

Conoscere la meteorologia

Introduzione

La meteorologia è la scienza che studia i fenomeni atmosferici, come le nubi, i venti, le precipitazioni e i processi che li producono. Non deve essere confusa con la climatologia, che studia la distribuzione dei fenomeni atmosferici alla scala dell'intero pianeta nell'arco di diversi anni e le variazioni che si sono succedute nel tempo.

Tutti i fenomeni meteorologici si originano nell'atmosfera, in particolare nei suoi strati più bassi, la troposfera e la tropopausa, che sono a diretto contatto con la superficie terrestre. Per comprendere questi fenomeni è necessario anche studiare le interazioni tra atmosfera, superficie terrestre, oceani, biosfera, l'uomo e le sue attività.

Lo scopo più evidente della meteorologia è la previsione del tempo, ma la meteorologia è una scienza molto complessa, che integrandosi con la climatologia cerca di comprendere i meccanismi dell'atmosfera attraverso modelli e studiando come il clima si modifica, sia per cause naturali che per cause antropiche.

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°C), mentre le più alte nella Valle della Morte in California (+ 55,6°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. Poiché 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, perché 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 **isoipse**, 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 isoipse 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.

Precipitazioni

Pioggia

Le precipitazioni comprendono tutti i tipi di apporti di acqua, allo stato liquido o solido, che cadono o si formano sulla superficie terrestre.

Si distinguono **precipitazioni dirette**, come la pioggia, la neve, la grandine, e le **precipitazioni occulte**, come la rugiada e la brina, che non provengono dalle nubi, ma si formano direttamente al contatto con la superficie terrestre.

Le precipitazioni liquide, o **pioggia**, si verificano quando le gocce d'acqua presenti in una nube si ingrossano progressivamente fino divenire troppo pesanti per rimanere nella nube e cadono quindi al suolo.

I meccanismi per cui le gocce di nube si ingrossano sono molteplici: per assorbimento di acqua in un'atmosfera sovrassatura, e, soprattutto, per coalescenza tra gocce che cadono e si urtano tra loro. Il limite tra gocce di nube e gocce di pioggia è intorno ai 100 micron, ma le gocce di pioggia sono in genere molto più grandi, fino a oltre 2000 micron.<

Neve

I **flocchi di neve** sono aggregati di cristalli che si sono formati nelle nuvole direttamente dalla condensazione del vapore, a temperatura inferiore a 0°C. Diversamente da quello che si potrebbe pensare, non bastano vapore acqueo e basse temperature per formare un cristallo di neve. Ciò che non può mancare è la polvere, senza la quale le molecole di vapore acqueo non riescono ad aggregarsi per formare i cristalli di neve. Un cristallo appena formato ha forma di colonna a base esagonale. Poi, catturando altre molecole d'acqua, cambia aspetto e assume una delle infinite e svariate forme che esistono in natura. In alcuni casi il cristallo cresce più in altezza che in larghezza, dando vita a cristalli a forma di ago. Per altri accade il contrario e si formano cristalli piani esagonali. Dai sei spigoli del prisma esagonale di partenza possono crescere altrettanti bracci che poi si ramificano, originando forme spettacolari (**crescita dendritica**). Ogni cristallo ha una sua storia: dal punto in cui si origina fino al momento in cui cade, attraversa zone diverse dell'atmosfera, in cui variano temperatura e umidità, i principali fattori che influenzano la forma del cristallo. Inoltre, ogni cristallo è formato da miliardi di molecole d'acqua che si aggregano in maniera imprevedibile. E' per questo che ha senso dire che non esistono due cristalli uguali!

Flocchi di neve: gli spazzini dell'aria

Molti sono gli scienziati che hanno dedicato le loro ricerche ai cristalli di neve. Uno fra i primi è stato Cartesio, con la pubblicazione di un trattato sulla loro morfologia. Oggi non sono ancora del tutto chiari i meccanismi di formazione dei cristalli. Non è ancora chiaro perché le molecole di vapore acqueo si aggregano al cristallo già esistente privilegiando, a seconda della temperatura e dell'umidità, le pareti del prisma, le sue basi o i suoi spigoli. Il principale obiettivo degli scienziati è capire come mai la neve risulta essere il miglior "spazzino" dell'aria. Di tutte le sostanze inquinanti che si depositano al suolo, ben il 90% sono intrappolate dai cristalli e dai flocchi di neve. Queste sostanze rappresentano i

nuclei di aggregazione della neve: vengono inglobate all'interno del cristallo al momento della formazione e di depositano al suolo insieme alla neve. Alcuni scienziati pensano che la comprensione di questi meccanismi potrebbe essere utile per costruire dei filtri anti inquinamento più efficienti di quelli attuali.

Grandine

Associata a nubi temporalesche, la grandine è costituita da masse tondeggianti di ghiaccio. Ogni chicco è formato da centinaia di cristalli di ghiaccio, in strati alternativamente trasparenti e lattiginosi, a causa della presenza di bolle d'aria. I cristalli trasparenti si formano lentamente nelle regioni inferiori di un cumulonembo, caratterizzate da temperature più elevate, mentre i cristalli opachi sono tipici delle zone più alte, dove le temperature più basse causano la rapida formazione di cristalli che crescendo velocemente intrappolano bolle d'aria. La stratificazione alternata in ogni chicco indica che le forti correnti verticali e le turbolenze presenti all'interno di un cumulonembo possono trasportare i chicchi da una regione all'altra della nube, prima che questi cadano al suolo. In Italia le dimensioni dei chicchi di grandine non superano in genere qualche cm, ma in Paesi tropicali i chicchi di grandine possono raggiungere dimensioni di oltre 10 cm, fino ad un massimo di 20 cm!

Nebbia

La nebbia è una nube poco densa e di modesto spessore che si forma a contatto con il suolo, in condizioni meteorologiche particolari. In genere le gocce d'acqua di nebbia sono più piccole e meno numerose di quelle di nube, per questo la nebbia appare meno densa e più trasparente di una nube.

Le nebbie si generano quando vi è una differenza di temperatura tra il terreno e l'aria sovrastante. Le nebbie di radiazione si formano dopo il tramonto, quando la temperatura del suolo diminuisce, provocando il raffreddamento lento anche dell'aria sovrastante. Se la temperatura scende al di sotto del punto di rugiada, si forma la nebbia. In genere, la formazione di nebbie è favorita dalla presenza di specchi d'acqua, che forniscono vapore acqueo all'aria, rendendola più umida.

