

Conoscere la meteorologia

Che cosa è la meteorologia

Un po' di fisica dell'atmosfera

L'atmosfera è la parte più densa dell'involucro gassoso che avvolge il nostro pianeta. Grazie al peso e alle proprietà di comprimibilità dei gas, tutta l'atmosfera si trova in uno stato di equilibrio idrostatico: questo determina una **stratificazione orizzontale**, a "strati" concentrici, delle superfici di uguale pressione (superfici isobariche) e di uguale densità, ma anche di altre grandezze, come la temperatura, l'umidità o il grado di ionizzazione. Gli strati di maggior interesse per la meteorologia sono la **troposfera** e la **tropopausa**, che insieme si innalzano per circa 26 km: è qui che si producono tutti i fenomeni meteorologici.

I principali parametri atmosferici che è necessario conoscere per studiare gli eventi meteorologici sono la quantità di energia termica che giunge sulla Terra (le temperature del suolo e dell'aria), la pressione atmosferica e l'umidità che l'aria contiene.

L'irraggiamento solare

Dal Sole arriva sulla Terra una grande quantità di calore, che si trasmette attraverso gli strati dell'atmosfera. Solo una parte dell'irraggiamento solare giunge sulla superficie terrestre: il 34% dell'irraggiamento solare viene riflesso nello spazio dall'atmosfera, dalle nubi e dalla superficie della Terra. Del rimanente 66%, il 19% viene assorbito dal vapore acqueo, dalle nubi e dallo strato di ozono e soltanto il 47% in media viene assorbito dalla superficie terrestre. L'energia solare giunge al suolo prevalentemente sotto forma di **raggi ultravioletti**, che attraversano facilmente l'atmosfera e vengono poi assorbiti dal suolo, il quale, riscaldandosi a sua volta, restituisce l'energia sotto forma di **radiazione infrarossa**, a maggior lunghezza d'onda, ma più calorifica. L'irraggiamento infrarosso a sua volta viene assorbito dall'atmosfera, che si riscalda: l'atmosfera si comporta in pratica come i vetri di una serra, che lasciano passare i raggi ultravioletti e trattengono quelli infrarossi.

Diversi comportamenti

Se l'aria è secca, la maggior parte dell'irraggiamento solare raggiunge il suolo, il quale si riscalda e a sua volta, con un meccanismo di conduzione, riscalda l'aria con la quale è a contatto. L'aria riscaldata cede a sua volta calore all'aria circostante, con un meccanismo di convezione e in questo modo il calore del Sole si ridistribuisce in tutta l'atmosfera. Le cose funzionano diversamente se l'aria è umida: il vapore acqueo, infatti, è in grado di assorbire direttamente maggiori quantità di radiazione solare, riscaldandosi. In questo modo, l'atmosfera viene riscaldata direttamente dall'irraggiamento solare e a sua volta cede calore al terreno con cui viene a contatto. Anche il pulviscolo atmosferico si comporta allo stesso modo, come pure l'anidride carbonica, il metano e quelli che sono generalmente chiamati i **"gas serra"**. Così come assorbono il calore proveniente dal Sole, allo stesso modo questi componenti dell'atmosfera impediscono al calore che si libera dal suolo sotto forma di radiazione infrarossa di allontanarsi, contribuendo così a riscaldare gli strati più bassi dell'atmosfera, con quello che è ormai conosciuto come **"effetto serra"**. Questa proprietà è facilmente osservabile durante la notte: tutti noi sappiamo che, osservando un cielo invernale scintillante di stelle, ci dovremo aspettare una notte fredda, con possibilità di gelate notturne, mentre una serata con cielo nuvoloso sarà sicuramente più calda. L'effetto serra è quindi un meccanismo del tutto naturale: ciò che non è naturale è la grande quantità di gas "serra" che l'attività dell'uomo sta immettendo nell'atmosfera.

Energia distribuita in modo ineguale

La quantità di energia solare che giunge alla superficie terrestre dipende da diversi fattori, tra cui il più importante è **l'angolo tra la direzione dei raggi solari e la superficie stessa**: tanto maggiore sarà quest'angolo, tanto maggiore

sarà l'energia termica che giunge al suolo per unità di superficie. Teoricamente l'angolo di incidenza dei raggi solari dovrebbe essere massimo all'Equatore, ma, a causa dell'inclinazione dell'asse terrestre, varia nel corso dell'anno ed è massimo nella fascia compresa tra i due Tropici. L'angolo di incidenza diminuisce con l'aumentare della latitudine: per questo motivo, alle basse latitudini le temperature sono mediamente più alte che a latitudini più elevate.

