

## **Gheb**

Collana di studi sul sistema Terra-Atmosfera

---

### **3**

nell'antica cosmologia egiziana il Cielo (dio Nut)  
abbraccia dall'alto la Terra (dio Gheb),  
l'aria (dio Scew) si interpone  
equilibrando e armonizzando l'Universo

Adelmo Ferri

# **Meteorologia per il volo da diporto e sportivo**

*per coloro che amano volare in ogni modo*



Copyright © MMV  
ARACNE editrice S.r.l.

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)  
[info@aracneeditrice.it](mailto:info@aracneeditrice.it)

via Raffaele Garofalo, 133 A/B  
00173 Roma  
tel. (06) 93781065  
telefax (06) 72678427

ISBN 88-548-968-0

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,  
di riproduzione e di adattamento anche parziale,  
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie  
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: aprile 2005

## INDICE

Capitolo I	Nozioni di meteorologia generale . . . . .	7
Capitolo II	Aspetti meteorologici di particolare interesse per il volo da diporto e sportivo . . . . .	41
Capitolo III	Volare in sicurezza . . . . .	77
Appendice A	Utilizzazione delle immagini da satellite . . . .	93
Appendice B	Esperienze vissute: la voce dei protagonisti .	99
Appendice C	Alcuni episodi di rilevante interesse e loro trattazione meteorologica . . . . .	111

## CAPITOLO I

# NOZIONI DI METEOROLOGIA GENERALE

### 1.1 Considerazioni introduttive

Per atmosfera s'intende lo strato d'aria che circonda la terra e che è a essa vincolato dalla forza di gravità. Le grandezze che la caratterizzano sono: la pressione, la temperatura e l'umidità. Aspetti tipici legati alla dinamica sono: i venti, le formazioni nuvolose e le precipitazioni.

I gas presenti nell'atmosfera sono l'azoto e l'ossigeno, in percentuale volumetrica rispettivamente di circa l'80 e il 20%. L'aria contiene anche altri elementi in quantità minime, come alcuni gas nobili, il pulviscolo, i fumi industriali e il vapore d'acqua. Di questi elementi, dal punto di vista meteorologico, il più importante è il vapore d'acqua che, sebbene sia dell'ordine dei grammi per chilogrammo d'aria, influenza in modo straordinario le condizioni del tempo e del clima.

Considerato che per fare evaporare un kg d'acqua serve un'energia di  $2,5 \times 10^6$  Joule, si può facilmente immaginare le notevoli quantità di calore che sono trasferite da una regione geografica all'altra ad opera del vapore. Il calore che permette l'evaporazione è, infatti, veicolato come calore latente dentro le masse d'aria e trasportato dai venti in tutte altre regioni, dove l'eventuale condensazione del vapore con conseguenti precipitazioni, si traduce in un incremento della temperatura ambiente.

Lo studio dell'atmosfera è compito della Meteorologia, una scienza recente di antichissime origini. I suoi campi di interesse, sono in linea del tutto generale, i fenomeni che si svolgono nell'aria e le leggi alle quali ubbidiscono.

L'esistenza nell'atmosfera di sistemi di movimento di dimensioni diverse impone la considerazione di almeno tre scale di moto (il termine "scala" si usa per identificare le dimensioni ed il ciclo vitale degli spostamenti atmosferici): la scala sinottica, la mesoscala, la microscala. Ecco la descrizione sintetica degli elementi di ogni singola scala:

- scala sinottica o meteorologica, fornisce una visione d'insieme attraverso l'osservazione e l'analisi particolareggiata dei fenomeni atmosferici e del loro sviluppo nei limiti temporali di più giorni e spaziali di dimensioni geografiche. In particolare la scala sinottica descrive la nascita, lo sviluppo e l'estinzione delle perturbazioni che hanno lunghezza d'onda dell'ordine dei 4000 km e periodi di giorno/giorni;
- scala media o mesoscala, studia i particolari dell'atmosfera entro i limiti temporali di qualche ora e spaziali da qualche centinaio a qualche migliaio di metri. In particolare la scala media studia la struttura delle piogge all'interno dei fronti, la formazione delle ascendenze e dei cumuli, lo sviluppo e l'evoluzione dei temporali, le brezze di montagna e di mare, le onde e i rotori sottovento ai rilievi, i venti di caduta. Tutti questi fenomeni sono dovuti all'interazione tra atmosfera e suolo, perciò si parla per essi più propriamente di fenomeni a scala aerologica;
- scala micrometeorologica o microscala, studia i fenomeni spaziali nell'intervallo compreso tra qualche millimetro a qualche decina di metri. Suoi campi di interesse sono: la turbolenza, le formazioni nuvolose, le formazioni dei vortici.