Le nebbie di advezione si formano invece quando il vento porta aria umida e calda al di sopra di terre più fredde, o, al contrario, quando aria fredda permane al di sopra di una specchio d'acqua più caldo: tipiche sono le nebbie che si formano sul Mare del Nord, dove l'aria umida e calda che si muove seguendo la Corrente del Golfo viene a contatto con le acque fredde del Mare del Nord, oppure lungo le coste del Perù e dell'Ecuador, dove, al contrario, la nebbia si forma per contatto tra le fredde acque della corrente di Humboldt e l'aria calda e umida equatoriale. Con un meccanismo simile si formano anche le nebbie costiere, che si formano al mattino lungo le coste e si dissolvono rapidamente nel corso della mattinata.

Le nebbie persistenti tipiche della stagione invernale della Pianura Padana sono dovute invece alla discesa di aria fredda in un'area anticiclonica: se al suolo si trova aria umida, per la presenza di specchi d'acqua o per l'umidità del terreno (per esempio, i terreni umidi delle risaie), l'umidità atmosferica condensa a dare nebbie fitte che persistono fino a che permane la situazione di alta pressione.

Rugiada

Quando il suolo disperdendo calore per irraggiamento raggiunge la temperatura di rugiada, nell'aria con la quale è a diretto contatto si produce condensazione, che deposita gocce d'acqua direttamente sul suolo e su tutto ciò con cui l'aria è a contatto, formando la rugiada.

La rugiada fornisce un quantitativo d'acqua che in situazioni particolari può essere importante: anche in assenza di precipitazioni dirette, la vegetazione riceve comunque un apporto idrico sufficiente ai suoi processi vitali. Si parla, per questo, di precipitazioni occulte, cioè non direttamente visibili. Non è facile valutarne i quantitativi, ma di queste precipitazioni si deve tenere conto nello stilare il bilancio idrologico e nel ciclo dell'acqua. La rugiada infatti viene in parte assorbita dal terreno, in parte evapora durante la giornata, ritornando a far parte del ciclo idrologico. Questo tipo di apporto idrico è fondamentale per la sopravvivenza di piante e animali in zone aride e semidesertiche.

Brina

La **brina** si forma a temperature al di sotto degli 0°C, per congelamento della rugiada o per precipitazione diretta di piccoli aghi di ghiaccio.

La **galaverna**, termine dialettale tipico del Nord Italia, è una forma particolare di brina, caratterizzata da grossi cristalli aghiformi di ghiaccio che, a volte anche trasportati dal vento, ricoprono ogni superficie, seguendone i dettagli più minuti, come, per esempio, steli d'erba, ramoscelli, cavi elettrici e antenne.

Anche la brina appartiene alla categoria delle precipitazioni occulte. Può fondere ed evaporare nel corso della giornata, oppure può rimanere al suolo per diversi giorni, a seconda delle temperature. Se la brina si deposita sulla neve e viene successivamente ricoperta da una nuova nevicata, si può formare all'interno del manto nevoso un livello di cristalli di ghiaccio poco coerenti, che può favorire il distacco di valanghe a lastroni.

Il tempo

Il tempo in senso meteorologico indica l'insieme di fenomeni atmosferici che si verificano in un certo momento in un'area della Terra. Vi sono fenomeni a carattere strettamente locale, limitati a zone estremamente ristrette, e fenomeni che coinvolgono intere regioni. I fenomeni atmosferici sono caratterizzati da una estrema variabilità e piccole variazioni locali possono contribuire a far evolvere il tempo verso situazioni completamente diverse da quelle previste.

Le masse d'aria

Le masse d'aria, in senso meteorologico, sono volumi di atmosfera uniformi per temperatura, pressione e umidità. Le masse d'aria rientrano in sei grandi categorie: aria artica (molto fredda e molto secca), aria polare continentale (fredda e secca), aria polare marittima (fredda e umida), aria tropicale continentale (calda e secca), aria tropicale marittima (calda e umida), aria equatoriale (calda e molto umida).

Le perturbazioni

Si dicono perturbazioni tutti gli eventi climatici e meteorologici che vengono a disturbare, in qualche modo, lo stato di equilibrio in cui si trova l'atmosfera. Poiché si tratta di un equilibrio dinamico, che varia continuamente, è difficile stabilire che cosa sia esattamente una perturbazione allo stato "normale" dell'atmosfera, per cui le perturbazioni nel linguaggio corrente sono sinonimo di eventi che portano maltempo, precipitazioni o eventi atmosferici in qualche modo sgraditi o minacciosi per l'uomo. In generale, dal punto di vista meteorologico, si crea una perturbazione ogni qualvolta si abbia l'interazione tra masse d'aria a temperatura e pressione differenti, anche se questo non significa necessariamente maltempo e precipitazioni.

I fronti

Un fronte in senso meteorologico è il confine tra masse d'aria a densità, temperatura e umidità differenti. La **banda frontale** è l'area in cui due masse d'aria vengono a contatto diretto, la zona dove avvengono gli scambi di energia e dove si producono i fenomeni atmosferici più intensi. Un fronte si presenta in genere come una superficie più o meno regolare, a basso angolo, poco inclinata, e che disegna, sul piano orizzontale, una linea generalmente curva. I meteorologi riconoscono tre tipi di fronti: i fronti freddi, i fronti caldi e i fronti occlusi.

Quando si formano fronti, caldi o freddi, i processi di condensazione liberano energia termica, cosa che contribuisce a creare aree a temperatura differente, innescando circolazioni e rimescolamenti locali, contribuendo ad incrementare ulteriormente l'instabilità delle masse d'aria.

I fronti di una perturbazione, nelle fasi iniziali di formazione, sono generalmente associati al cosiddetto **fronte dei venti**, creato dall'avanzare di masse d'aria fredda che discendono dalla perturbazione. A volte il fronte dei venti è reso visibile da nubi di pulviscolo sollevato dal suolo (come nelle tempeste di polvere) o viene materializzato dal fronte di condensazione, che dà luogo alla formazione di spettacolari nubi a forma di arco in corrispondenza del fronte della perturbazione.

