

TEMPERATURA

Definizione e caratteristiche

La fisica stabilisce che la temperatura di un gas è proporzionale all'energia cinetica delle sue molecole. In pratica la sua temperatura viene determinata dalla velocità media delle molecole che lo compongono.

Si può pertanto concludere che la temperatura rappresenta il livello di energia termica posseduto da un corpo.

Quando le molecole sono ferme, la velocità media tende a zero ed il gas, o il sistema considerato, raggiunge la temperatura minima in assoluto, corrispondente a $-273,15^{\circ}\text{C}$: lo zero assoluto. Questa temperatura rappresenta un limite estremo, irraggiungibile, esattamente come lo è la velocità della luce. A questa temperatura il sistema si trova nel suo livello energetico più basso (detto stato fondamentale).

La temperatura è importante in quanto essendo una forma di energia, può indurre diversi fenomeni fisici, come per esempio la variazione delle dimensioni dei corpi (dilatazione lineare, dilatazione volumica, ecc.) o fenomeni elettrici. In particolare è nota la caratteristica dei corpi di dilatarsi/contrarsi ovvero espandersi/comprimersi a seguito di una variazione in aumento o in diminuzione della temperatura.

Questo fatto è peraltro ben visibile nei fluidi, specie se costretti all'interno di un tubo capillare, anche con piccole variazioni della temperatura, un po' meno nei solidi.

Nei gas, per esempio, questo aspetto può essere ricavato a partire dalla legge dei gas (perfetti). Si ha infatti che:

$$\Delta V = n \mathfrak{R} \Delta T / P$$

dove ΔV esprime la variazione di volume conseguente ad una variazione della temperatura, in funzione della pressione (P), della costante dei gas (\mathfrak{R}) e del numero di moli (n).

Nel caso dei solidi, risulta invece che:

$$\Delta L = L \alpha \Delta T$$

dove ΔL esprime la variazione di lunghezza di un solido di lunghezza L a seguito di una variazione della temperatura ΔT , α esprime il coefficiente di dilatazione lineare.

In tabella sono riportati alcuni valori del coefficiente di dilatazione lineare a temperatura ambiente (salvo quando indicato diversamente), mentre in figura viene mostrato l'effetto della dilatazione termica su un binario ferroviario, in una giornata molto calda.

Per i liquidi, l'unico parametro di espansione significativo è quello del volume. Si ha che:

$$\Delta V = V \beta \Delta T$$

dove β esprime il coefficiente di dilatazione volumica. Quest'ultima relazione vale anche per i solidi.

Il coefficiente di dilatazione volumica e quello lineare sono legati dalla seguente relazione:

$$\beta = 3 \alpha$$



Fig. 1 Deformazione causata dalla dilatazione termica.

SOSTANZA	$\alpha (10^{-6} / ^{\circ}\text{C})$
Ghiaccio (0°C)	51
Piombo	29
Alluminio	23
Rame	19
Acciaio	17
Vetro	11
Vetro (Pyrex)	9

Tab. 1 Coefficiente di dilatazione lineare di alcune sostanze.

Questi fenomeni vengono sfruttati per creare i termometri che sono gli strumenti che ci permettono di misurare la temperatura.

In meteorologia la temperatura è importante per svariati motivi. Per esempio ci consente di valutare la stabilità di una massa di aria (seguendone l'andamento verticale), il possibile carattere delle precipitazioni (neve, pioggia), la possibilità o meno dell'instaurarsi di certi fenomeni (nebbia). E' pertanto uno dei parametri fondamentali per poter effettuare una corretta previsione del tempo.

Unità di misura della temperatura

Anche se in meteorologia l'unità di misura adottata è il grado Centigrado ($^{\circ}\text{C}$, Scala Celsius), per ragioni scientifiche e di abitudine, vengono utilizzate anche altre unità di misura: il grado Kelvin ($^{\circ}\text{K}$, Scala Kelvin) che rappresenta l'unità di misura della temperatura nel Sistema Internazionale ed il grado Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$, Scala Fahrenheit), utilizzato dai paesi anglosassoni.

La scala Celsius viene ricavata suddividendo in cento parti l'intervallo compreso tra il punto di fusione (a rigore sarebbe il punto triplo dell'acqua) ed il punto di ebollizione dell'acqua. Valori superiori od inferiori di temperatura si ricavano supponendo costante tale gradazione anche al di fuori dell'intervallo $0-100^{\circ}\text{C}$.

Per la scala Fahrenheit, si sfrutta anziché l'acqua, una miscela di acqua e sale. Questa volta l'intervallo è suddiviso in 180 parti.