Le esigenze meteorologiche di un pilota dipendono dalle dimensioni, velocità e caratteristiche del mezzo col quale vola. Le osservazioni meteorologiche delle normali reti sinottiche non possiedono la risoluzione che sarebbe necessaria per fornire informazioni parti-

colareggiate per il volo da diporto e sportivo. Chi vola deve quindi essere consapevole che a lui compete la insostituibile valutazione ed interpretazione di ciò che vede, inquadrando i fenomeni nella realtà a scala più grande fornita dai servizi meteorologici.

## 1.2 Le unità di misura

Si elencano nel seguito alcune delle grandezze atmosferiche più importanti con le modalità di misura:

- la velocità del vento: è espressa in nodi (kt), chilometri l'ora (km/h) e metri al secondo (m/s). Il nodo corrisponde alla velocità necessaria a percorrere, all'altezza dell'equatore nel tempo di un'ora, l'arco di latitudine di un minuto sessagesimale. Si indica con kt e corrisponde a 1852 km/h. Per velocità inferiori ai 40 km/h, si passa con buona approssimazione dai kt ai km/h e ai m/s, ammettendo che 1 kt è  $\sim 2$  km/h e  $\sim 0,5$  m/s;
- la direzione del vento: è espressa in gradi sessagesimali o è indicata col nome che gli è stato attribuito;
- la temperatura: è espressa in gradi Centigradi o in gradi Fahrenheit, a seconda della scala che è impiegata. Due sono le scale normalmente in uso: la Centigrada e la Fahrenheit (in graduale disuso). Nel Sistema Internazionale di unità di misura si adotta la scala Centigrada o Centesimale o Celsius. In condizioni di pressione normale di 760 mm Hg, la temperatura del ghiaccio fondente, ove coesistono la fase solida e liquida dell'acqua, è posta a 0° C, mentre quella dei vapori dell'acqua che bolle è posta a 100 °C;
- la pressione: la pressione atmosferica al suolo è pari a quella esercitata da una colonna di mercurio che equilibra, col suo peso, quello dell'atmosfera. Il suo valore, in Atmosfera Standard, è: 760 mm Hg = 1013,25 hPa;
- la quantità di calore nel sistema internazionale si misura in Joule;

- le quote sono espresse sia in metri sia in piedi. Un piede vale 30,48 cm. Con buona approssimazione si passa dal valore in metri a quello in piedi moltiplicando per 3, e si passa dal valore in piedi a quello in metri dividendo per 3.

### 1.3 Suddivisione verticale dell'atmosfera

La temperatura diminuisce dal basso verso l'alto nella regione chiamata troposfera, dove il riscaldamento avviene principalmente dal basso ad opera di movimenti convettivi dell'aria a contatto della superficie terrestre. Oltre la troposfera si ha la stratosfera, dove la temperatura cresce con la quota ad opera dei processi esotermici di formazione dell'ozono. Tra troposfera e stratosfera esiste una zona di transizione denominata tropopausa.

Tenuto conto che molte attività di volo sportivo hanno luogo nella porzione di atmosfera più prossima alla superficie, è bene precisare che sono di interesse:

- lo *strato superficiale*, costituito dal sottile strato di atmosfera adiacente alla superficie terrestre di spessore pari a circa 10 m, nel quale gli effetti dell'attrito col suolo sono costanti;
- lo *strato di Ekman*, che si estende da 10 m fino a circa 1 km nel quale l'effetto dell'attrito col suolo si spegne gradualmente con la quota. Come conseguenza il vento, in basso, soffia inizialmente di traverso alle isobare verso la bassa pressione con un angolo che non supera i 45°. Salendo in quota questo angolo diminuisce finché alla sommità dello strato di Ekman il vento soffia parallelo alle isobare;
- lo *strato limite planetario* nel quale sono appariscenti gli effetti diretti delle caratteristiche del suolo e delle sue vicende.