La presenza di rilievi montuosi sul cammino di un fronte può provocare variazioni e deformazioni di vario tipo, che possono far evolvere la perturbazione in modo difficilmente prevedibile.

Temporali

Perturbazioni a carattere temporalesco si formano quando si verifica la collisione tra due masse di aria a differente temperatura o quando l'elevato riscaldamento del suolo, associato ad una forte umidità, provoca la formazione di masse d'aria calda e umida. Il meccanismo è il medesimo che porta alla formazione di fronti e di sistemi nuvolosi (ascesa, raffreddamento e condensazione), ma a causa delle forti differenze di temperatura il fenomeno è più intenso ed "energetico". I temporali sono quindi tipici delle regioni calde e umide, come le regioni tropicali e subtropicali, o, alle nostre latitudini, dei mesi estivi. I meccanismi di formazione e di evoluzione dei temporali furono studiati alla fine degli anni '40 dall'Università di Chicago con il programma di ricerca *Thunderstorm Project* (Progetto Temporale), che permise di costruire un quadro completo di questi fenomeni atmosferici.

Le manifestazioni associate ad una nube temporalesca (venti, precipitazioni, anche a carattere di grandine, fulmini) possono essere anche molto violente e distruttive e in condizioni particolari i temporali possono evolvere in tornado e trombe d'aria.

Cicloni e uragani

Attorno alle aree di bassa pressione la circolazione dell'aria genera un **vortice depressionario** detto ciclone. Le modalità con cui si instaura una circolazione ciclonica sono sempre le stesse: il centro di bassa pressione richiama aria dalle aree circostanti, con un movimento in senso antiorario nell'emisfero N e orario nell'emisfero S.

Ma i cicloni non sono tutti uguali: perchè alcuni sono eventi violenti e improvvisi, vere e proprie catastrofi, perchè alcuni durano mesi, e altri invece sono relativamente "tranquilli" e non provocano danni?

In teoria, più è elevata la differenza di pressione, più violenti e veloci saranno i venti e quindi più distruttivo sarà il ciclone. Tuttavia, in genere le differenze di pressione sono relativamente modeste e simili da un vortice all'altro (in genere, qualche decina di mb). Tutto dipende dall'ampiezza dell'area interessata dalla bassa pressione. A parità di differenza di pressione, se l'area interessata dalla bassa pressione è ampia, il gradiente di pressione sarà basso e i venti relativamente "lenti", se invece l'area è ristretta, il gradiente barico elevato provocherà venti violenti e molto veloci, che, in alcuni casi possono superare i 250 km/h, raggiungendo i 400 km/h, come nei tornado e nelle trombe d'aria.

Ben diversa sarà quindi la potenza di un cosiddetto ciclone extratropicale, come quelli che si instaurano alle nostre latitudini, che si estendono su aree di migliaia di km di diametro, da quella di un ciclone tropicale, o uragano, che raramente ha un'estensione che supera il centinaio di km. Ancora più distruttivi, ma su scala strettamente locale, sono le trombe d'aria e i tornado (dallo spagnolo "*vortice*"), o l'equivalente marino, le trombe d'acqua o trombe marine, che in genere hanno dimensioni di poche centinaia di metri: queste sono le manifestazioni meteorologiche più violente, anche se non le più distruttive, perchè, fortunatamente, sono di dimensioni molto ridotte e di brevissima durata.

I tornado

I tornado si formano evolvendo da un cumulonembo temporalesco, quando le condizioni atmosferiche sono particolarmente umide. Iniziano con l'estroffessione verso il basso di una parte della nube, a formare una nube a imbuto, che è il primo segnale della nascita di un tornado. La nube a imbuto si abbassa progressivamente verso il suolo: se raggiunge la superficie terrestre, ecco che si forma un tornado. Le dimensioni delle nubi a imbuto sono indicatrici della forza del tornado e variano da 15 m a un paio di km di diametro. Lungo la superficie dell'imbuto, l'aria è in rapida rotazione, con moto vorticoso e ascendente. Il tornado si sposta sulla superficie terrestre con una velocità che può raggiungere i 120 km/h, ma la velocità dei venti di rotazione al suo interno può raggiungere i 450 km/h, con velocità ascendenti di 290 km/h. La pressione all'interno del vortice può essere ridotta quasi a zero, per questo i tornado si comportano come giganteschi "aspirapolvere", raccogliendo tutto ciò che incontrano sul loro percorso: case, automobili, alberi, bestiame, qualunque cosa si trovi sulla strada di un tornado viene strappata dal suolo e scagliata verso l'alto. Come nei cicloni tropicali, all'interno del vortice invece l'aria è calma e praticamente immobile. Vi sono diverse testimonianze di persone che si sono trovate, miracolosamente illese, all'interno del vortice di un tornado, di bestiame sollevato e depositato indenne sul tetto di abitazioni, di cavi elettrici e telefonici completamente rivestiti di paglia e altre "curiosità".

Mano a mano che l'energia distruttiva si esaurisce, l'imbuto del tornado rallenta la sua corsa, i venti al suo interno diminuiscono di velocità e l'imbuto inizia ad assumere una forma sinuosa e serpeggiante: è l'indizio che l'energia del tornado si sta esaurendo.

I tornado sono sicuramente gli eventi meteorologici più distruttivi, ma in genere le devastazioni operano su una scala ridotta, per cui provocano distruzione pressoché totale al loro passaggio, ma su aree relativamente ristrette, a differenza degli uragani. In genere, l'area interessata da distruzione ha un'ampiezza che varia da 90 a 1.500 m. In media un tornado decade nel giro di 15 minuti e percorre una quindicina di chilometri, ma alcune delle nubi più grandi possono viaggiare anche per 400 km e persistere per alcune ore.

Trombe d'aria

Analoghe ai tornado, ma di dimensioni e energia decisamente più contenute sono le trombe d'aria. Quando evolvono da nubi temporalesche, si comportano come piccoli tornado e sono abbastanza distruttive. Trombe d'aria chiamate anche vortici di polvere, di dimensioni più piccole e di minor energia, si formano di solito in condizioni di aria molto calda e secca, nelle zone desertiche o di pianura e non sono associate a manifestazioni nuvolose o a precipitazioni. Si tratta di vortici innescati da fenomeni convettivi dovuti a forte riscaldamento al suolo. Trombe d'aria "secche" di questo tipo sono molto comuni nel SW degli Stati Uniti, dove in genere sono di dimensioni contenute e non provocano danni. Un gioco comune tra i bambini americani di queste zone è tentare di rincorrere la tromba d'aria e entrare all'interno del vortice: non appena vi riescono, il processo convettivo si interrompe e la tromba d'aria svanisce.