La scala Kelvin, infine, non avendo un'estremità superiore, ma solo quella inferiore, corrispondente alla più bassa temperatura raggiungibile, adotta come gradazione la stessa della scala Celsius.

Fattori di conversione tra le scale termometriche

Poiché i valori di temperatura in meteorologia vanno

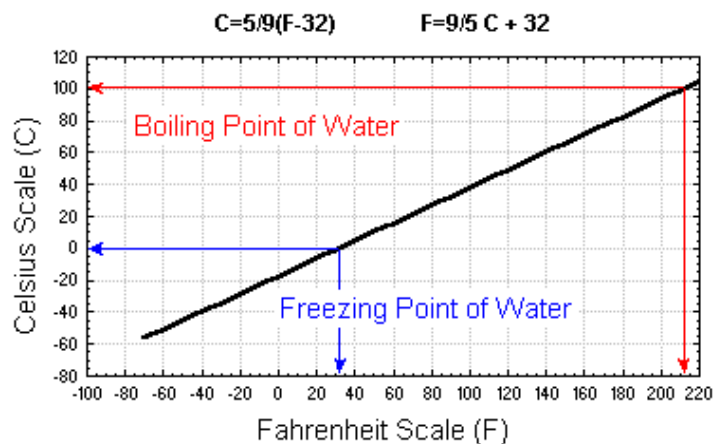


Fig. 2 Grafico di conversione da $^{\circ}\text{C}$ a $^{\circ}\text{F}$ e viceversa.

TEMPERATURA

espressi in °C è opportuno conoscere i fattori di conversione delle tre unità di misura ora definite.

La conversione da scala Celsius a scala Kelvin è la più semplice in quanto, come abbiamo visto, la scala Kelvin, non avendo un estremo superiore, adotta la stessa divisione in gradi della scala Celsius. Si ha pertanto che:

$$\text{Conversione da } ^\circ\text{K a } ^\circ\text{C: } t_C = T_K - 273,15$$

$$\text{Conversione da } ^\circ\text{C a } ^\circ\text{K: } T_K = t_C + 273,15$$

La conversione da scala Celsius a Fahrenheit e viceversa, è invece un po' più complessa in quanto le divisioni dei singoli gradi non sono le stesse. In particolare la scala Fahrenheit risulta molto più precisa: si ha infatti che ogni grado Fahrenheit corrisponde a quasi 2 gradi Celsius.

$$\text{Conversione da } ^\circ\text{F a } ^\circ\text{C: } t_C = 5/9[t_F - 32]$$

$$\text{Conversione da } ^\circ\text{C a } ^\circ\text{F: } t_F = 9/5t_C + 32$$

Volendo, può essere comodo sfruttare l'utile proporzione: $^\circ\text{C}:100 = (^\circ\text{F}-32):180 = (^\circ\text{K}-273,15):100$.

Temperatura	°C	°F
Punto di ebollizione dell'acqua	100	212
Temperatura corporea	37.0	98.6
Temperatura ambiente ottimale	20	68
Punto di congelamento dell'acqua	0	32
Zero per la scala Fahrenheit	≈ - 18	0
Coincidenza delle scale	- 40	- 40

Tab. 2 Alcune temperature caratteristiche nelle scale Celsius e Fahrenheit.

Strumenti di misura della temperatura

La misura della temperatura si effettua grazie ai termometri. Lo scopo è quello di determinare la temperatura dell'aria con la migliore precisione possibile. Dalla figura 3 è possibile dedurre come avviene il processo di riscaldamento dell'aria.

Le letture della temperatura vengono di norma effettuate alle ore sinottiche principali ed intermedie (00, 06, 12, 18 GMT e 03, 09, 15, 21 GMT).

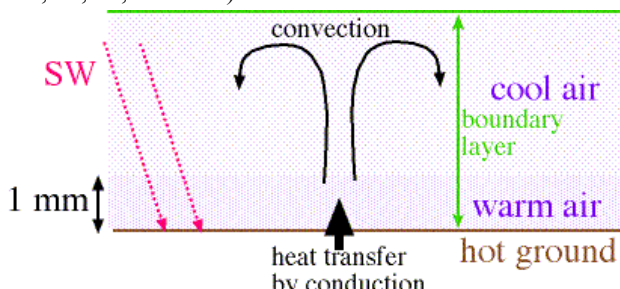


Fig. 3 Processo di riscaldamento dell'aria dal suolo. Lo strato limite (boundary layer) arriva fino a 1,5km.