L'Atmosfera Standard o di Riferimento o ICAO (International Civil Aviation Organisation) od OACI (Organizzazione Aviazione Civile Internazionale) possiede le seguenti caratteristiche di temperatura e pressione:



- a livello del mare:
  - temperatura  $15^{\circ}\text{C}$ ;
  - pressione  $1013,25\text{ hPa}$ ;
- in quota:
  - variazione di temperatura =  $-0,56^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ;
  - altezza della troposfera =  $11.000\text{ m}$ , dove esiste una temperatura calcolata  $t = -56,5^{\circ}\text{C}$ .

#### 1.4 La pressione atmosferica

La pressione è una forza che agisce su di una superficie. Nel caso dell'atmosfera la forza è il peso della colonna d'aria sovrastante, mentre la superficie è quella sulla quale tale colonna preme. In superficie le variazioni della pressione atmosferica derivano da (Fig. 1):

- convergenza o divergenza della velocità del vento, alle varie quote. La convergenza delle correnti determina un aumento di pressione, mentre la divergenza ne determina una diminu-

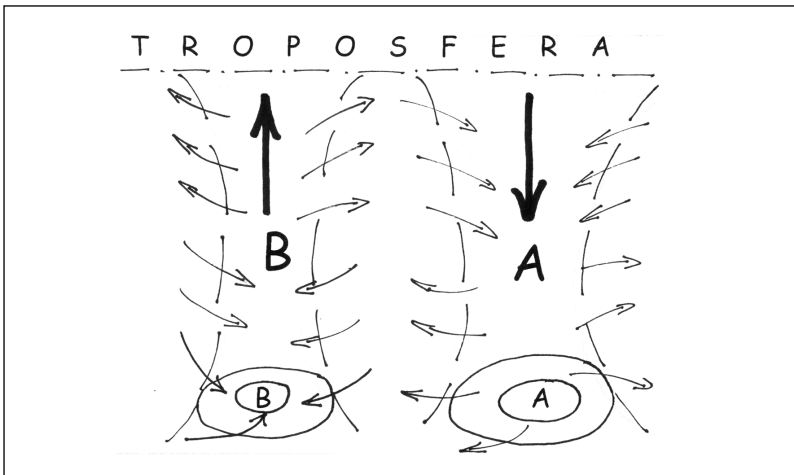


Figura 1. Cause di variazione della pressione atmosferica.

zione. La convergenza del vento tende, infatti, ad un aumento della massa d'aria nella colonna, mentre la divergenza ha l'effetto opposto;

- avvezione di densità, cioè trasporto di aria a densità diversa ad opera delle correnti. L'apporto di aria più fredda (più densa) di quella esistente, dà luogo a un aumento di pressione, mentre quello di aria più calda, (meno densa) ne comporta una diminuzione.

La convergenza o la divergenza del vento nel piano orizzontale sono compensate da movimenti verticali diretti verso l'alto o il basso. Se in prossimità del suolo vi è convergenza d'aria, a quote più elevate l'aria diverge e la variazione della pressione in superficie è il risultato bilanciato di ciò che avviene ai vari livelli.

## 1.5 Pressione e quota

Essendo l'atmosfera soggetta al campo di gravità terrestre, la sua densità decresce all'aumentare della quota. Ciò comporta una paral-