Trombe marine

Quando un tornado o una tromba d'aria passano sopra una massa d'acqua (il mare, ma anche un lago) si parla di trombe d'acqua o trombe marine. Di solito, si esauriscono immediatamente non appena toccano la terraferma, ma in alcuni casi possono addentrarsi per parecchi chilometri nell'entroterra. Il vortice risucchia aria ed acqua al suo passaggio, per cui le sue pareti sono costituite da un "muro" d'acqua in rapida rotazione: in questo caso si può verificare il curioso fenomeno della pioggia di pesci, rane, e altri animali acquatici che la tromba ha raccolto sul suo percorso e che vengono abbandonati bruscamente quando il fenomeno si esaurisce.

Lo spettacolo di un temporale

Il principale fenomeno atmosferico associato ad un temporale è sicuramente la pioggia, che spesso si presenta con carattere di rovesci improvvisi e violenti. È stato calcolato che soltanto il 20% dell'umidità accumulata dalla nube temporalesca viene effettivamente restituita sotto forma di pioggia. Spesso le precipitazioni possono assumere carattere di grandine, che si forma quando le temperature all'interno della nube permettono la formazione di cristalli di ghiaccio. Anche il vento è un fenomeno che durante un temporale può avere un carattere particolarmente violento, fino ad evolvere, a volte, in tornado e trombe d'aria.

Sicuramente, il fenomeno più impressionante di un temporale sono i fulmini, scariche elettriche che si producono sia all'interno della nube, sia tra nubi diverse, sia tra nubi e suolo. Il tuono è il "rumore" prodotto dallo spostamento d'aria provocato dalla scarica elettrica ed è quindi soltanto una manifestazione "collaterale".

I fulmini

I fulmini sono una delle manifestazioni più tipiche e caratteristiche dei temporali. Ci appaiono come scariche elettriche che partono dalla nube temporalesca e si abbattono al suolo, ma in realtà il fenomeno è molto più complesso e, viaggiando alla velocità della luce, avviene così rapidamente da non permetterci di comprenderlo immediatamente.

Un fulmine è una scarica elettrica all'interno del sistema temporalesco. I fulmini si possono verificare all'interno della nube, tra nubi adiacenti o tra nubi e suolo. In genere, circa l'80% dell'attività elettrica di una cellula temporalesca si scarica all'interno della nube o tra due nubi. Soltanto il 20% delle scariche avviene tra nubi e suolo, nonostante questo è stato calcolato che ogni secondo si abbattono sulla Terra più di 100 fulmini!

Al di sopra del termoclino degli 0° C, l'acqua all'interno della nube è sotto forma di cristalli di ghiaccio, che hanno carica positiva sulla superficie. Al di sotto del termoclino, le gocce di acqua liquida hanno invece carica negativa. In questo

modo, all'interno di nubi che si estendono verticalmente oltre l'isoterma degli 0° C si creano forti differenze di potenziale tra zone a cariche elettriche opposte: si producono così scariche elettriche tra zone a carica positiva e zone a carica negativa. Questo avviene all'interno della nube, ma anche tra due nubi quando vengono a contatto zone a diversa carica elettrica.

Un po' più complicato è il discorso per i fulmini che si scaricano al suolo. La superficie della Terra ha in genere una carica negativa, come pure la base delle nubi temporalesche. Cariche elettriche di segno uguale tendono a respingersi, per cui durante un temporale si formano, sulla superficie terrestre, zone a carica positiva, dove le cariche negative si sono allontanate, respinte dalle cariche negative della base della nube.

Con l'addensarsi delle cariche di segno apposto, a causa della loro attrazione reciproca, si forma un canale di aria ionizzata che dalla nube si propaga verso il suolo, che viene chiamato scarica guida. Mentre la scarica guida si avvicina al suolo, dalla superficie terrestre parte una seconda scarica che raggiunge la scarica guida prima che questa arrivi al suolo: questo è quello che noi percepiamo come il lampo principale. Ovviamente, tutto questo avviene alla velocità della luce in pochi millisecondi, per cui ci dà l'illusione che il fulmine sia partito dalla nube verso il suolo. Se al suolo vi sono concentrazioni di cariche positive ravvicinate tra loro, più scariche possono partire contemporaneamente dal suolo verso un medesimo canale guida e il fulmine assume il tipico aspetto ramificato verso il basso.

I tuoni

Quando si genera un fulmine, la scarica elettrica produce una grande quantità di calore che ionizza l'aria circostante trasformandola in un plasma (gas composto solo da elettroni e nuclei) a temperatura elevatissima (10-15.000° C). L'aria circostante si espande violentemente, in pochi milionesimi di secondo, provocando la propagazione di un'onda di compressione attraverso l'aria, che noi avvertiamo come onda acustica che produce il tuono.

Il tuono si propaga alla velocità del suono (350 m/s), mentre il fulmine viaggia alla velocità della luce (300.000 km/s), per cui il rumore prodotto da un fulmine viene avvertito con un certo ritardo. Possiamo divertirci a calcolare la distanza di una nube temporalesca misurando l'intervallo di tempo che passa da quando vediamo il fulmine a quando ne avvertiamo il tuono: con un calcolo un po' grossolano, dividendo per tre i secondi trascorsi si ottiene la distanza in chilometri.

L'arcobaleno

L'arcobaleno è un fenomeno che ha sempre affascinato l'uomo, da una parte perchè segna, in genere, la prossima fine di un temporale, dall'altra per lo spettacolo offerto dai suoi colori. A chi non è capitato di rimanere incantato ad osservare lo spettacolo di un arcobaleno, magari sullo sfondo di un cielo denso di nubi scure e minacciose? Sugli arcobaleni sono fioriti miti e leggende: per i greci era la manifestazione visibile della messaggera degli dei, secondo le leggende nordiche alla fine dell'arcobaleno è sepolta una pentola magica contenente un favoloso tesoro.