Oltre a queste letture, sono di un certo interesse i valori estremi, misurati nel corso della giornata, corrispondenti al valore di temperatura massima e minima. Questi valori si determinano per mezzo dei termometri e dei termografi. I primi consentono di determinare con precisione il valore della temperatura, mentre i secondi, pur essendo meno precisi dei primi, consentono di stabilire con una certa precisione l'istante in cui è stato raggiunto tale valore.

Distinguiamo poi:

1. **Termometri a liquido:** sono strumenti molto precisi (arrivano alla precisione di 0,01°C). Normalmente hanno come elemento sensibile sostanze aventi un coefficiente di dilatazione il cui andamento è lineare in funzione del valore della

temperatura, oppure è noto a priori. Nel primo caso la scala termometrica avrà una graduazione costante, nel secondo no.

Il funzionamento si basa sulla dilatazione/contrazione dell'elemento sensibile, contenuto in un tubo capillare, in funzione della variazione della temperatura.

Si richiede inoltre che la sostanza abbia un basso punto di gelo ed un elevato punto di ebollizione, in modo da poter essere utilizzata nel range di temperature normalmente registrate dalla capannina meteorologica, senza errori.

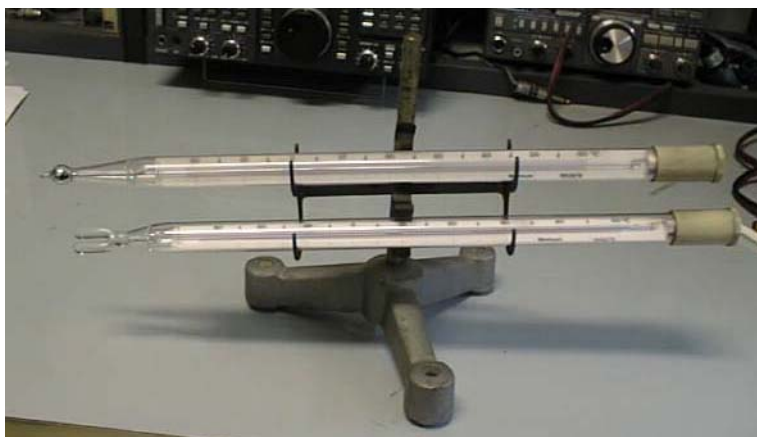


Fig. 4 Termometro a massima e a minima.

Di solito si utilizzano il Mercurio (Hg, -38,8°C; >300°C), l'alcool etilico (-110°C), oppure derivati del petrolio.

Risultano di interesse in meteorologia i seguenti termometri a liquido:

Termometro a Massima: in pratica è il normale "termometro della febbre". La particolarità sta nel fatto che in corrispondenza della giunzione tra bulbo e capillare dello strumento, viene applicata una strozzatura che consente al liquido di dilatarsi, a seguito dell'aumento della temperatura, ma poi, in caso di diminuzione di quest'ultima, non ne consente il rientro nel bulbo. Evidentemente questo strumento consente di determinare il valore massimo raggiunto

dalla temperatura nell'intervallo di esposizione dello strumento, ma non l'istante.

TEMPERATURA

Termometro a Minima/Attuale: in questo caso lo strumento è dotato di un doppio bulbo, in modo da aumentare la superficie esposta e, di conseguenza, migliorare la sensibilità dello strumento.

L'elemento sensibile è costituito da una sostanza trasparente (alcool oppure derivati del petrolio). All'interno del tubo capillare è inoltre inserito un cilindretto, detto "ragnetto", il quale, sfruttando il principio della tensione superficiale dei liquidi, consente la lettura della temperatura minima nell'intervallo di esposizione dello strumento.

All'aumentare della temperatura, il liquido si dilata e si espande nel capillare. Viceversa, al diminuire della temperatura il liquido si contrae e, se la riduzione della temperatura è consistente, finisce con il trascinare il ragnetto nella direzione del bulbo. La lettura della temperatura minima viene effettuata sull'estremità del ragnetto più lontana dal bulbo. E' infine evidente che se la lettura avviene in un istante generico, è possibile leggere sia il valore della temperatura minima relativa all'intervallo di esposizione che quello della temperatura relativa all'istante della lettura.

2. **Termometri a lamina bimetallica:** sono strumenti meno precisi dei precedenti. Arrivano, grossomodo, alla precisione del grado, per ragioni facilmente intuibili dalle spiegazioni di seguito riportate.

In questo caso si sfrutta il differente coefficiente di dilatazione termica di due strisce di metallo incurvate e saldate fra loro. Attraverso un sistema di bracci e leve le dilatazioni/contrazioni vengono trasferite sull'indice di lettura.