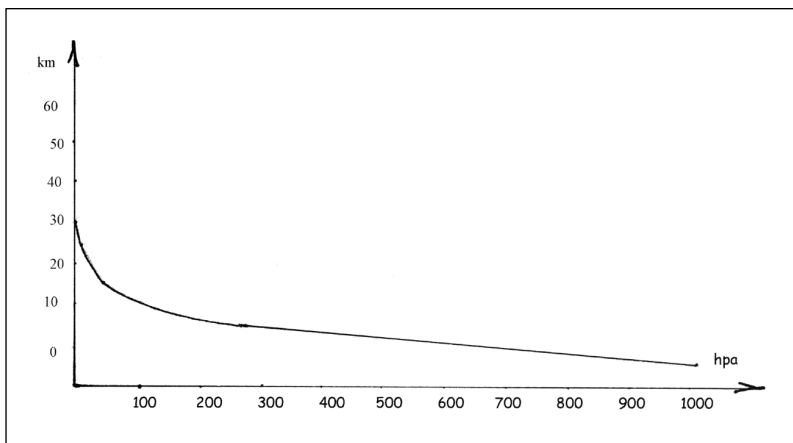


Figura 2. Andamento della pressione con la quota.

lela diminuzione della pressione. Esprimendo in un grafico i valori di pressione in funzione dell'altezza si evidenzia una diminuzione di tipo esponenziale (Fig. 2).

Per effetto delle sorgenti di energia e dei movimenti che ne conseguono le superfici isobariche non avvolgono il globo terrestre in modo uniforme, ma hanno, di fatto, rigonfiamenti o avvallamenti (Fig. 3). I rigonfiamenti sono dovuti ad aria calda e indicano zone di alta pressione, mentre gli avvallamenti sono dovuti a aria fredda e indicano zone di bassa pressione.

Avendo a disposizione la configurazione di una serie di superfici isobariche prossime al suolo, distanziate tra loro, per esempio, di 4hPa, è possibile tracciarne l'intersezione con il suolo. Si ottiene un campo rappresentabile con linee di uguale pressione, dette isobare.

## 1.6 La temperatura

L'agitazione delle minutissime particelle che costituiscono un corpo determina lo stato termico. Per misurarlo si fa riferimento a

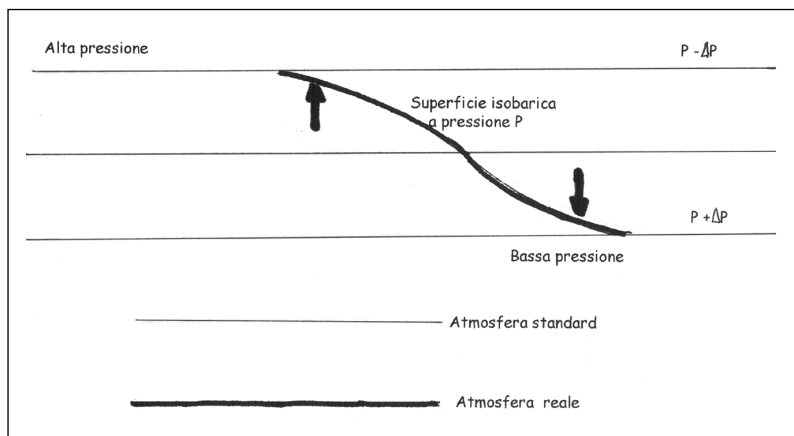


Figura 3. Traccia verticale di una superficie isobarica.

una ben definita proprietà, per esempio, per quanto di interesse, la proprietà del mercurio di dilatarsi se è sottoposto a una fonte di calore.

Si chiama temperatura la grandezza fisica che caratterizza il livello termico dei corpi. Essa si misura con i termometri, il cui funzionamento si basa sulla circostanza che due corpi posti a contatto raggiungono, dopo un certo tempo, l'equilibrio termico, cioè la stessa temperatura. I due corpi sono, rispettivamente, il bulbo del termometro e l'oggetto di cui si vuole conoscere la temperatura.

Per i limiti superiore e inferiore della scala termometrica si prendono a riferimento i punti di transizione da uno stato di aggregazione all'altro di sostanze chimicamente pure e si attribuiscono a essi valori di temperatura specifici.

## 1.7 Il trasferimento del calore nell'atmosfera

Il trasferimento del calore nell'atmosfera può avvenire in cinque differenti modi, ossia per:

- conduzione;
- convezione;
- evaporazione e rilascio di calore latente;
- radiazione termica;
- avvezione.

La conduzione termica esprime il trasferimento di energia ad opera della sola attività molecolare. Si tratta di un processo fisico poco importante nell'atmosfera.

