros = peso.

CAPITOLO 7

LA TERRA AERIFORME

I flussi che consentono all'aria calda e leggera di risalire e a quella fredda e pesante di discendere sono un caso di moto convettivo (figura 7.15).

In meteorologia si usano le carte del tempo, le carte geografiche su cui lavorano i meteorologi per studiare l'andamento del tempo meteorologico. Nelle carte del tempo i punti che hanno, in un dato momento, la stessa pressione atmosferica sono uniti da linee chiuse e concentriche, dette isobare (figura 7.16). Le aree di alta pressione sono caratterizzate da isobare con valori di pressione crescenti man mano che si procede verso l'isobara più interna. Le aree di alta pressione sono chiamate anche anticicloni. Nelle aree di bassa pressione le isobare hanno valori di pressione che diminuiscono procedendo verso il centro dell'area. Le aree di bassa pressione sono chiamate cicloni.

7.12 I venti

Nelle zone di bassa pressione l'aria è leggera e sale verso gli strati più alti della troposfera. Nelle zone di alta pressione l'aria è pesante e scende verso il suolo. Una persona che si siede su un materassino pneumatico, di quelli che si usano al mare, avvia un processo analogo a quello che si stabilisce tra aree di alta e di bassa pressione (figura 7.17). Lo spostamento orizzontale di aria all'interno del materassino riproduce su piccolissima scala quanto si verifica sulla superficie terrestre in seguito alla differenza di pressione tra due aree. Una massa d'aria si sposta sempre dalla zona ad alta pressione verso quella a bassa pressione. Questo flusso orizzontale di aria è detto vento. La velocità del vento che si produce tra due aree a pressione diversa è direttamente proporzionale alla differenza di pressione e inversamente proporzionale alla distanza tra le aree. I venti più violenti si scatenano quando si originano forti differenze di pressione tra aree separate da



figura 7.14 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.



figura 7.15 Il trasferimento di calore nei liquidi avviene per convezione, cioè per spostamento di massa. Il liquido riscaldato si dilata, diminuisce di densità e sale verso l'alto, sostituito dal liquido più freddo, che scende.

breve distanza. Se la Terra non ruotasse, il flusso d'aria si dirigerebbe verso la zona di bassa pressione seguendo la via più breve e diretta. Il percorso più diretto è quello che interseca ad angolo retto le isobare. La massa d'aria, nel suo movimento verso la zona di bassa pressione, viene però continuamente deviata per azione della forza di Coriolis (cfr. DOCUMENTO 6.2) e a causa dell'attrito con la superficie. Il risultato di queste complesse interazioni è che le masse d'aria in movimento assumono un andamento vorticoso. È proprio questa caratteristica a giustificare i nomi, cicloni e anticicloni, usati per identificare le aree di bassa e alta pressione. Nell'emisfero settentrionale i venti escono dalle aree anticicloniche ruotando in senso orario ed entrano nelle aree cicloniche ruotando in senso antiorario (figura 7.18). Al contrario, nell'emisfero meridionale i venti escono dalle aree anticicloniche ruotando in senso antiorario ed entrano nelle aree cicloniche ruotando in senso orario. L'angolo con il quale i venti intersecano le isobare è molto piccolo. Nell'alta troposfera, dove non c'è attrito con la superficie terrestre, i venti spirano in direzione parallela alle isobare.

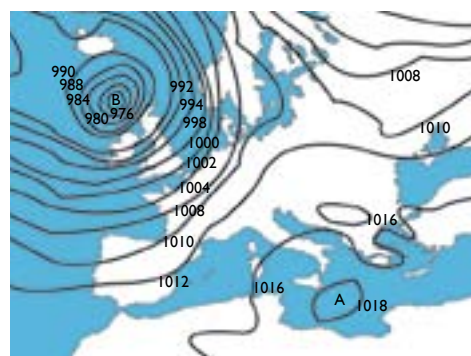


figura 7.16 Le carte del tempo riportano l'andamento della pressione atmosferica. Le isobare uniscono punti aventi la stessa pressione. I numeri indicano la pressione espressa in millibar.

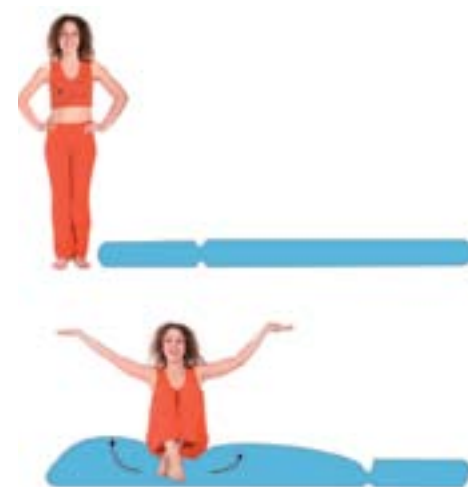


figura 7.17 In corrispondenza del punto in cui la persona si siede, l'aria all'interno del materassino subisce un aumento di pressione ed è spinta verso il basso. Le zone del materassino che non sono gravate dal peso della persona hanno pressione minore. L'aria delle zone di alta pressione si sposta rapidamente verso le zone a pressione più bassa. Ciò è reso evidente dal fatto che in queste zone il materassino si gonfia di più.