In realtà, si tratta di un semplice **fenomeno ottico**, dovuto alla rifrazione che la luce bianca subisce attraversando le gocce d'acqua: analogamente alla luce che attraversa un prisma, la luce solare che attraversa una goccia d'acqua viene rifratta e scomposta nelle diverse lunghezze d'onda che la compongono. Diversamente da un prisma, attraverso il quale riusciamo a vedere contemporaneamente tutte le lunghezze d'onda dello spettro visibile, noi possiamo vedere un solo colore, una sola lunghezza d'onda per ogni goccia, a seconda dell'altezza rispetto a noi e dall'angolo con cui la luce rifratta dalla goccia colpisce il nostro occhio. La luce solare che colpisce contemporaneamente milioni di microscopiche gocce d'acqua subisce quindi rifrazione attraverso ciascuna di esse (in realtà, la luce subisce una doppia rifrazione, entrando nella goccia e uscendone). Il risultato è che noi vediamo disegnarsi nel cielo una serie di archi concentrici a bande di colori diversi. I colori sono quelli che derivano dalla scomposizione dello spettro visibile nelle diverse lunghezze d'onda e si presentano sempre con un ordine ben preciso (in funzione della lunghezza d'onda) dal violetto, nell'arco più interno, al blu, al verde, al giallo, all'arancione fino al rosso nell'arco più esterno.

L'arcobaleno è osservabile subito dopo una pioggia, quando il Sole fa di nuovo capolino tra le nubi e lo possiamo osservare con il Sole alle nostre spalle. Un arcobaleno può disegnare un arco completo da un punto all'altro dell'orizzonte, oppure essere visibile solo in parte. A volte si formano anche arcobaleni doppi, di cui uno si presenta sempre meno brillante e con la sequenza dei colori invertita, a causa di un complicato gioco di rifrazioni e riflessioni

all'interno e sulla superficie delle gocce.

Aloni iridescenti e arcobaleni più sfocati e dai colori meno brillanti si possono anche formare attorno al Sole o alla Luna quando sono velati da formazioni nuvolose composte da aghi di ghiaccio, come i cirri. Questo tipo di arcobaleno si osserva facilmente nelle zone di alta montagna.

Come funziona...

Un barometro

Lo strumento più preciso e accurato per la misura della pressione è il barometro a mercurio, sul modello del barometro di E. Torricelli inventato nel 1643. Meno preciso, ma più piccolo e maneggevole, è il barometro aneroido. Questo è costituito da un contenitore metallico all'interno del quale è stato fatto un vuoto spinto e chiuso da un coperchio di metallo sottile e flessibile, che si alza e si abbassa al variare della pressione esterna. I movimenti del coperchio vengono trasformati da un meccanismo in movimenti di una lancetta lungo una scala graduata, che indicano il valore della pressione atmosferica.

Cambiando i valori sulla scala di riferimento, i barometri aneroidi sono utilizzati come altimetri, per la misura della quota sul livello del mare.

In una stazione meteorologica, vengono utilizzati **barografi**, cioè barometri accoppiati ad un sistema per riportare graficamente le variazioni di pressione su una striscia di carta. Attualmente, strumenti elettronici sono in grado di trasmettere i dati direttamente alle stazioni di elaborazione e di registrarli su computer.

Un termometro

Il termometro più usato è quello a mercurio, dove la temperatura è misurata sulla base della dilatazione del mercurio liquido contenuto nel bulbo, ma si utilizzano anche termometri ad alcool etilico. Più complesso è il termografo, che permette di registrare le temperature nel corso del tempo: è in genere costituito da un termometro a lamina bimetallica, dove due metalli diversi saldati tra loro si dilatano in misura diversa per una medesima variazione di temperatura.

Un igrometro

L'umidità relativa viene misurata con strumenti chiamati igrometri. Gli strumenti più diffusi sono gli igrometri a capello, che sfruttano la singolare proprietà dei capelli umani di allungarsi proporzionalmente all'umidità relativa (come ben sanno coloro che hanno una capigliatura ricciuta: quando l'aria è umida, i capelli sono più arricciati e aggrovigliati).

In meteorologia si utilizzano strumenti più precisi chiamati psicrometri (dal greco *psycros*, freddo). Sono costituiti da una coppia di termometri affiancati, uno dei quali ha il bulbo avvolto in una tela imbevuta di acqua. Finché l'umidità relativa è inferiore al 100%, il termometro con il bulbo bagnato segna una temperatura inferiore a quello asciutto, e la differenza è tanto maggiore quanto minore è l'umidità relativa. Con apposite tabelle, è possibile quindi ricavare l'umidità relativa dalla differenza di temperatura misurata dai due termometri. Per far evaporare l'acqua dal bulbo bagnato, infatti, occorre energia, che viene sottratta al bulbo, il quale si raffredda. La velocità di evaporazione, e quindi di raffreddamento del bulbo, è tanto più grande quanto più bassa è l'umidità relativa (quindi, tanto più l'aria è secca). Quando l'umidità relativa è pari al 100% e l'aria è satura di vapore acqueo, invece, l'evaporazione sul bulbo bagnato si arresta e i due termometri segnano la stessa temperatura.

Un pluviometro

La quantità di acqua caduta al suolo viene espressa in millimetri, cioè l'altezza che l'acqua avrebbe raggiunto se fosse caduta su una superficie orizzontale e impermeabile. Un millimetro di pioggia caduta su una superficie di 1 m² corrisponde a un litro di acqua raccolta.

La quantità di pioggia caduta si misura con i pluviografi. Questi sono costituiti da un contenitore cilindrico, collocato in un'apposita capannina, sulla cui sommità si trova un imbuto di raccolta con caratteristiche standard. L'acqua raccolta viene pesata e i dati vengono registrati automaticamente e inviati alla stazione di elaborazione. Le precipitazioni nevose

vengono raccolte su apposite tavole e se ne misura l'altezza con aste graduate. Resistenze elettriche poste sull'imbuto del pluviometro permettono di fondere la neve e ricavare i millimetri di pioggia equivalenti alla neve caduta.