Trovano applicazione nei Termografi. In questo caso anziché avere un indice di lettura, lo strumento termina con un braccio scrivente, montato su di un rullo rotante, consentendo la registrazione su carta dell'andamento della temperatura (per circa 7 giorni). E' chiaro che

l'inchiostro utilizzato per il termografo sarà un inchiostro oleoso, avente un lungo tempo di asciugamento.

3. **Termometri elettrici:** i progressi nell'elettronica, nella miniaturizzazione, in particolare dei sensori, ha permesso di perfezionare notevolmente le prestazioni di questi strumenti, i quali, in origine, non garantivano la necessaria affidabilità. Oggigiorno questi strumenti non solo consentono letture di buona precisione ($\sim 0,1^\circ\text{C}$), ma, soprattutto, consentono la registrazione, la digitalizzazione e la trasmissione a distanza dei dati. Il che, evidentemente, non è cosa da poco.

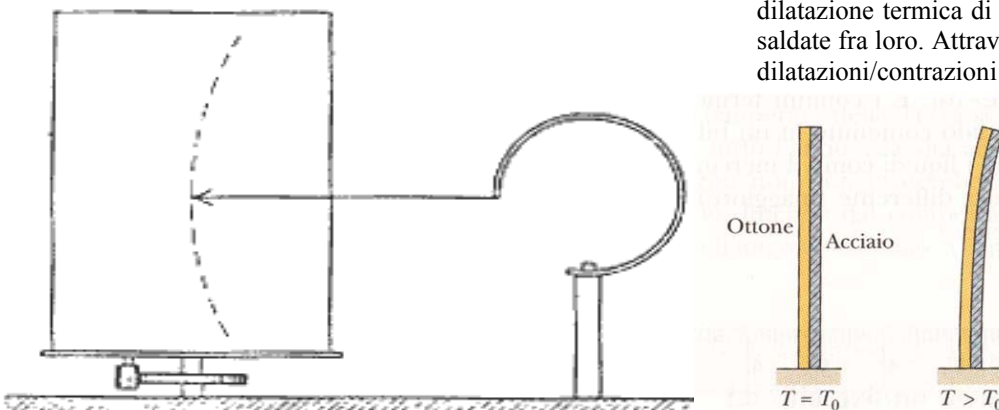


Fig. 5 Termografo a lamina bimetallica e principio di funzionamento.

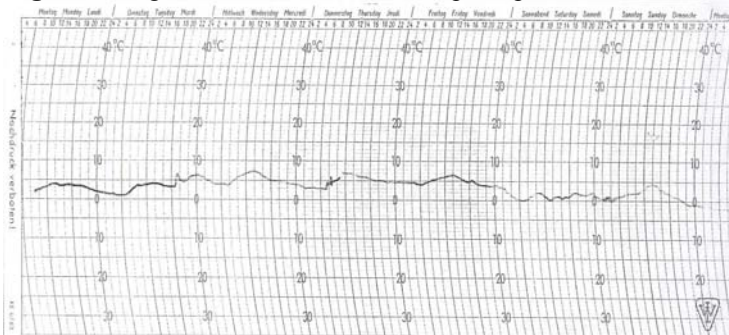


Fig. 6 Andamento della temperatura registrata da un termografo per la settimana iniziata con il giorno 17.01.2000.

Distinguiamo:

Coppie termoelettriche: poiché la tensione è proporzionale alla temperatura, nel punto di giunzione tra due fili di metallo, aventi caratteristiche differenti, se si collegano le estremità libere, è possibile creare un circuito attraverso il quale circolerà corrente allorché i due punti di giunzione saranno soggetti a temperature diverse.

Termometri a resistenza: in questo termometro si sfruttano le variazioni della resistenza in funzione della temperatura. In particolare: la resistenza aumenta con l'aumentare della temperatura nei conduttori, mentre diminuisce con l'aumentare della temperatura nei semiconduttori.