7.13 Le brezze

Le differenze di pressione atmosferica tra zone vicine generano un sistema di venti che, soprattutto nel periodo estivo, interessano le località di mare e di montagna. Questi venti sono le brezze, che spirano con regolare periodicità: durante il giorno in un verso, durante la notte nel verso opposto. Le brezze interessano aree molto circoscritte della superficie terrestre. Nelle località di mare, le brezze sono dovute al differente comportamento dell'acqua e della terraferma in conseguenza del riscaldamento solare. La brezza di mare soffia dal mare verso la terraferma nelle ore più calde della giornata, la brezza di terra spirava di notte dalla costa verso il mare (figura 7.19). Durante la giornata, il mare si riscalda più lentamente rispetto alla terraferma e perciò sul mare si determina un'area di alta pressione mentre la bassa pressione è sulla terra ferma. Durante la notte, il suolo perde più velocemente calore rispetto al mare: l'area di alta pressione si forma sulla terraferma e quella di bassa pressione si forma sul mare. Le località di montagna sono interessate dalla brezza di valle durante le ore calde del giorno e dalla brezza di monte durante la notte (figura 7.20). Anche in questo caso il fenomeno è legato al diverso riscaldamento di zone adiacenti. Durante il giorno sopra la zona valliva si stabilisce un'area di alta pressione, mentre sulla sommità delle montagne si determina un'area di bassa pressione: la brezza soffia dalla valle verso la montagna. Infatti, la sommità della

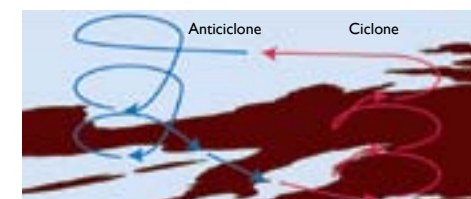


figura 7.18 Un vento è una massa d'aria in movimento da una zona di alta pressione, anticiclone, a una zona di bassa pressione, ciclone. La massa d'aria subisce una deviazione. Nel nostro emisfero i venti con circolazione oraria escono dall'area di alta pressione e convergono con circolazione antioraria verso l'area di bassa pressione.

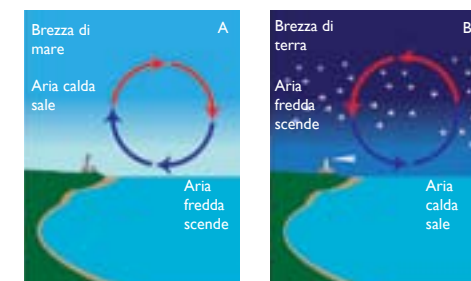


figura 7.19 (A), la brezza di mare è un leggero vento che spirava dal mare verso la terraferma durante le ore più calde del giorno. (B), la brezza di terra è un leggero vento che soffia dalla terraferma verso il mare durante le ore più fredde della notte fino all'alba.



figura 7.20 (A), la brezza di valle è un leggero vento che spirava dalla valle verso i monti durante le ore più calde del giorno. (B), la brezza di monte è un leggero vento che soffia dalla sommità delle montagne verso la valle durante le ore più fredde della notte fino all'alba.

montagna è aggiunta per prima dai raggi solari e l'aria sovrastante si riscalda prima rispetto all'aria che si trova in fondo alla valle. Durante la notte avviene il contrario: la sommità della montagna si raffredda più velocemente rispetto alla valle e l'aria si sposta dalla montagna verso la valle.

Lezione 28 Prima di proseguire

20. Perché la pressione dell'aria non ci dà alcun disturbo?
21. Perché la pressione atmosferica diminuisce rapidamente con la quota?
22. Come si può spiegare il fatto che un certo volume di aria secca pesa più di un identico volume di aria umida?
23. Come avviene il riscaldamento della troposfera? Perché le modalità di questo riscaldamento causano condizioni di instabilità gravitazionale?
24. Quali altri tipi di moti si verificano nella troposfera oltre a quelli verticali?
25. Spiega perché l'aria umida tende a salire verso le quote alte.
26. Che cosa sono le isobare?
27. In una carta del tempo sono tracciate isobare i cui valori diminuiscono man mano che diminuisce la superficie delimitata da ciascuna isobara. Al centro di queste isobare si trova un'area di alta pressione oppure

- un'area di bassa pressione?
- Giustifica brevemente la tua risposta.
28. Che cosa sono i cicloni e gli anticicloni? Quale relazione esiste tra questi termini e le caratteristiche delle aree a cui i termini si riferiscono?
29. Descrivi come si originano le brezze di mare e le brezze di terra.
30. Quali fattori influenzano la velocità del vento?

CAPITOLO 7

LA TERRA AERIFORME

L'a circolazione generale dei venti

7.14 La circolazione generale nella bassa toposfera

Su scala locale, se si escludono le brezze, i venti soffiano in modo irregolare e discontinuo. Nella stessa località possono cambiare rapidamente direzione da un giorno all'altro o possono anche essere assenti. Ciò dipende dalla conformazione del territorio, dalla presenza del mare o delle montagne. Se però esaminiamo la situazione su scala planetaria, possiamo individuare fasce ben delimitate, in cui i venti spirano secondo una direzione nettamente prevalente. Fin dalle prime traversate oceaniche dall'Europa all'America centrale, sulla stessa rotta seguita da Cristoforo Colombo, i marinai sfruttavano gli alisei, venti costanti e affidabili. Nella traversata di ritorno verso l'Europa i marinai impararono presto a sfruttare un altro sistema di venti, meno regolari degli alisei, ma ugualmente costanti. Questi venti, conosciuti come venti occidentali, spirano alle medie latitudini. Gli abitanti delle regioni situate alle alte latitudini nell'emisfero boreale sono da sempre a conoscenza di un altro sistema di venti, detti venti orientali polari, che soffiano con notevole regolarità. Infine, molto temute dai navigatori a vela, le zone situate nei pressi dell'equatore, in cui il vento è quasi assente e per questo motivo chiamate zone delle calme equatoriali. Seguendo il modello usato nei paragrafi precedenti, possiamo ipotizzare che la regolare circolazione dei venti sia dovuta alla presenza di fasce di alta e bassa pressione permanenti, che mettono in movimento grandi masse d'aria (figura 7.21). In effetti questa previsione è confermata dall'andamento della pressione in prossimità della superficie terrestre. In corrispondenza dell'equatore il Sole riscalda fortemente l'aria ed è intensa anche l'evaporazione. L'aria calda e umida è leggera e si solleva. A livello della superficie si determina una fascia di basse pressioni permanenti, dette basse pressioni equatoriali. Le basse pressioni equatoriali sono zone di convergenza al suolo, perché richiamano masse d'aria più fredda e secca. Intorno ai 30° di latitudine è presente una fascia di alte pressioni costanti, dette alte pressioni subtropicali. Queste aree anticicloniche sono il risultato della discesa di aria dall'alta troposfera. L'aria risalita a livello dell'equatore è richiamata verso i poli, ma arrivata in corrispondenza della tropopausa, ormai secca, fredda e pesante, è costretta a scendere. Le alte pressioni subtropicali sono zone di divergenza al suolo, perché da esse prendono origine i venti che si dirigono verso le basse pressioni. Intorno ai 60° di latitudine si trova una zona in cui sono presenti costantemente basse pressioni, le basse pressioni subpolari, dovute prevalentemente alla grande umidità dell'aria. Anche in queste zone si verifica convergenza al suolo.