L'inclinazione del piano dell'orbita terrestre e la sua ellitticità, insieme all'inclinazione dell'asse di rotazione terrestre sono quindi la causa delle differenze tra le varie zone climatiche della Terra, dell'alternarsi delle stagioni e delle variazioni meteorologiche ad esse associate.

La pressione atmosferica

In ogni punto della Terra, la pressione atmosferica è pari al peso della colonna d'aria che "pesa" sulla superficie terrestre. Questo è vero a qualsiasi quota, ma il 99% della massa dell'atmosfera è concentrata nei primi 32 km.

Le variazioni di pressione a livello del mare non superano di solito il 4% del valore medio normale (che è di 1013 millibar): valori più bassi (fino a 900 millibar) si possono registrare nell'occhio di cicloni tropicali. Se si eccettuano piccole variazioni locali, la densità e la pressione atmosferiche decrescono verso l'alto seguendo una curva esponenziale fino a una quota di circa 100 km, dove raggiungono un valore pari a un milionesimo del valore al livello del mare.

La pressione atmosferica non è distribuita uniformemente nell'atmosfera, perchè dipende da diversi fattori, tra i quali la temperatura (l'aria calda si dilata ed è quindi più leggera) e dall'umidità (poichè il vapore acqueo è più leggero dell'aria, l'aria umida è più leggera di quella secca). La pressione atmosferica risulta perciò più elevata nelle regioni polari, dove l'aria è più fredda e più secca, e meno elevata nelle regioni equatoriali, dove le temperature e l'umidità dell'aria sono più elevate. La pressione atmosferica subisce inoltre variazioni giornaliere comparabili al fenomeno delle maree.

L'unità di misura della pressione atmosferica

A livello del mare, la densità dell'aria è di circa $1,3 \text{ g/dm}^3$ e decresce esponenzialmente con la quota. Sempre a livello del mare, la pressione atmosferica, e quindi il peso dell'aria soprastante, è pari a 1.033 g/cm^2 . Questo peso equivale alla pressione di 1 atmosfera (atm), cioè al peso di una colonnina di mercurio alta 760 mm e della sezione di 1 cm^2 . In meteorologia, questa unità "storica" di misura della pressione non viene più utilizzata. Il millibar (mb) è l'unità normalmente utilizzata e corrisponde ad una forza di 1.000 dine/cm^2 : una dina è la forza che applicata ad una massa di 1g produce un'accelerazione di 1 cm/sec^2 . Un milione di dine/cm^2 corrisponde a una baria, e il millibar, a sua volta, è la millesima parte di una baria. Recentemente, con l'adozione nel 1974 del Sistema Internazionale, la pressione andrebbe, più correttamente, espressa in Pascal (Pa). 1 Pa corrisponde a 1 Newton/m^2 , 1 atm è pari a 100.000 Pa, ovvero a 1.013 millibar: poichè il Pascal è un'unità troppo piccola, in meteorologia si usano gli ettoPascal (hPa), pari a 100 Pa.

Zone calde, zone fredde

La temperatura minima sulla superficie terrestre si registra all'alba, la massima tra le 15 e le 16. La media matematica tra le due dà la **temperatura media diurna**. Dalla media delle **temperature diurne mensili** si ricava la media mensile e dalla media delle medie mensili si ricava la temperatura media annua. La **temperatura media annua** della superficie terrestre è di circa 15°C , ma le variazioni locali sono molto grandi, con escursioni termiche giornaliere e stagionali e differenze notevoli da un punto all'altro della Terra. Le temperature più basse mai registrate sono state misurate nella stazione antartica di Vostok ($-91,5^\circ\text{C}$), mentre le più alte nella Valle della Morte in California ($+55,6^\circ\text{C}$).

La temperatura dell'atmosfera varia anche verticalmente, passando dai 15°C della superficie terrestre ai -57°C della parte più alta della tropopausa.

La temperatura atmosferica dipende in primo luogo dalla latitudine, a causa della differente inclinazione con cui i raggi solari raggiungono il suolo. Per questo si distinguono diverse zone termiche: la zona torrida, compresa tra il Tropico del Cancro e il Tropico del Capricorno, due zone temperate, nei due emisferi, comprese tra i tropici e i circoli polari e due zone polari, a latitudini superiori ai circoli polari artico e antartico.

Molte influenze

La temperatura dipende anche da molti altri fattori, come l'altitudine, la posizione delle terre emerse e dei mari

circostanti, l'esposizione al sole, la copertura vegetale, i venti prevalenti, la natura del terreno, ecc...

In particolare, poichè dipende in gran parte dall'irraggiamento terrestre, la temperatura diminuisce con l'altitudine, con un gradiente verticale medio di circa 0.6°C ogni 100 m di quota: per questo salendo in quota le temperature sono via via più basse.