Per i termometri, in genere, non vi sono particolari correzioni da apportare; accenniamo ad ogni modo ad alcuni possibili errori di misura cui si può incorrere in una lettura della

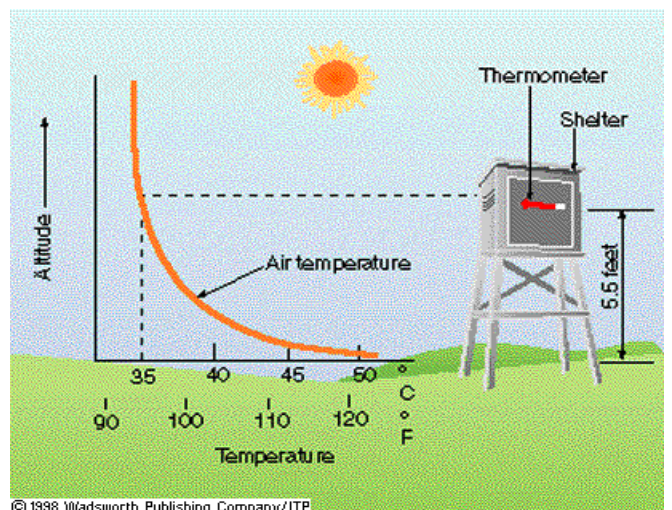


Fig. 7 Capannina meteorologica e misura della temperatura.

TEMPERATURA

temperatura:

- **Contrasto termico:** cioè l'errato intervallo di esposizione dello strumento prima di effettuare la lettura. Poiché lo strumento deve misurare la temperatura dell'aria, è evidente che prima di fornire un dato corretto, dovrà assumere esso stesso la temperatura dell'ambiente in cui si vuole effettuare la misura.
- **Mancata protezione dello strumento** dagli agenti esterni. Questo fatto spiega il perché lo strumento vada posizionato all'interno e non all'esterno della capannina meteorologica, ma anche il fatto che la capannina meteorologica sia esposta a Nord. Inoltre il tempo di lettura deve essere minimo e lo strumento non deve essere assolutamente toccato, se non per azzerarlo.
- **Mancata ventilazione dello strumento,** al fine di ridurre la differenza termica tra l'aria e l'elemento sensibile dello strumento. In particolare è richiesto che nella capannina meteorologica sia garantita una circolazione dell'aria di almeno 5m/s. Questo fatto spiega il perché la capannina è fatta in quel modo: essa deve isolare il termometro (e gli altri strumenti di misura) da tutti i possibili fattori di disturbo.
- **Errata sistemazione dello strumento:** il termometro deve giacere a 1,60 metri dal

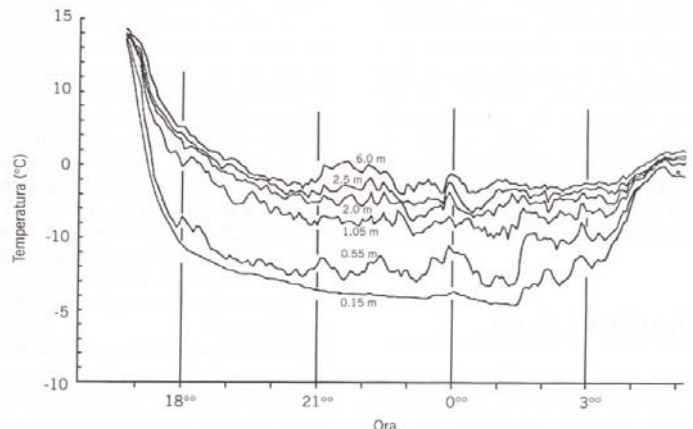


Fig. 8 Andamento della temperatura in funzione della distanza dal suolo.

suolo. Diversamente occorre segnalare il fatto e correggere i valori di lettura. A questo proposito, in figura 7 viene spiegato il perché la capannina meteorologica debba stare sopraelevata rispetto il suolo. In figura 8 viene riportato l'andamento della temperatura ad altezze comprese tra 15cm e 6 metri dal suolo, misurati in una notte serena di ottobre presso una radura di un bosco, nei dintorni di Monaco.

Tenere conto di queste precisazioni consente di garantire una lettura uniforme in tutte le stazioni meteorologiche a garanzia della precisione e dell'affidabilità del servizio offerto.

Andamento della temperatura

Le variazioni della temperatura, misurate in un certo intervallo di tempo prestabilito, prendono il nome di escursioni termiche. Si parla infatti di escursione termica diurna, riferendosi alla differenza tra la temperatura più alta e quella più bassa registrata nel corso di una giornata e, di seguito, escursione termica stagionale, escursione termica annua, ecc.

L'escursione termica risulta essere massima sui continenti, in quanto, essendo buoni conduttori di calore, si riscaldano e si raffreddano molto velocemente; l'escursione termica è invece minima sugli oceani in quanto il processo convettivo rallenta sia il processo di riscaldamento che quello di raffreddamento.