Le zone di convergenza richiamano masse d'aria dalle zone di divergenza (figura 7.22).

In corrispondenza dei poli l'aria è molto fredda e secca, perciò pesante. Si determina una zona di alte pressioni, le alte pressioni polari, caratterizzate da divergenza al suolo. Gli alisei soffiano dalle aree di alta pressione subtropicale verso le basse pressioni equatoriali. Nell'emisfero settentrionale, a causa della forza di Coriolis, gli alisei subiscono una deviazione verso destra e pertanto spirano da nord est verso sud ovest. I venti occidentali spirano dalle alte pressioni subtropicali verso le basse pressioni subpolari. Anche in questo caso interviene la deviazione dovuta alla forza di Coriolis. Poiché le masse d'aria si allontanano dall'equatore, i venti occidentali soffiano da sud ovest verso nord est. I venti orientali polari si spostano dal polo nord verso le basse pressioni subpolari e soffiano da nord est verso sud ovest. Nell'emisfero meridionale si ha una situazione analoga a quella descritta per l'emisfero settentrionale. Gli alisei soffiano da sud est verso nord ovest, i venti occidentali spirano da nord ovest verso sud est e i venti polari spirano da sud est verso nord ovest. Gli alisei dei due emisferi convergono verso l'equatore e si esauriscono nella zona delle calme equatoriali.

METTI A FUOCO

In meteorologia la convergenza è un fenomeno che si presenta dove le masse d'aria si incontrano. La divergenza è il deflusso orizzontale di aria, in tutte le direzioni, dal centro verso l'esterno di un'alta pressione.

A causa della presenza di terre emerse, la fascia di basse pressioni subpolari si riduce a due grandi aree cicloniche permanenti, una sull'Oceano Atlantico e una sull'Oceano Pacifico. La depressione atlantica è nota come Ciclone d'Islanda ed è molto importante per le condizioni meteorologiche di tutta l'Europa, perché è l'area in cui si originano le perturbazioni che interessano il continente europeo.

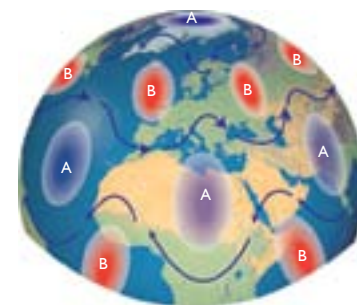
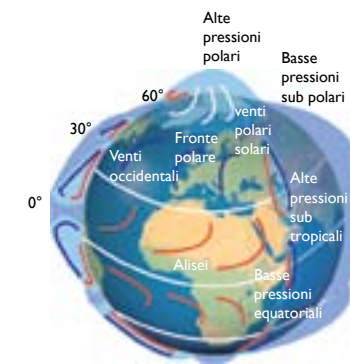


figura 7.21 Figura di sinistra. Aree di bassa e alta pressione nell'emisfero boreale. Le aree di alta e bassa pressione si alternano regolarmente e determinano l'origine dei sistemi di venti costanti che soffiano sulla superficie terrestre.

figura 7.22 (figura di destra) L'aria sale in corrispondenza delle basse pressioni e scende in corrispondenza delle alte pressioni. I venti costanti di bassa quota si dirigono dalle zone di alta pressione a quelle di bassa pressione



7.15 La circolazione generale nell'alta toposfera

Alle basse quote le traiettorie delle masse d'aria in movimento, cioè i venti, risentono notevolmente dell'attrito con la superficie terrestre e delle differenze di riscaldamento tra aree continentali e aree oceaniche. Man mano che si sale in quota, sui venti si fanno sentire sempre meno l'influenza dell'attrito col suolo e il diverso comportamento termico dei continenti rispetto agli oceani. A quote comprese tra 3.000 e 5.000 metri, i venti spirano con grande regolarità e costanza. Nell'alta troposfera, sopra l'equatore, si determinano condizioni di alta pressione. In corrispondenza dei poli si formano aree di bassa pressione. Queste situazioni sono esattamente l'opposto di ciò che si registra a livello della superficie. L'inversione rispetto alla bassa troposfera dipende dallo spessore della troposfera all'equatore, più che doppio di quello ai poli. Nelle zone superiori della troposfera l'aria all'equatore si trova a una quota maggiore ed è più fredda di quella ai poli. Le pressioni più elevate si registrano pertanto in corrispondenza dell'equatore. Anche in alta quota l'aria si sposta da aree di alta pressione verso aree di bassa pressione. Ciò significa che l'aria si muove dall'equatore verso i poli. Le correnti d'aria, richiamate verso i poli, sono deviate verso est a causa del moto di rotazione della Terra (figura 7.23). Si originano così le correnti occidentali che caratterizzano la circolazione di alta quota a quasi tutte le latitudini. Solo in una fascia relativamente ristretta, intorno all'equatore, spirano correnti orientali. Al limite superiore della troposfera le correnti occidentali producono flussi d'aria stretti e canalizzati molto veloci. Questi venti sono noti come correnti a getto. Si conoscono due correnti a getto per ciascun emisfero. In una fascia compresa tra 25 e 35° di latitudine si trova la corrente a getto subtropicale (figura 7.24). In corrispondenza della latitudine di circa 60° si trova l'altra corrente a getto, la corrente a getto del fronte polare.