La convezione (Fig. 4) indica un trasferimento verticale di calore, ad opera di massecole d'aria, che saranno indicate col termine "bolle". Un aumento di temperatura di una o più bolle d'aria, in prossimità del suolo, come può accadere nelle ore diurne ed in giornate soleggiate, si traduce in una diminuzione della loro densità che induce una spinta di galleggiamento verso l'alto delle bolle stesse e che prosegue fino a quando esse raggiungono il livello corrispondente a una densità uguale alla loro. D'altra parte l'ascesa di queste

bolle calde provoca il collasso verso il basso di altre bolle più fredde che vanno a rimpiazzare quelle che salgono. I moti convettivi sono responsabili delle brezze e della turbolenza termica.

L'evaporazione e il successivo rilascio di calore latente costituisce un geniale modo della natura per trasportare il calore. L'acqua presente nel mare, nei laghi e, con la mediazione della vegetazione, quella nel suolo, evapora in condizioni appropriate. Il processo richiede ingenti quantità di calore fornite dalla superficie terrestre. Il vapore d'acqua, che è il vettore dell'energia, si sposta coi venti e, all'atto della condensazione, cede energia all'atmosfera in forma di calore (calore latente).

La radiazione è un processo fisico che ha luogo senza alcun bisogno di supporti materiali. È costituita da onde elettromagnetiche di appropriata lunghezza d'onda, il cui intervallo di frequenza, o spettro, è determinato dalla temperatura del corpo che la emette.

L'avvezione termica consiste nel trasferimento prevalentemente orizzontale del calore operata dal movimento dell'aria.

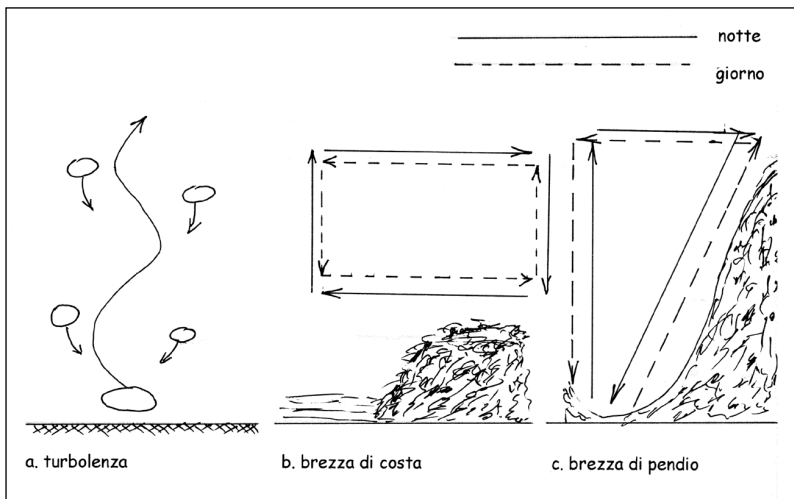


Figura 4. Trasferimento verticale di calore, ad opera di massecole d'aria.

## 1.8 Temperatura e quota

L'espansione ed il raffreddamento dell'aria che sale possono in prima approssimazione considerarsi di tipo "adiabatico", cioè senza scambi di energia con l'ambiente esterno, se il movimento è relativamente rapido.

La risposta termica dei movimenti ascendenti alle variazioni di quota, in assenza di fenomeni di condensazione o evaporazione del vapore d'acqua, è di  $1^\circ\text{C}/100\text{ m}$ . Quindi alla salita di 100 m di una bolla d'aria fa riscontro una diminuzione di temperatura di  $1^\circ\text{C}$ , mentre ad una discesa di pari entità corrisponde un aumento di temperatura di  $1^\circ\text{C}$ . I gradienti termici verticali dell'atmosfera (Fig. 5) possono classificarsi come segue:

- adiabatico, se il gradiente verticale è di  $1^\circ\text{C}/100\text{ m}$ ;
  - subadiabatico, se il gradiente verticale è inferiore ai  $1^\circ\text{C}/100\text{ m}$ ;
  - superadiabatico, se il gradiente verticale è superiore a  $1^\circ\text{C}/100\text{ m}$ .
- Per convenzione, il gradiente termico verticale è detto positivo se