Importante è la vicinanza di grandi masse d'acqua, come mari o grandi laghi: per la maggior inerzia termica dell'acqua, in prossimità di grandi corpi idrici il clima è più mite in inverno e più fresco in estate. Le correnti marine, inoltre, possono contribuire direttamente, portando masse d'acqua calda in luoghi freddi e viceversa, modificando le temperature locali: si pensi, un esempio per tutti, agli effetti della calda **Corrente del Golfo** sulle fredde coste atlantiche dell'Europa del Nord. La lontananza dal mare invece ha come effetto una **grande escursione termica** tra l'estate, molto calda, e l'inverno, molto rigido, tipica delle zone continentali lontane dal mare: un esempio è la località di Verkhoyansk in Siberia dove si registrano le più grandi escursioni termiche stagionali, con temperature di - 68°C in inverno e di + 30°C in estate. Anche il tipo di terreno e la copertura vegetale contribuiscono a variare localmente la temperatura, in funzione della cosiddetta albedo, cioè la capacità di riflettere la luce solare. L'albedo varia dal 5% della superficie del mare al 5-15% delle foreste, al 15-20% dei campi coltivati, al 50-70% dei ghiacciai, all'80-90% della neve fresca. La vegetazione contribuisce a determinare la temperatura locale anche producendo vapore acqueo, che assorbe la radiazione nella banda dell'infrarosso.

Anche la trasparenza dell'aria è un fattore importante: la minor trasparenza può impedire alla radiazione infrarossa irraggiata dal suolo di disperdersi, determinando un aumento di temperatura, o, al contrario, può impedire alla radiazione solare di giungere al suolo, determinando un raffreddamento. La trasparenza dell'aria dipende dal suo contenuto in gas come CO₂, vapore acqueo, sostanze inquinanti come anidride solforosa e solforica e dal pulviscolo atmosferico.

Il gradiente termico verticale

La temperatura dell'aria diminuisce di circa **0.6°C ogni 100 m di quota**, valore che è considerato il **normale gradiente termico** negli strati più bassi dell'atmosfera, ma vi possono essere delle variazioni locali. In particolare, quando masse d'aria si spostano verticalmente possono trovarsi in una situazione di disequilibrio con la temperatura dell'aria circostante, determinando zone anomale più fredde o più calde.

A volte si possono verificare situazioni di cosiddetta inversione termica, quando la temperatura, invece che diminuire con l'altezza, aumenta salendo di quota.

Questa situazione si può verificare, per esempio, quando parecchi giorni di tempo bello e stabile tendono a far stratificare l'aria in base alla densità, con l'aria più fredda e pesante a contatto con il suolo e l'aria calda più leggera in quota: questo fenomeno si verifica frequentemente in inverno sulla Pianura Padana, dove produce nebbie estese e persistenti.

Inversioni termiche si possono anche verificare in valli poco ventilate, come, per esempio, la Valtellina, disposta perpendicolarmente ai venti prevalenti, dove l'aria si stratifica con l'aria più fredda nel fondovalle. Ancora, un'inversione termica si può creare quando una massa d'aria fredda si incunea al di sotto di una massa d'aria più calda. come accade in corrispondenza del fronte freddo di una perturbazione. Al di sopra delle grandi città, una situazione di inversione termica può impedire la dispersione delle sostanze inquinanti, dando origine allo smog: non a caso gli allarmi per il superamento delle soglie di inquinamento nelle nostre grandi città sono più frequenti in inverno. La parola smog deriva dai termini inglesi **smoke** (fumo) e **fog** (nebbia): si tratta infatti di una miscela di gocce d'acqua e particelle solide (in genere costituite da polveri e residui di combustione).

Isobare e isoterme

Per poter rappresentare le pressioni e le temperature dell'atmosfera al suolo e in quota nei vari punti della Terra, si realizzano apposite carte.

La carta delle isobare rappresenta la distribuzione delle pressioni. Dal greco *isos*, uguale, e *baros*, peso, di uguale pressione, le linee isobare sono linee che uniscono tra loro punti di uguale pressione atmosferica, in modo analogo alle linee isoipse (di ugual quota) che si usano per rappresentare i rilievi su una carta topografica. Poichè la pressione di una massa d'aria dipende dalla sua quota e dalla temperatura, per poter confrontare tra loro i valori di pressione in diverse

zone a diverse quote e a diverse temperature, è necessario "uniformare" i dati, prima di riportarli in carta. Con opportune tabelle di conversione, le pressioni vengono riportate al livello del mare e alla medesima temperatura, che per convenzione è di 0° C, e soltanto dopo questa operazione fondamentale vengono riportate sulle carte. Le **carte delle isobare** sono uno strumento fondamentale per la meteorologia, perchè permettono di individuare zone a maggior o minor pressione, che tanta importanza rivestono nel determinare la circolazione atmosferica.