L'escursione termica annua è funzione della latitudine: si può dire che, grossomodo, è proporzionale alla latitudine. Inoltre risulta generalmente massima nelle zone aride o desertiche e minima in quelle umide o coperte da vegetazione (per ragioni analoghe a quelle sopra esposte)

A parità di condizioni la temperatura subisce variazioni di due specie:

1. **Variazioni regolari:** sono legate al processo di insolazione alla sua durata (cioè alla durata del giorno) e quindi all'altezza che il sole assume rispetto all'orizzonte.

Inoltre, essendo l'insolazione funzione della latitudine, a livello di bilancio energetico, si creeranno delle zone di surplus e di deficit di calore, che definiranno un trasferimento di calore dalle zone di surplus (più calde) a quelle di deficit (più fredde). Tale trasporto avviene per tramite delle correnti oceaniche (~40%), attraverso fenomeni

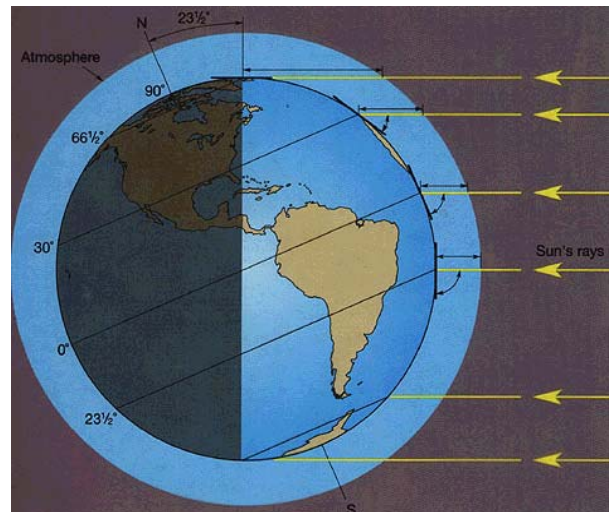


Fig. 9 Effetto dell'insolazione.

Earth's energy balance

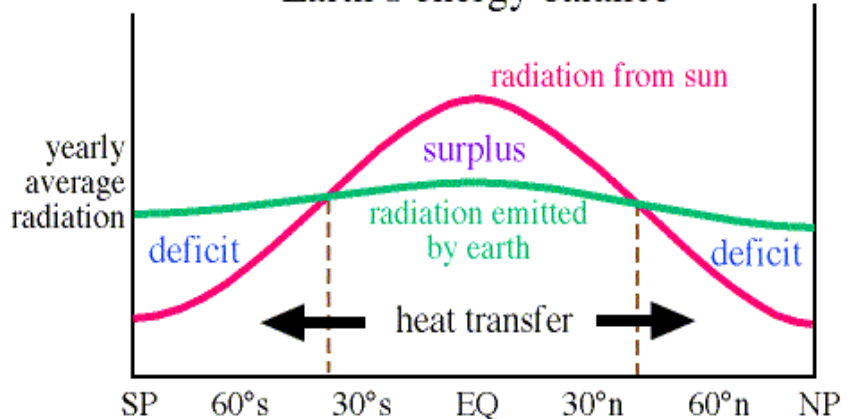


Fig. 10 Bilancio energetico: surplus e deficit.

TEMPERATURA

meteorologici e trasporto di calore latente (~30%), attraverso trasporto di calore sensibile a seguito dello spostamento di masse di aria (~30%, Fig. 10).

Riducendoci all'arco di una sola giornata, definito con Q_R il calore ricevuto dalla superficie terrestre (onda corta) e con Q_E quello emesso dalla superficie terrestre, una volta che è stata riscaldata (onda lunga), considerato che calore e temperatura sono grandezza affini (infatti si ha che $Q = c m \Delta T$), è possibile osservare che sussiste un ritardo tra l'istante in cui la Terra riceve il massimo (minimo) riscaldamento e l'istante in cui si registra la massima (minima) temperatura dell'aria. Tale ritardo risulta essere di circa 2 ore; infatti la Terra prima di poter emettere calore e riscaldare l'aria, deve a sua volta riscaldarsi (Fig. 11).

Altri fattori che influenzano il riscaldamento dell'aria possono essere: la quota, le caratteristiche tipiche del luogo come il tipo di suolo, la presenza di vegetazione, l'umidità dell'aria, l'umidità del suolo.

Per ragioni analoghe registriamo i valori minimi e massimi della temperatura tra gennaio/febbraio e luglio/agosto anziché a dicembre (solstizio di inverno) ed a giugno (Solstizio d'estate; Fig. 12).