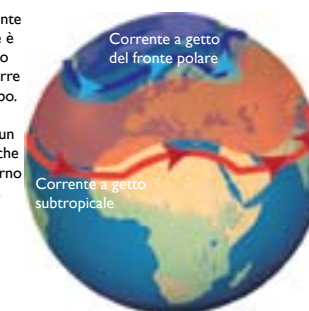
La corrente a getto è un flusso d'aria compatto, che corre a grande velocità (500 km/h circa) parallelo alla superficie terrestre. Il flusso è largo alcune centinaia di chilometri e ha uno spessore di pochi chilometri. Le correnti a getto si muovono da ovest verso est, vanno perciò nello stesso verso del moto di rotazione della Terra. Questi forti venti sono i flussi più veloci del sistema delle correnti occidentali di alta quota. Le correnti a getto, per alcuni aspetti, sono paragonabili alle correnti marine superficiali (cfr. § 6.8). Le correnti a getto sono «fiumi» d'aria che si muovono con velocità diversa rispetto all'aria circostante. La corrente a getto subtropicale è pressoché rettilinea e cambia posizione nel corso dell'anno: nell'emisfero boreale si avvicina all'equatore d'inverno, mentre d'estate si sposta verso nord. Le aree di alta e bassa pressione permanenti nella bassa troposfera seguono le fluttuazioni della corrente a getto subtropicale. Le condizioni meteorologiche sull'area del Mediterraneo sono fortemente influenzate da un'area di alta pressione permanente chiamata anti-

clone delle Azzorre. D'inverno l'anticiclone, che segue le migrazioni della corrente a getto subtropicale, si sposta verso l'equatore e il Mediterraneo è più esposto alle correnti umide occidentali provenienti dall'Atlantico (figura 7.25). D'estate l'anticiclone sale verso nord e blocca la via verso il Mediterraneo alle correnti atlantiche. In confronto alla corrente a getto subtropicale, la corrente a getto del fronte polare è meno regolare e forma profondi meandri e saccature. Anche questa corrente influenza notevolmente le condizioni meteorologiche delle regioni di media latitudine, Italia compresa.

figura 7.23 Nell'alta troposfera, al di sopra dell'equatore, c'è un'area di alte pressioni, mentre sopra i poli si stabilizza un'area di basse pressioni. La circolazione è costante e molto regolare, perché nell'alta troposfera diventano trascurabili le perturbazioni dovute all'attrito e al riscaldamento, presenti in bassa quota.



figura 7.24 La corrente a getto subtropicale è un velocissimo vento occidentale che scorre tutto intorno al globo. La corrente a getto del fronte polare è un altro veloce vento, che scorre sinuoso intorno alle latitudini di 60°.



METTI A FUOCO

I venti dell'alta troposfera non risentono dell'influenza dell'attrito e della presenza di ostacoli, ma subiscono solo l'influenza della forza di Coriolis.

Le rotte intercontinentali degli aerei tengono conto delle correnti a getto, per evitarle quando il volo è diretto da est verso ovest e per sfruttarle quando il volo è diretto nella direzione opposta. La scoperta delle correnti a getto si deve ai piloti militari della seconda guerra mondiale.

CAPITOLO 7

LA TERRA AERIFORME

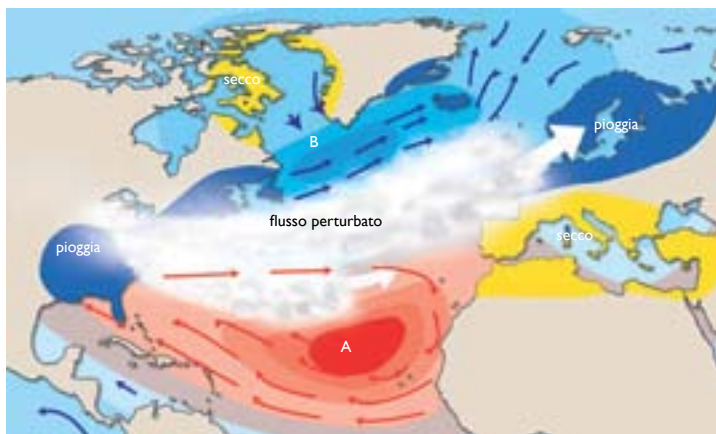
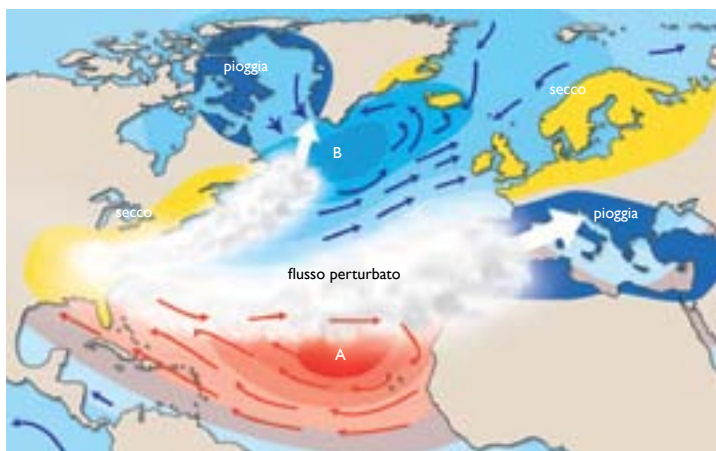


figura 7.25 L'anticiclone delle Azzorre (A) si sposta stagionalmente. (in alto) Durante l'inverno si posiziona a sud e le perturbazioni legate all'area di bassa pressione (B) possono arrivare facilmente sull'area mediterranea. (in basso) D'estate (A) si posiziona più a nord e determina generali condizioni di stabilità nell'area mediterranea.

per la risalita di aria calda e umida di provenienza subtropicale in corrispondenza delle medie latitudini, lungo la massa d'aria fredda di origine polare. La massa d'aria calda è costretta a salire verso la tropopausa e acquista velocità formando la corrente a getto polare, con direzione ovest-est.