Per meglio rappresentare l'andamento delle pressioni in quota, invece, si utilizzano carte delle **isopse**, che mostrano l'andamento in quota, rispetto al livello del mare, della superficie di un dato valore di pressione (di solito i 500 mb), in modo del tutto analogo ad un rilievo topografico, dove le isopse sono riferite alla superficie terrestre.

Allo stesso modo, si possono costruire **carte delle isoterme**, cioè delle linee che uniscono tra loro punti di uguale temperatura. Anche in questo caso, prima di costruire la carta, occorre eliminare l'effetto dell'altitudine e riportare i dati al livello del mare.

Molto utile sia per l'analisi del clima che per le previsioni del tempo è il confronto tra carte delle isobare (al suolo e in quota) e delle isoterme realizzate in diverse ore della giornata e in diversi periodi dell'anno.

L'umidità

L'umidità atmosferica è la quantità di vapore acqueo contenuta nell'aria. Rappresenta una percentuale piccolissima dell'acqua presente sulla Terra (circa lo 0.01%), ma è molto importante per il suo ruolo svolto nel ciclo dell'acqua (vedi sezione aria e acqua). E' attraverso l'umidità atmosferica che l'acqua si muove, passando dagli oceani e mari alla terraferma: quasi tutto il vapore acqueo presente in atmosfera si origina infatti per evaporazione delle acque oceaniche e marine, e il contributo di specchi d'acqua continentali e dell'evapotraspirazione di terreno e vegetazione è molto piccolo. L'umidità atmosferica non è distribuita uniformemente, ma varia moltissimo nelle diverse regioni della Terra: osserviamo così regioni dove l'umidità atmosferica è molto elevata, e altre in cui l'aria è secca e priva di vapore acqueo, come nelle regioni desertiche.

Umidità assoluta e relativa

L'**umidità assoluta** viene misurata pesando i grammi di vapore acqueo contenuti in 1 m³ di aria. Questa, tuttavia, non è una grandezza molto utile in meteorologia: è più importante sapere quanta acqua è possibile potenzialmente ricavare sotto forma di pioggia da una data quantità di aria. Per questo si utilizza un altro parametro, l'**umidità relativa**.

Ad una certa temperatura e ad una certa pressione, l'aria può contenere un determinato quantitativo di vapore acqueo: raggiunto questo quantitativo, l'aria diviene satura di vapore e ogni piccola variazione di pressione o di temperatura o ogni aggiunta di altro vapore rendono l'aria sovrassatura: il vapore acqueo in eccesso condensa sotto forma di piccole gocce d'acqua liquida. Per un determinato contenuto di vapore acqueo ad una certa pressione, la temperatura alla quale si verifica condensazione si dice temperatura di condensazione o punto di rugiada. L'umidità relativa è il rapporto percentuale tra la quantità di vapore presente nell'aria e la quantità di vapore necessaria, alla stessa temperatura, per rendere l'aria satura di vapore. Un'umidità relativa del 100% indica che l'aria è satura di vapore e quindi prossima a condensare il vapore acqueo sotto forma di gocce d'acqua: dal punto di vista meteorologico, si tratta di una situazione potenzialmente favorevole alle precipitazioni. Al contrario, un'umidità relativa bassa indica aria secca e poco favorevole a determinare precipitazioni.

Umidità e temperatura

La quantità di vapore che l'aria può contenere dipende moltissimo dalla sua temperatura: tanto più l'aria è calda, tanto maggiore è il quantitativo di vapore acqueo che può contenere. Raffreddando una massa d'aria, questa diviene sovrassatura e il vapore condensa sotto forma di microscopiche gocce d'acqua. Di questo ci possiamo rendere conto osservando il comportamento dell'aria che espiriamo: il nostro respiro contiene una certa percentuale di vapore acqueo, che, alla temperatura di 37°C (quella del nostro corpo) è lontana dal punto di saturazione. Se respiriamo in ambiente freddo, l'aria espirata si raffredda, diviene sovrassatura e il vapore contenuto in eccesso condensa sotto forma di piccole gocce d'acqua (che noi erroneamente chiamiamo "vapore", ma in realtà si tratta di acqua liquida: il vapore acqueo è un

gas trasparente, incolore e invisibile). Se espiriamo in ambiente caldo, invece, questo fenomeno non si verifica, anche se la quantità di vapore contenuta nell'aria espirata è sempre più o meno la stessa.