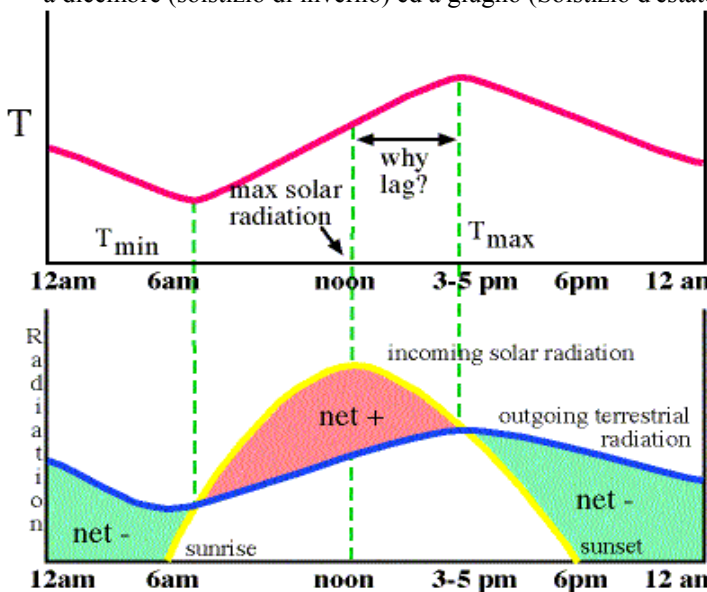


Fig. 11 Escursione termica diurna e ritardo nel massimo della temperatura.

2. Variazioni accidentali: sono legate allo stato del cielo, alla presenza di vento (Fig. 13) e, quindi, alle condizioni meteorologiche del momento: la presenza di eventuali perturbazioni può accentuare o ridurre l'escursione termica, per quanto il fenomeno sia apprezzabile solo su intervalli di tempo limitati (escursione termica diurna e mensile).

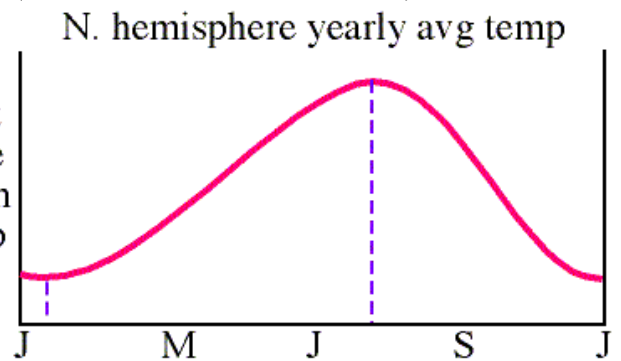


Fig. 12 Escursione termica annua nell'emisfero boreale.

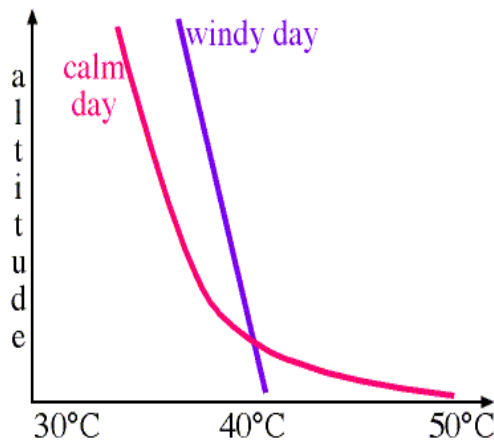


Fig. 13 Influenza del vento sul processo di riscaldamento.

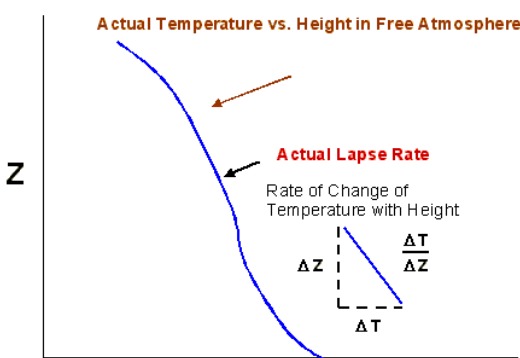


Fig. 14 Gradiente termico verticale (profilo).

Rappresentazione della temperatura

L'andamento della temperatura, viene riportato nelle carte delle isoterme e nei profili. Nelle rappresentazioni delle isoterme vengono riportati i valori di temperatura registrati in differenti località a parità di quota e di istante di tempo. Consentono di determinare il gradiente termico orizzontale, cioè la variazione di temperatura tra due località in funzione della loro distanza. Il gradiente termico orizzontale solitamente dipende dalle caratteristiche del suolo. Esso risulta dato dalla relazione:

$$\gamma_o = - \Delta T / \Delta n$$

dove il segno "-" indica che esso è diretto dalle temperature più alte a quelle più basse, ΔT esprime la differenza di temperatura, mentre Δn la distanza tra le isoterme.