Un anemometro

La velocità del vento viene espressa in km/h o in nodi (1 nodo= 1.852 km/h), oppure, più raramente in meteorologia, attraverso la scala di Beaufort (proposta nel 1805 dall'ammiraglio inglese Francis Beaufort per classificare i venti in base all'intensità).

Gli anemoscopi misurano la direzione del vento e sono costituiti da semplici banderuole metalliche che ruotano su un perno e si allineano alla direzione del vento (come le banderuole e i "galletti" posti sui tetti delle case o le maniche a vento degli aeroporti, che offrono anche una stima della velocità in base alla espansione della manica). Un'apposita strumentazione permette di registrare automaticamente i dati. Gli anemometri invece permettono di misurare la velocità del vento, con una piccola "girandola" che ruota con velocità proporzionale alla velocità del vento. In genere anemoscopi e anemometri sono accoppiati nello stesso strumento. I modelli più moderni sono elettrici e appositi trasmettitori permettono di inviare i dati in tempo reale alla stazione di elaborazione.

Un eliografo

L'insolazione è il periodo in cui il Sole splende al di sopra dell'orizzonte in un dato punto della Terra. Si misura con l'eliofanografo, costituito da una lente sferica che concentra i raggi solari su una striscia di speciale carta termica, che si annerisce quando colpita dai raggi solari concentrati dalla lente.

L'energia ricevuta da una data superficie, invece, si dice radiazione globale e si misura con uno strumento detto piranometro o solarimetro, ed è espressa in calorie per unità di tempo per unità di superficie.

Una capannina meteorologica

La capannina meteorologica è una piccola costruzione dove trovano posto gli strumenti utilizzati per misurare i principali parametri atmosferici. La capannina è realizzata in legno ed è dipinta di bianco, per riflettere il più possibile i raggi solari, con pareti a persiana per garantire la circolazione dell'aria. Deve essere posta a 1 m dal suolo, per non subire il riscaldamento diretto del terreno. All'interno della capannina si trovano diversi strumenti: un termometro per la misura della temperatura, di solito del tipo a massima e minima, un barografo, e, all'esterno, un anemometro e un anemoscopio e un pluviografo costituiscono la strumentazione minima e standard.

La capannina meteorologica deve funzionare anche in assenza di un operatore sul posto, per cui tutti gli strumenti devono poter registrare i dati. Una volta la registrazione avveniva su supporto cartaceo, con gli operatori che sostituivano periodicamente i rulli di carta e prelevavano i dati, ma attualmente la maggior parte degli strumenti è elettronica, in grado di registrare in continuo i dati, di trasferirli su computer e di trasmetterli in tempo reale alle stazioni di registrazione, in genere con segnali radio.

Previsioni del tempo

Che tempo fa

Poter prevedere il tempo che farà è sempre stato una necessità dell'uomo, per poter gestire e programmare tutte le sue attività, dal divertimento allo sport, alle attività agricole e a quelle industriali all'aria aperta.

Ora le nostre conoscenze sul tempo e sui fenomeni meteorologici sono molto avanzate, anche se ancora lontane da una totale comprensione, così che le previsioni del tempo sono sempre più affidabili. In Italia l'organo ufficiale preposto alla formulazione delle previsioni meteorologiche è il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, in collegamento con l'Organizzazione Meteorologica Europea e Mondiale.

Il Servizio Meteorologico pubblica quotidianamente il Bollettino Meteorologico ufficiale, avvalendosi dei dati raccolti da stazioni a terra (ubicate in ogni aeroporto e integrate da altre sparse sul territorio nazionale). Alcune di queste sono

dotate di strumentazione per rilevamenti radar e per il lancio di palloni sonda. I dati sono poi integrati dalle rilevazioni effettuate dalla rete mondiale dei satelliti meteorologici, in particolare dai satelliti europei METEOSAT.

Per le previsioni a breve scadenza, con indicazioni valide fino a 12-24 ore, si impiegano soprattutto carte sinottiche del tempo in superficie e in quota. Per questo tipo di previsione sono ancora fondamentali l'esperienza e la capacità personale del meteorologo: sono quindi previsioni molto soggettive, la cui affidabilità dipende molto dall'abilità del meteorologo.

Per le previsioni a media scadenza, valide fino a un massimo di 3-5 giorni, si utilizzano prevalentemente metodi matematico-numeric. In questo caso, la previsione si fonda su un modello matematico dell'atmosfera, che rappresenta lo stato del tempo con una serie di equazioni dove le incognite sono temperatura, pressione, densità dell'aria e velocità dei venti. Questi metodi richiedono l'uso di calcolatori molto potenti e veloci, perchè la simulazione richiede un enorme quantità di calcoli: l'evoluzione di computer di grande potenza per uso civile è avvenuta proprio grazie alla ricerca per soddisfare le necessità di calcolo in campo meteorologico.

Per le previsioni a lunga scadenza, valide da una settimana a un mese, si utilizzano invece analisi statistiche, utilizzando serie temporali di dati meteorologici: in pratica, si studiano le condizioni medie del tempo nel passato per prevedere il possibile comportamento del tempo in situazioni meteorologiche analoghe: è un tipo di previsione più adatta allo studio del clima, che per risolvere i problemi di previsione del tempo.

Rete globale

Le osservazioni meteorologiche al suolo vengono effettuate da una rete di più di 10.000 stazioni distribuite su tutta la superficie terrestre, a cui si aggiungono numerose stazioni mobili su navi e aerei appositamente attrezzati.

Le osservazioni principali riguardano pressione, temperatura, umidità dell'aria, direzione e velocità del vento, precipitazioni, nuvolosità. Le stazioni più importanti misurano anche l'insolazione, la radiazione solare, l'evaporazione e la temperatura del suolo. I dati raccolti permettono la costruzione delle carte del tempo al suolo. In Italia le stazioni sono gestite dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica militare e si inquadrano nella rete internazionale coordinata dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale. Tutte le osservazioni e la trasmissione dei dati vengono effettuate secondo un preciso codice internazionale.

Ai dati delle stazioni a terra si integrano i dati rilevati dai satelliti, tra loro collegati attraverso la rete mondiale dei satelliti meteorologici.