Lezione 29 Prima di proseguire

31. Come si genera la zona delle calme equatoriali?
32. Quali sono le cause che determinano l'instaurarsi dei venti costanti?
33. Quali sono i venti dell'alta troposfera e in quale direzione spirano?
34. Che cosa sono le correnti a getto?
35. Perché nella bassa troposfera la fascia equatoriale rappresenta una zona di basse pressioni, mentre nell'alta troposfera le pressioni alle latitudini equatoriali sono superiori a quelle che si hanno alle latitudini polari?
36. In ciascun emisfero sono presenti nella bassa troposfera fasce caratterizzate da valori abbastanza costanti di pressione. Indica le latitudini in cui si trovano queste fasce e specifica per ciascuna fascia se si tratta di una zona di alta pressione oppure di una zona di bassa pressione.

documento 7.4 Origini delle correnti a getto

All'equatore l'aria calda e umida sale e quando arriva alla tropopausa, non potendo più salire, incomincia a spostarsi verso i poli. A causa della forza di Coriolis l'aria è deviata verso est. Man mano che si sposta verso una latitudine più elevata, l'aria acquista velocità. Tuttavia, la velocità dell'aria non può superare un certo limite, che è raggiunto in corrispondenza della latitudine di circa 30° nord e sud. A queste latitudini una parte dell'aria è costretta a scendere verso la superficie terrestre e si formano le aree di alta pressione subtropicali al suolo. La parte restante della massa d'aria rimane alla quota della tropopausa e si sposta in direzione ovest-est formando la corrente a getto subtropicale. La corrente a getto del fronte polare si origina

Esercizi di fine capitolo Sintesi con completamento

Riassunto del capitolo in forma di esercizio di riempimento. Inserisci nel brano seguente i termini mancanti in corrispondenza degli spazi vuoti. I termini mancanti sono compresi nell'elenco riportato a lato del brano. Ciascun termine che compare nell'elenco può essere usato una volta, più volte o mai.

Elenco dei termini:

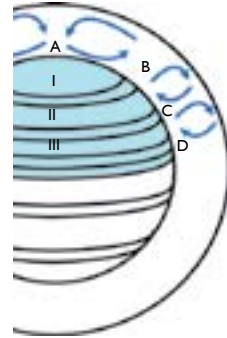
alisei, alta, anticicloni, antiorario, argo, atomico, aurore, azoto, bassa, brezze, cicloni, correnti, densa, densità, destra, dissociazione, elio, equatoriali, flusso, gassoso, inversione, ioni, ionizzazione, ionosfera, latitudini, liquido, longitudini, macchie, mesosfera, occidentali, orario, orientali, ossido di azoto, ossigeno, ozono, pause, peso, molecolare, polari, pressione, rarefatta, sale, scende, sinistra, stratosfera, termosfera, troposfera, umidità.

L'atmosfera è l'involucro che circonda la Terra e che va rapidamente rarefacendosi con la quota. L'atmosfera è suddivisa in atmosfera eatmosfera in relazione alla composizione e alla struttura. I gas più abbondanti nellaatmosfera, omogeneamente mescolati, sono l'azoto, l'ossigeno molecolare, l' e il diossido di carbonio. L'atmosfera è stratificata in tre fasce: nella fascia più bassa prevale l' , nella fascia intermedia l'ossigeno..... e nella fascia più esterna l'idrogeno insieme all'elio. La massa dell'atmosfera è concentrata in prossimità della superficie terrestre. Pressione e dei gas atmosferici diminuiscono sensibilmente con la quota. In base all'andamento della temperatura, l'atmosfera è suddivisa in sfere: (la temperatura diminuisce con la quota), (la temperatura aumenta con la quota), (la temperatura diminuisce con la quota), (la temperatura aumenta con la quota). Le sfere sono separate da , superfici di discontinuità in corrispondenza delle quote in cui avviene l' dell'andamento di temperatura. La è la sede dei fenomeni meteorologici. Nella si forma , con un processo che comporta l'assorbimento della maggior parte delle radiazioni ultraviolette solari. Negli strati superiori della bassa atmosfera e nell'alta atmosfera i raggi solari determinano la degli atomi presenti; a causa della rarefazione di questi atomi, gli e gli elettroni rimangono separati e determinano la presenza prevalente di particelle cariche. Per questo motivo gli strati superiori dell'atmosfera sono indicati con il termine La consente la riflessione delle onde radio e permette la loro trasmissione a grande distanza. Inoltre sono le particelle cariche della a causare il fenomeno delle polari. La troposfera è caratterizzata da moti convettivi nei quali l'aria calda e leggera e l'aria fredda e pesante La atmosferica, esercitata dal peso dell'aria, varia in relazione all'altitudine, alla temperatura e alla Le isobare sono linee che uniscono punti che hanno la medesima atmosferica. Nelle carte del tempo, le isobare delimitano aree di alta pressione, o , e aree di bassa pressione, o Nelle aree anticicloniche dell'emisfero nord l'aria scende vorticosamente e si allontana in senso Nelle aree cicloniche dell'emisfero nord l'aria circola in senso e si sposta verso l'alto. Da un'area anticiclonica a un'area ciclonica si stabilisce un d'aria orizzontale che forma il vento. I venti subiscono l'influenza della forza di Coriolis e deviano verso nell'emisfero boreale e verso nell'emisfero australe. Nelle zone costiere si originano venti locali, chiamati , a seguito di variazioni di pressioni che si generano tra le superfici marina e continentale. Su scala planetaria, nella bassa troposfera sono presenti tre grandi sistemi di venti costanti per ogni emisfero: i venti , i venti occidentali e i venti orientali I venti costanti si originano da differenze permanenti di pressione che si instaurano a diverse e che prendono il nome di basse pressioni , pressioni subtropicali, basse pressioni subpolari e alte pressioni Nell'alta troposfera si formano correnti regolari, ad eccezione di una ristretta fascia equatoriale in cui spirano correnti Ai limiti superiori della troposfera, in corrispondenza all'incirca dei 30° e dei 60° di latitudine, circolano le impetuose a getto.