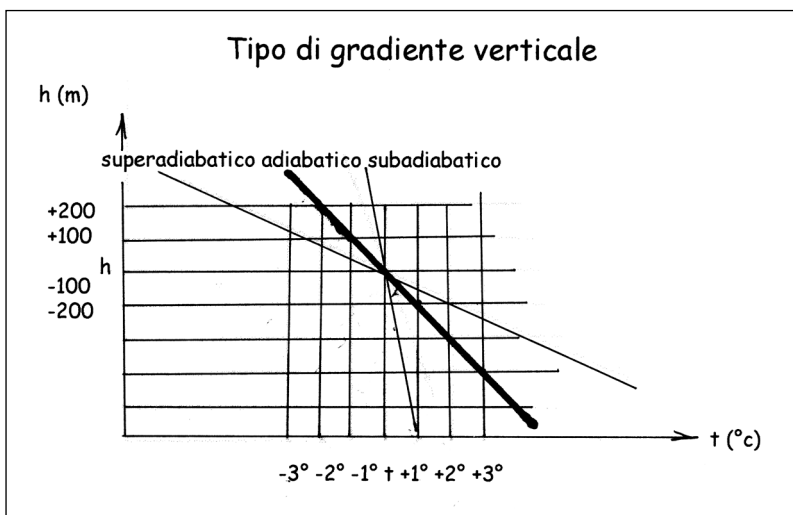


Figura 5. Andamento verticale dei gradienti termici.

la temperatura diminuisce all'aumentare della quota e negativo nel caso opposto. Nella troposfera il gradiente termico verticale è normalmente positivo.

### 1.9 La temperatura nello strato di confine con la superficie terrestre

La superficie terrestre riceve la radiazione solare ad alta frequenza. L'energia ricevuta viene in parte riflessa ed in parte rinviata verso l'atmosfera, nella forma di radiazione a bassa frequenza (infrarosso). Quest'ultima dal canto suo rimanda una cospicua parte di questa energia (*controradiazione*) verso il suolo, grazie alla presenza delle nubi, del vapor d'acqua e di altri gas serra. Come è facile immaginare la controradiazione assume i massimi valori allorché il cielo è totalmente coperto per la presenza di nubi basse (Fig. 6).

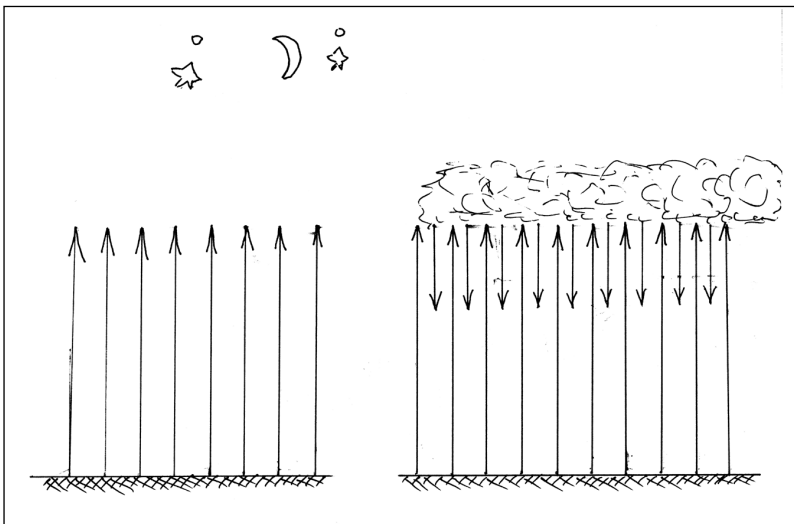


Figura 6. *Controradiazione verso il suolo.*

In inverno si può passare da notti gelide (cielo sereno), a notti relativamente calde, allorché il cielo è nuvoloso e/o l'aria è decisamente umida. Al tramonto, il suolo si raffredda, coinvolgendo gli strati d'aria più prossimi. In questi la diminuzione di temperatura comporta un aumento locale di densità che fa cessare i movimenti ascendenti e la turbolenza diurna. Il fenomeno, nel caso di cielo sereno, può evolvere in un'inversione termica al suolo che si accentua col passare delle ore (Fig. 7).