L'analisi delle carte delle isoterme su vasta scala consentono per esempio di osservare le forti irregolarità in corrispondenza delle interfaccia oceano/continente, gli effetti dovuti alla presenza della vegetazione, nonché gli effetti dovuti alla presenza delle correnti marine.

Nei profili vengono di solito riportati gli andamenti della temperatura con la quota, si ricavano per mezzo delle sonde meteorologiche e servono per esempio per valutare la stabilità dell'aria. Dall'analisi dei profili è possibile definire il gradiente termico verticale, a partire dalla relazione seguente:

$$\gamma_v = \Delta T / \Delta z$$

dove sappiamo già che per aria rispettivamente secca e umida, questo gradiente vale $-1^\circ\text{C}/100\text{m}$ e $-0,6^\circ\text{C}/100\text{m}$.

In figura 14 viene riportato un esempio di profilo comprensivo del significato di gradiente termico verticale.

TEMPERATURA

Si osservi che, a differenza della relazione precedente, quest'ultima non è preceduta dal segno "-", in quanto la temperatura, a causa dei processi meteorologici, può sia aumentare che diminuire con la quota.

Quando la temperatura aumenta con la quota si parla di inversione termica. In condizioni di inversione termica al suolo, nelle stagioni invernali, è frequente il fenomeno della nebbia.

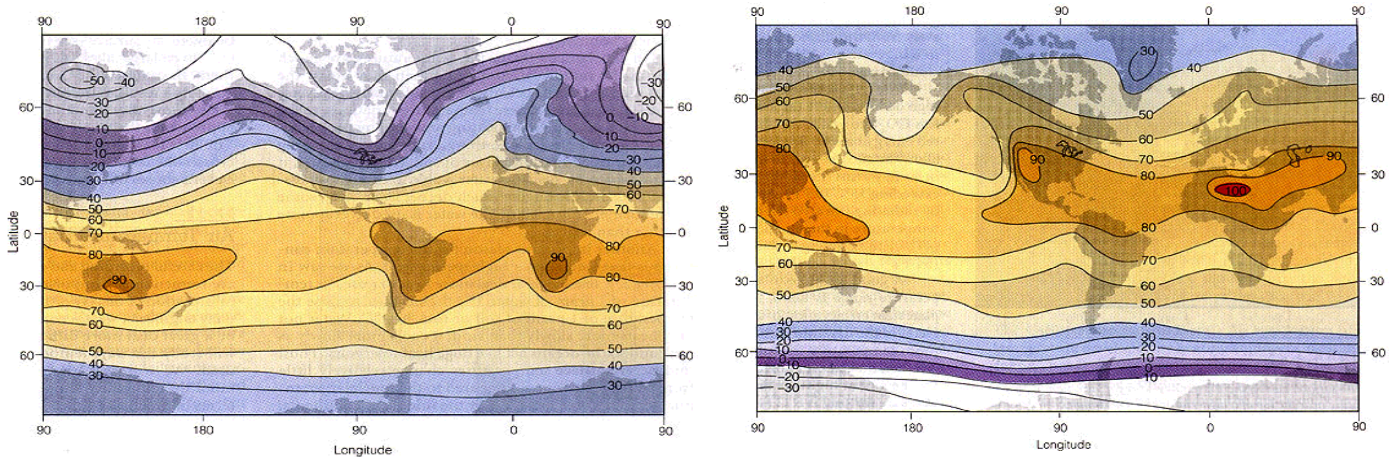


Fig. 15 Carta delle isoterme mondiale, al suolo, relativa ai mesi di gennaio e luglio (con valori di temperatura espressi in °F).

Riferimenti Bibliografici

- Ahrens, "Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment" Brooks & Cole Pub Co.
- Barry, Chorley "Atmosphere, weather & climate" Ed. Routledge, Londra
- Halliday, Resnik, Walker "Fondamenti di Fisica" Ed. Ambrosiana, Milano
- Kappenberger, Kerkmann "Il tempo in montagna" Ed. Zanichelli
- Sannino "Meteorologia Nautica" Ed. Italibri
- <http://cimss.ssec.wsc.edu/wxwise/class/>
- www.apollo.lsc.vsc.edu/
- www.biosphaerenreservat-rhoen.de/wetter/
- www.geographie.ruhr-uni-bochum.de
- www.ossgeo.unimo.it/~sergiop/LabGeo.html