Verifica delle conoscenze e della comprensione

DOMANDE APERTE

1. L'atmosfera terrestre disperde continuamente atomi nello spazio, prevalentemente atomi di idrogeno ed elio. Qual è la fonte dell'energia che consente a questi atomi di vincere l'attrazione terrestre e liberarsi nello spazio extraterrestre?
2. Perché il vapore acqueo è assente nella stratosfera?
3. Perché alle basse quote della troposfera, dove la concentrazione dell'ossigeno è elevata, l'ozono non è presente, se non in quantità trascurabili?
4. Spiega perché è nella mesosfera che si registrano le temperature più basse di tutta l'atmosfera.
5. A quale quota è più abbondante l'ozono? Perché questa quota non coincide con la quota alla quale si ha il massimo assorbimento di raggi ultravioletti?
6. Per quale motivo la presenza di ioni nell'atmosfera comincia ad essere sensibile solo al di sopra di una certa quota, all'incirca 50 km?
7. Perché il fenomeno delle aurore polari si presenta sporadicamente e non in modo continuo?
8. In una calda giornata estiva spira un piacevole vento fresco. Un osservatore si pone in modo che il vento lo colpisca direttamente in faccia. Dove si trovano l'area di alta pressione e l'area di bassa pressione rispetto alla posizione dell'osservatore?
9. Perché i venti sui mari sono in genere più impetuosi di quelli sulla terraferma?
10. Durante le afose giornate estive, quando l'umidità è molto alta, si dice che «l'aria è pesante». È giustificata questa affermazione? Giustifica la tua risposta.
11. Perché per conoscere le condizioni meteorologiche in Italia è importante conoscere le condizioni delle masse d'aria sull'Oceano Atlantico?
12. Perché gli ambienti riservati ai passeggeri e all'equipaggio degli aeroplani che volano ad alta quota sono pressurizzati?
13. Un vento prende origine da un ciclone oppure da un anticiclone? Giustifica la tua risposta.
14. Esistono venti locali, che interessano le sponde dei grandi laghi, chiamati brezze di lago. In quale modo pensi che questi venti possano originarsi?
15. Perché la posizione dell'anticiclone delle Azzorre varia stagionalmente? Quali conseguenze ha questa variazione sulle condizioni meteorologiche prevalenti nell'area del Mediterraneo?



Lo schema sopra rappresenta l'emisfero settentrionale della Terra e, non in scala, alcuni moti delle masse d'aria nella troposfera. Le lettere A, B, C, D indicano aree di alta e bassa pressione sulla superficie della Terra. I numeri romani I, II, III indicano fasce latitudinali. Usa lo schema per rispondere alle domande da 16 a 21.

16. Quali lettere indicano le aree di alta pressione e quali le aree di bassa pressione?
17. Qual è il verso prevalente dei venti in ciascuna delle fasce latitudinali I, II, III?
18. Se si prendesse in esame anche l'emisfero meridionale, la sequenza delle aree di alta e bassa pressione si presenterebbe uguale dall'equatore al polo oppure sarebbe diversa? Giustifica la tua risposta.
19. Se si prendesse in esame anche l'emisfero meridionale, il verso prevalente dei venti nelle fasce latitudinali specularmente equivalenti sarebbe lo stesso che nell'emisfero settentrionale oppure sarebbe diverso? Giustifica la tua risposta.

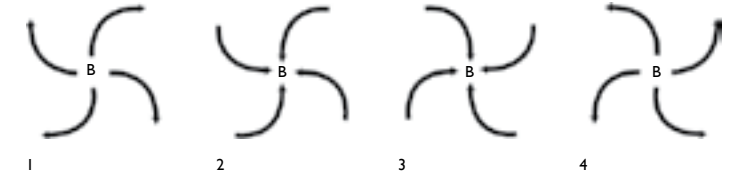
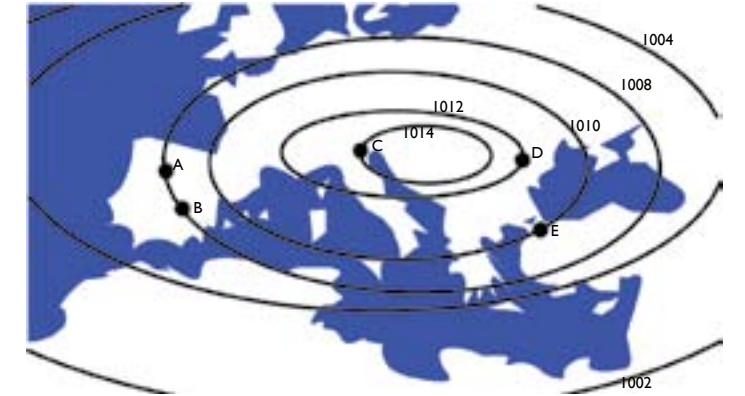
20. A quale stagione è più probabile che si riferisca lo schema? Giustifica la tua risposta.
21. Se la rappresentazione della troposfera fosse in scala rispetto alle dimensioni della Terra, lo spessore rappresentato sarebbe maggiore o minore di quello che appare nello schema? Giustifica la tua risposta.