### 1.10 L'andamento giornaliero della temperatura e interpretazione delle temperature massime e minime

La differenza tra il valore minimo e massimo della temperatura nell'arco del giorno prende il nome di escursione termica diurna. Essa assume valori rilevanti nelle zone continentali, mentre è meno

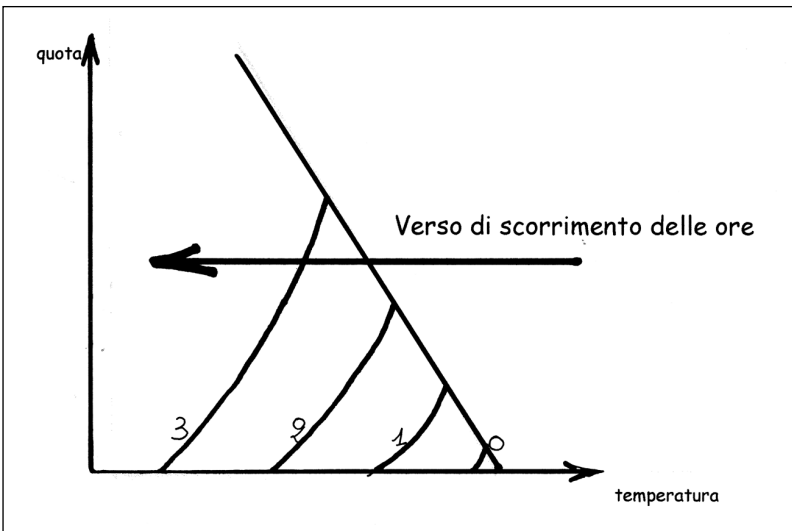


Figura 7. *Inversione termica al suolo.*



pronunciata lungo le coste dei mari e dei laghi a causa della grande inerzia termica dell'acqua.

In assenza di radiazione solare, le temperature minime dipendono in media, in misura notevole dal bilancio dell'energia in superficie. Sono quindi un indice della capacità dell'atmosfera di schermare e modulare il raffreddamento notturno del suolo. A parità di altre condizioni un'atmosfera con bassa umidità e/o assenza di nubi è meno protettiva e favorisce quindi temperature minime più basse. Le temperature massime dal canto loro sono condizionate dalla frequenza di situazioni perturbate. Una nuvolosità diurna estesa scherma l'irraggiamento solare e favorisce temperature massime più basse.

Nelle giornate con scarsa nuvolosità la bassa atmosfera risponde con un certo ritardo alla sollecitazione termica del suolo. Quindi, la massima temperatura si raggiunge una o due ore dopo il mezzogiorno solare, mentre la minima si ha circa mezz'ora dopo l'alba (Fig. 8).

### 1.11 Le inversioni termiche e i gradienti superadiabatici

Quando la temperatura invece di diminuire aumenta con l'aumentare della quota, si ha un'Inversione termica o inversione della temperatura.

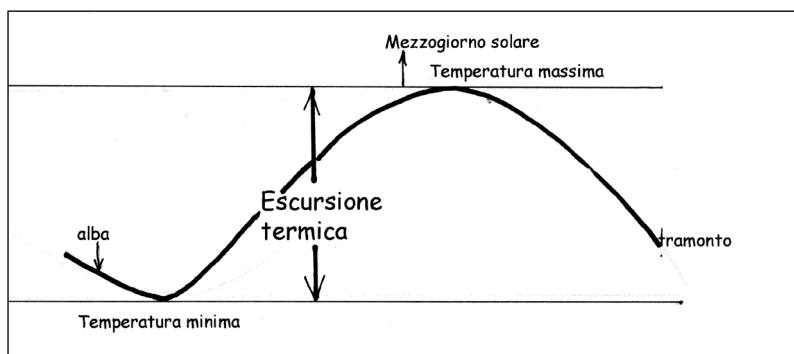


Figura 8. Andamento giornaliero della temperatura.