L'Organizzazione Meteorologica Mondiale ha il compito di raccogliere i dati, coordinando e codificando lo scambio di informazioni tra i diversi Paesi, in modo che sia possibile lavorare ai problemi del tempo e del clima su scala globale. Attualmente, grazie alla rete di Internet, è possibile avere accesso a numerosi siti che si occupano di meteorologia, compresi quelli di servizi nazionali, dove è possibile consultare carte del tempo e avere accesso a previsioni e ad immagini da satellite.

Che cosa è una carta meteorologica

Le carte meteorologiche costituiscono la base fondamentale per l'analisi e la previsione del tempo. Si basano sui dati raccolti dalle stazioni meteorologiche al suolo e dai dati rilevati in quota da sonde e satelliti. La maggior parte degli strumenti moderni permette una registrazione continua dei dati atmosferici, ma le carte del tempo vengono realizzate utilizzando i dati rilevati a orari prestabiliti e convenzionali, in modo da poter essere tra loro confrontabili in diverse parti del mondo. Gli orari stabiliti dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale prendono il nome di orari sinottici e sono le 0.00-6.00-12.00-18.00. Le carte relative si dicono carte sinottiche del tempo.

Tutte le stazioni mondiali sono collegate da reti gestite dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale e, per l'Europa, dalla Rete Meteorologica Internazionale Europea e le carte vengono realizzate con criteri e simbologia standard, in modo che siano tra loro confrontabili.

Una carta del tempo prevede una carta delle isobare e la rappresentazione, con opportuna simbologia, dei principali parametri atmosferici, come la direzione e la velocità dei venti, la tipologia delle nubi e l'estensione della nuvolosità, la posizione dei fronti caldi, freddi e occlusi e dei centri di alta e bassa pressione.

Le carte del tempo possono riguardare la situazione del tempo al suolo o in quota e sono la base per la costruzione delle carte di previsione del tempo.

Interazione con gli oceani

L'atmosfera, con i suoi movimenti e i fenomeni che vi si producono, non è un sistema isolato e indipendente, ma risente delle interazioni e degli scambi di energia con l'idrosfera, la litosfera e la biosfera. In particolare, non è possibile comprendere i meccanismi che governano il comportamento dell'atmosfera senza studiarne le relazioni con gli oceani. Gli oceani, con i loro enormi volumi di acqua, costituiscono un immenso "pozzo di calore" che immagazzina grandissime quantità di energia termica assorbita dall'irraggiamento solare: al contrario del suolo, che restituisce subito gran parte dell'energia ricevuta, l'acqua possiede una grande inerzia termica, per cui è in grado di immagazzinare grandi quantità di calore, che viene poi rilasciato lentamente e ceduto all'atmosfera.

Attraverso le correnti marine e oceaniche, l'energia termica viene ridistribuita dalle zone equatoriali, dove vi è un eccesso di calore, alle regioni polari, dove, al contrario, vi è un "deficit" energetico. La circolazione oceanica, quindi, ha una grandissima influenza sulla distribuzione delle cellule di circolazione atmosferica a scala planetaria, oltre che, naturalmente, sugli scambi a livello locale: la posizione delle celle di alta e bassa pressione dipende anche dal sistema delle grandi correnti oceaniche. I trasferimenti di energia termica da queste operate, infatti, sono in grado di modificare il clima di intere regioni: si pensi, per esempio, al già citato caso degli effetti della Corrente del Golfo sul clima del Nordeuropa, o al caso contrario, degli effetti della fredda corrente di Humboldt che lambisce le coste di Ecuador e Perù. Osservando i circuiti delle principali correnti oceaniche e le cellule di circolazione atmosferica, si può osservare che vi è una certa similitudine, come se le prime rispecchiassero le seconde, o viceversa.

Il ruolo degli oceani è anche importante nel ciclo dell'anidride carbonica, di cui gli oceani costituiscono un grande "magazzino", sottraendola all'atmosfera.

La città e il clima locale

Chiunque viva in periferia e lavori in città avrà sicuramente sperimentato le differenze del clima in un grande agglomerato urbano rispetto al clima in zone lontane dalle città: le città sono in genere sensibilmente più calde delle zone circostanti, oltre che, naturalmente, più inquinate, e nei mesi invernali vi si instaurano più spesso condizioni di inversione termica.

In poche parole, le grandi città sembrano modificare le condizioni climatiche locali. A cosa è dovuto questo fenomeno? La progressiva sostituzione di terreno e vegetazione con catrame, asfalto e cemento è la prima causa: questi materiali assorbono grandi quantità di calore, che rilasciano poi lentamente, comportandosi da "pozzi di calore". In questo modo, le temperature in città sono sensibilmente più elevate che nelle aree circostanti. In secondo luogo gli edifici raggruppati e vicini gli uni agli altri ostacolano la circolazione dell'aria, favorendo ulteriormente il riscaldamento. La progressiva cementificazione inoltre impedisce l'infiltrazione dell'acqua nel suolo, per cui il terreno cementificato e coperto di asfalto è meno umido del suolo naturale. L'aria delle città è quindi in genere più secca: poiché l'evaporazione dell'umidità atmosferica contribuisce a raffreddare l'aria stessa, ecco che questa caratteristica favorisce un riscaldamento dell'aria e un suo più lento raffreddamento al calare del Sole: per questo motivo gli abitanti delle città non possono godere del refrigerio notturno nelle calde serate estive.

Il maggior calore emanato da una grande città favorisce, in estate, i fenomeni convettivi e la formazione di temporali. Sembrerebbe che la presenza di edifici molto alti possa favorire la formazione di cumulonemi. Anche la maggior emissione di inquinanti, gassosi e sotto forma di polveri, tipiche delle zone industrializzate e ad elevata densità di popolazione, contribuiscono a modificare le caratteristiche dell'atmosfera, in particolare la capacità di assorbire e irradiare calore. Studi statistici mostrano che l'aumento di temperatura nelle città è proporzionale alla densità della popolazione.