DOMANDE A RISPOSTA MULTIPLA

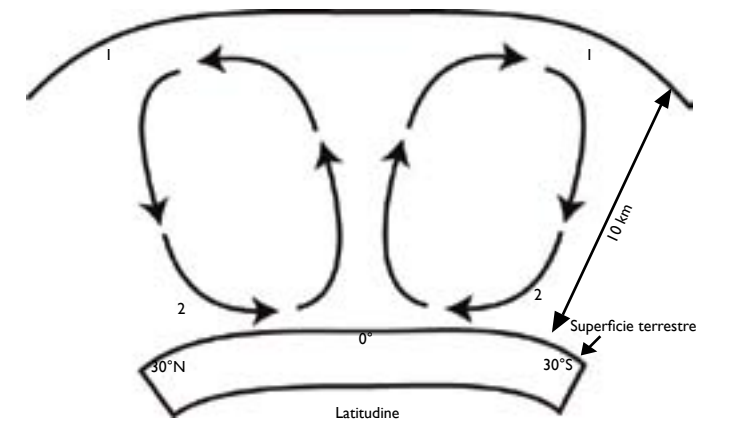
22. Qual è l'elemento più abbondante nell'atmosfera terrestre?
A argo; B diossido di carbonio; C azoto; D ossigeno.
23. Qual è il corretto ordine delle sfere che formano l'atmosfera dal basso verso l'alto?
A stratosfera/mesosfera/termosfera/troposfera; B stratosfera/troposfera/mesosfera/termosfera; C troposfera/mesosfera/termosfera/stratosfera; D troposfera/stratosfera/mesosfera/termosfera.
24. Quale strato dell'atmosfera è caratterizzato dalla maggiore densità dei gas?
A mesosfera; B stratosfera; C termosfera; D troposfera.
25. In quale strato dell'atmosfera vi è ozono?
A mesosfera; B stratosfera; C termosfera; D troposfera.
26. In quale strato dell'atmosfera hanno luogo virtualmente tutti i fenomeni atmosferici?
A mesosfera; B stratosfera; C termosfera; D troposfera.
27. Quali sono i due strati dell'atmosfera in cui avvengono moti convettivi?
A mesosfera e stratosfera; B stratosfera e termosfera; C troposfera e termosfera; D mesosfera e troposfera.
28. Quali radiazioni elettromagnetiche sono assorbite dallo strato di ozono?
A infrarosso; B ultravioletto; C microonde; D luce visibile.
29. Le aurore polari sono fenomeni originati da:
A ioni ed elettroni che urtano a grande velocità le molecole dei gas atmosferici; B radiazioni elettromagnetiche solari assorbite dai gas alle alte quote della troposfera; C interazioni tra il campo magnetico terrestre e le molecole di ozono della stratosfera; D surriscaldamento delle molecole rarefatte che si trovano nella termosfera.

30. Il cielo sereno è azzurro perché:
A le molecole dell'aria diffondono le lunghezze d'onda dell'azzurro più degli altri colori;
B le molecole dell'aria diffondono le lunghezze d'onda dell'azzurro meno degli altri colori;
C le radiazioni solari ultraviolette innozzano le molecole dell'aria, che emettono luce azzurra;
D sono presenti nell'aria molecole di vapore acqueo, che su grandi spessori impartiscono il colore azzurro.
31. A una quota di 160 km nell'atmosfera quasi tutta l'energia solare incidente può ancora essere rilevata. A una quota di 100 km, la presenza dei raggi X nella radiazione solare non può più essere rilevata e manca anche una parte della radiazione ultravioletta. La radiazione mancante è stata con ogni probabilità:
A assorbita nella termosfera;
B assorbita nella mesosfera;
C riflessa dalla stratosfera;
D riflessa dalla troposfera.
32. Gli scienziati si preoccupano dell'assottigliamento dello strato di ozono soprattutto perché le molecole di ozono proteggono le forme di vita sulla Terra grazie all'assorbimento di:
A raggi X;
B radiazione ultravioletta;
C radiazione infrarossa;
D microonde.
33. Alcuni dati portano a ritenere che circa 4 miliardi di anni fa l'atmosfera della Terra contenesse vapore acqueo, diossido di carbonio, azoto e altri gas in piccole quantità. Questi gas probabilmente provenivano da:
A reazioni chimiche nelle acque continentali;
B eruzioni vulcaniche;
C moti convettivi nelle acque oceaniche;
D evaporazione dalle acque oceaniche.
34. Un gruppo di studenti intende studiare l'effetto dell'altitudine sul livello del mare su temperatura e pressione dell'aria. Pertanto preparano un'escursione con partenza da Predazzo, una località della Val di Fiemme posta a 1.020 m sul livello del mare, per giungere, in circa 5 ore, al Rifugio Torre di Pisa, posto alla quota di 2.670 m. Quali strumenti dovranno portare gli studenti nell'escursione per raccogliere i dati necessari alla loro ricerca?
A un anemometro e un igrometro;
B un anemometro e un barometro;
C un termometro e un igrometro;
D un termometro e un barometro.
35. Nella carta del tempo raffigurata in alto a destra è rappresentata un'area di alta pressione. I valori delle isobare sono in millibar (mbar). Le lettere da A a E indicano diverse località. Quali sono le località fra le quali si ha la maggiore velocità del vento?
36. Quale degli schemi riportati in basso a destra indica nel modo più preciso il movimento di masse d'aria di bassa quota intorno a un'area di bassa pressione nell'emisfero settentrionale?
37. I venti superficiali della Terra sono causati da:
A differenze di densità dell'aria causate da
B ineguale riscaldamento della superficie terrestre;
C diverse velocità lineari di rotazione alle diverse latitudini del pianeta;
D differenze nell'assorbimento dei raggi ultravioletti alle diverse quote dell'atmosfera;
diversa composizione dei gas che formano l'atmosfera in diverse località
38. Le masse d'aria si muovono con:
A moti ascensionali nelle aree di alta pressione,

B moti discensionali nelle aree di bassa pressione e si muovono da un'area di alta pressione verso un'area di bassa pressione;
C moti ascensionali nelle aree di bassa pressione, moti discensionali nelle aree di alta pressione e si muovono da un'area di alta pressione verso un'area di bassa pressione;
D moti ascensionali nelle aree di alta pressione, moti discensionali nelle aree di bassa pressione e si muovono da un'area di bassa pressione verso un'area di alta pressione;
E moti ascensionali nelle aree di bassa pressione, moti discensionali nelle aree di alta pressione e si muovono da un'area di bassa pressione verso un'area di alta pressione.