Un modello climatico globale

Da sempre l'uomo ha cercato di capire il clima e di fare previsioni sul tempo: per le attività agricole, per i viaggi, i

trasporti, le previsioni del tempo sono indispensabili alla progettazione delle attività umane, ma anche alla realizzazione di strutture abitative, strade, ponti, che devono resistere agli eventi atmosferici più avversi. E' difficile per noi comprendere un sistema complesso come quello del clima alla scala planetaria: per capire infatti il funzionamento del clima e costruirne un modello valido e realistico è necessario comprendere che il clima è un insieme complesso, un sistema caotico fatto da un insieme di sottosistemi ordinati: in poche parole, mentre siamo in grado di comprendere i singoli eventi che si verificano (un temporale, una nevicata, un ciclone) e di scriverne le leggi fisiche che li governano, non siamo in grado di descrivere con formule matematiche il comportamento di un sistema dove i singoli eventi si sommano. Per descrivere il clima, quindi, è necessario elaborare dei modelli che si avvicinino il più possibile alla realtà, ma dobbiamo essere consapevoli che qualunque modello sarà sempre soltanto una rappresentazione schematica e incompleta del sistema climatico reale.

Il modello climatico attuale prevede che la circolazione atmosferica, e quindi il clima alla scala planetaria, dipenda dalle differenze di irraggiamento solare dovute ai parametri orbitali e all'inclinazione dell'asse di rotazione: questi parametri sono responsabili dell'alternarsi delle stagioni e delle differenze di energia tra equatore e poli, e fanno sì che la circolazione atmosferica sia organizzata in sei grandi cellule di alta e bassa pressione, influenzate anche dall'interazione con le correnti oceaniche. Da questo modello deriva l'attuale distribuzione dei climi sulla Terra e la loro variabilità nel corso dell'anno.

Finchè non interverranno variazioni significative di questi parametri e delle caratteristiche fisiche e chimiche dell'atmosfera, il modello climatico attuale dovrebbe in teoria restare valido, senza subire grandi modifiche. Tuttavia, molti dei parametri che entrano in gioco nel modello climatico attualmente proposto sono difficilmente controllabili e prevedibili: così, per esempio, piccole variazioni nell'irraggiamento solare o piccole modifiche alla circolazione oceanica possono produrre grandi cambiamenti nel modello climatico. Il problema è riuscire a capire se la variabilità climatica osservabile ogni anno in diversi luoghi della Terra, le "eccezioni" al modello climatico attuale, siano soltanto delle fluttuazioni naturali e casuali, o se invece non siano i precursori di un possibile cambiamento nel modello climatico globale.

Il tempo sta cambiando?

Per comprendere se il clima del nostro pianeta stia davvero modificandosi è indispensabile studiare quello che è avvenuto in passato. L'uomo ha sempre avuto una visione antropocentrica degli eventi naturali, e per questo tende a dare importanza ai fatti più recenti, che lo toccano in prima persona, o agli eventi "estremi" più catastrofici, che spesso vengono visti come la "norma" o come segnali di improvvisi cambiamenti. Per questo, ogni estate calda ci sembra "la più calda mai registrata negli ultimi anni", ogni inverno rigido, il più freddo. Senza considerare che spesso la grande quantità di informazioni che ci giungono ogni giorno dai media può generare confusione: il verificarsi di un evento particolarmente catastrofico, fa salire l'attenzione per eventi analoghi, per cui dopo il passaggio di un uragano particolarmente devastante, per esempio, ci vengono segnalati i passaggi di ogni altro uragano: questo può farci pensare che il numero di uragani sia in aumento, ma è davvero così? E' davvero aumentato il numero di manifestazioni violente, o è soltanto aumentata la loro interazione con l'uomo, a causa della sempre maggior antropizzazione di aree che in passato erano disabitate? Questo fatto fa sì che gli stessi dati, la stessa successione di eventi siano interpretati, a volte, in modo radicalmente opposto da ricercatori diversi: così, l'aumento della concentrazione dei gas serra nell'atmosfera da alcuni ricercatori è visto come la causa di un prossimo riscaldamento globale del pianeta, mentre altri ipotizzano che, al contrario, ci potrebbe attendere una nuova era glaciale: l'unico modo oggettivo di risolvere questo dubbio è di osservare le serie di dati sulle temperature in vari punti della Terra per un tempo abbastanza lungo da non risentire delle normali fluttuazioni attorno alla media..

Al di là di ogni interpretazione personale e soggettiva, soltanto l'analisi di dati oggettivi permette di comprendere se davvero siano in atto dei cambiamenti nel modello climatico generale e quale sia la reale tendenza dei diversi fenomeni. Per questo tipo di studio sul clima, è perciò indispensabile l'analisi accurata dei dati climatici e meteorologici raccolti nel tempo: soltanto analizzando le serie dei dati storici potremo dire in modo oggettivo se davvero sia in atto un trend di aumento o di riduzione di un fenomeno, o se non si tratti, invece, di semplici oscillazioni casuali intorno a una media. Per

questo è necessario che i dati riguardino un intervallo di tempo sufficientemente lungo.

La natura, d'altra parte, è abituata ai cambiamenti: i dati geologici e paleoambientali ci permettono di ricostruire variazioni climatiche anche di un passato molto remoto, e la storia della Terra offre numerosi esempi di cambiamenti climatici assai drastici e bruschi. Ma si tratta, purtroppo, non di una raccolta sistematica e ordinata, quanto di una serie di dati incompleti e discontinui nello spazio e nel tempo. Il tempo analizzato è quello geologico, alla scala dei milioni e dei miliardi di anni.

Per cogliere, invece, variazioni più "fini" è necessario lavorare su tempi più brevi dei tempi geologici, ma, nello stesso tempo, più lunghi dell'arco della vita umana e con serie di dati raccolti con la maggior continuità possibile nella stessa regione. Soltanto così è infatti possibile cogliere quelle che sono le tendenze e le modificazioni in atto.

Purtroppo, una raccolta sistematica di dati climatici e meteorologici ha avuto inizio soltanto poco più di 200 anni fa in Europa, e circa 100 anni fa negli Stati Uniti, e in molti Paesi non è ancora cominciata. Sono informazioni preziose, tuttavia si tratta ancora di periodi di osservazione troppo brevi per permettere di costruire modelli di variazioni a lungo termine: in poche parole, l'analisi delle serie di dati storici non ci permette ancora di rispondere alla domanda cruciale: il clima della Terra sta davvero cambiando? Anche perchè i dati del passato non possono tenere conto di uno dei fattori che diviene di anno in anno sempre più importante nell'introdurre possibili modifiche ai parametri che governano il clima del nostro pianeta: l'influenza della popolazione umana, che aumenta di giorno in giorno.