Lo schema in basso rappresenta la sezione trasversale di una porzione dell'atmosfera terrestre collocata fra 30° N e 30° S di latitudine. I numeri 1 e 2 rappresentano differenti posizioni dell'atmosfera. Utilizza lo schema per rispondere alle domande da 39 a 41.



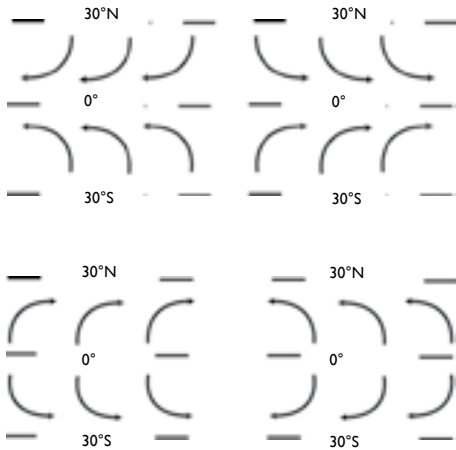
39. Quale sfera è rappresentata (o quali sfere sono rappresentate) nella sezione trasversale?
A troposfera; B stratosfera; C troposfera e stratosfera;
D troposfera, stratosfera e mesosfera.
40. Il movimento dell'aria rappresentato nello schema è causato da:
A condensazione; B conduzione; C evaporazione; D convezione;
41. La percentuale in volume di ossigeno nell'aria in corrispondenza della posizione 2 è circa il:
A 10%; B 21%; C 33%; D 46%.
42. Quali sono i due strati dell'atmosfera caratterizzati da un profilo termico che facilita il verificarsi di moti convettivi?
A mesosfera e stratosfera; B stratosfera e termosfera; C troposfera e mesosfera;
D mesosfera e termosfera.

CAPITOLO 7

LA TERRA AERIFORME

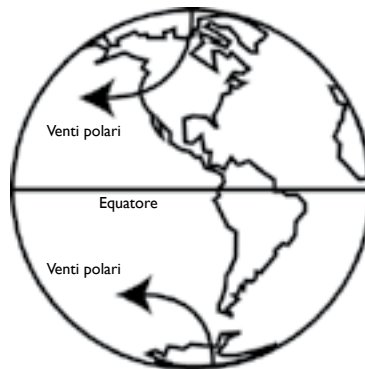
43. Quale dei seguenti componenti è presente sia nell'alta atmosfera sia nella bassa atmosfera?
 A pulviscolo atmosferico;
 B ossigeno atomico;
 C azoto molecolare;
 D vapore acqueo

44. Quale fra gli schemi in basso meglio rappresenta il movimento dei venti di bassa quota fra le latitudini di 30° N e 30° S?
 A 1;
 B 2;
 C 3;
 D 4.

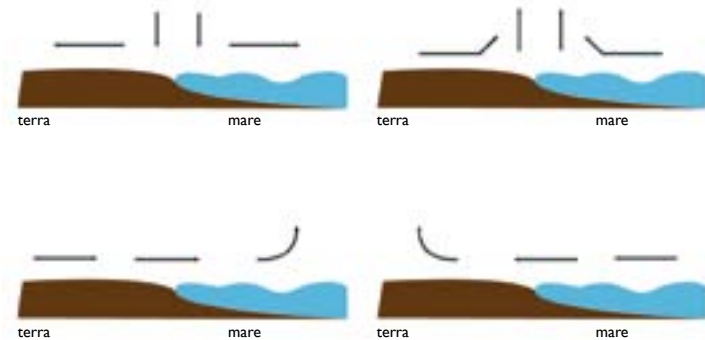


45. Nella bassa troposfera, i venti prevalenti delle medie latitudini sono:
 A alisei; B venti orientali; C venti occidentali;
 D brezze.

46. La causa della deviazione dei venti polari dei due emisferi, messa in evidenza nello schemain basso, è:
 A il moto di rotazione della Terra intorno al proprio asse;
 B la differenza di temperatura tra le aree polari e quelle più prossime all'equatore;
 C la forma non perfettamente sferica, ma schiacciata ai poli, della Terra;
 D la diversa estensione di terre emerse che c'è tra le aree polari e quelle più prossime all'equatore.



47. Una superficie di terra emersa e l'oceano adiacente hanno la stessa temperatura all'alba di una giornata estiva serena e calma. In seguito, terra e oceano sono scaldati dal Sole per diverse ore. Quale degli schemi riportati in basso meglio descrive il movimento delle masse d'aria che si avrà nella zona considerata dopo il riscaldamento del Sole?
 A 1; B 2; C 3; D 4.



48. Quale fra i fattori di seguito elencati NON ha influenza sulla direzione del moto dei venti?

- A distribuzione delle aree di alta e bassa pressione;
- B moto di rotazione della Terra;
- C moto di rivoluzione della Terra;
- D presenza di masse continentali.

49. Nelle trasmissioni radio, le onde corte sono ricevute a grande distanza meglio delle onde medie e lunghe perché:
 A non sono assorbite dallo strato di ozono;
 B sono riflesse a una quota più alta;
 C si propagano lungo traiettorie curvilinee anziché rettilinee;
 D dissipano meno energia nella propagazione.