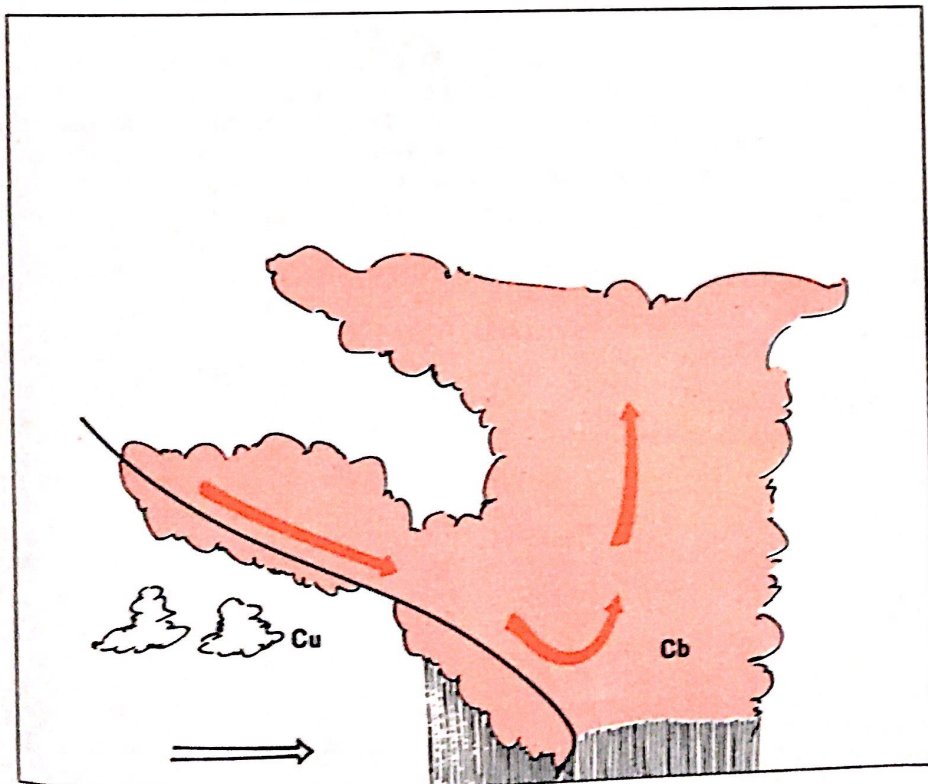


PREVEDERE IL TEMPO: UNA SCIENZA DIFFICILE

di Andrea Carusi

La meteorologia e i meteorologi sono tra i bersagli preferiti dell'ironia verso la scienza ufficiale: in parte tale ironia è fondata, ma in genere non si tiene conto delle intrinseche difficoltà offerte dal campo di studi. E' quindi utile un'esposizione, pur se generica, dei fenomeni meteorologici e degli strumenti e dei metodi usati nelle previsioni del tempo.

Fig. 1 Schema di fronte freddo di seconda specie. L'aria calda scende sulla fredda, ma viene poi violentemente risospinta in alto.



1 Campo d'azione della meteorologia

1.1. - La parola meteorologia, etimologicamente, vuol dire: studio delle meteore. È convenzione indicare con questo nome i fenomeni che avvengono nell'atmosfera, e il risultato di essi. Sono quindi meteore le nubi, la pioggia, i temporali, i fulmini, i tuoni, le tracce luminose dei bolidi che si introducono dallo spazio nell'involucro atmosferico. D'altro canto, come in genere succede nelle definizioni, il termine « meteorologia » ha subito, di recente, un notevole ampliamento: rientrano ora nel suo campo di studi i fenomeni connessi col cosiddetto vento solare, che, propriamente, non avvengono nell'atmosfera, mentre già si parla di una meteorologia delle atmosfere di alcuni pianeti come Venere e Marte, che hanno un'atmosfera del tutto diversa da quella terrestre.

1.2 - Parte principale della meteorologia è lo studio del miscuglio gassoso che costituisce l'aria: la scienza corrispondente prende il nome di Aerologia.

Com'è noto, e come vedremo più avanti, l'aria è un miscuglio di ossigeno, azoto e gas rari secondo proporzioni definite e pressoché costanti. Come per tutti i gas, i fenomeni che interessano l'aria si possono, in linea di massima, trattare con i metodi e le formule della fluidodinamica e della termologia. Sono essenziali a tale scopo le grandezze che più avanti meglio illustreremo, di pressione, temperatura, umidità con cui è possibile definire, grosso modo, le proprietà e il comportamento di una massa d'aria. Sono anche importantissime le modificazioni di velocità e direzione delle masse d'aria che danno origine ai venti. È bene precisare subito che la meteorologia è una scienza prettamente empirica. Com'è noto, per la risoluzione di un qualunque problema fisico è necessario che le variabili che entrano in giuoco siano rigorosamente definite nel loro sviluppo temporale: in altri termini è essenziale possedere un insieme di relazioni che forniscano la « fotografia », istante per istante, del sistema fisico in esame. Per la meteorologia questo è estremamente difficile, per non dire impossibile, dato il gran numero di variabili che intervengono nelle equazioni, e la cui dipendenza dal tempo è ancora, in gran parte, sconosciuta.

Questi ostacoli, ed altri dovuti all'impossibilità di ricreare in laboratorio numerosi fenomeni, rendono la meteo-

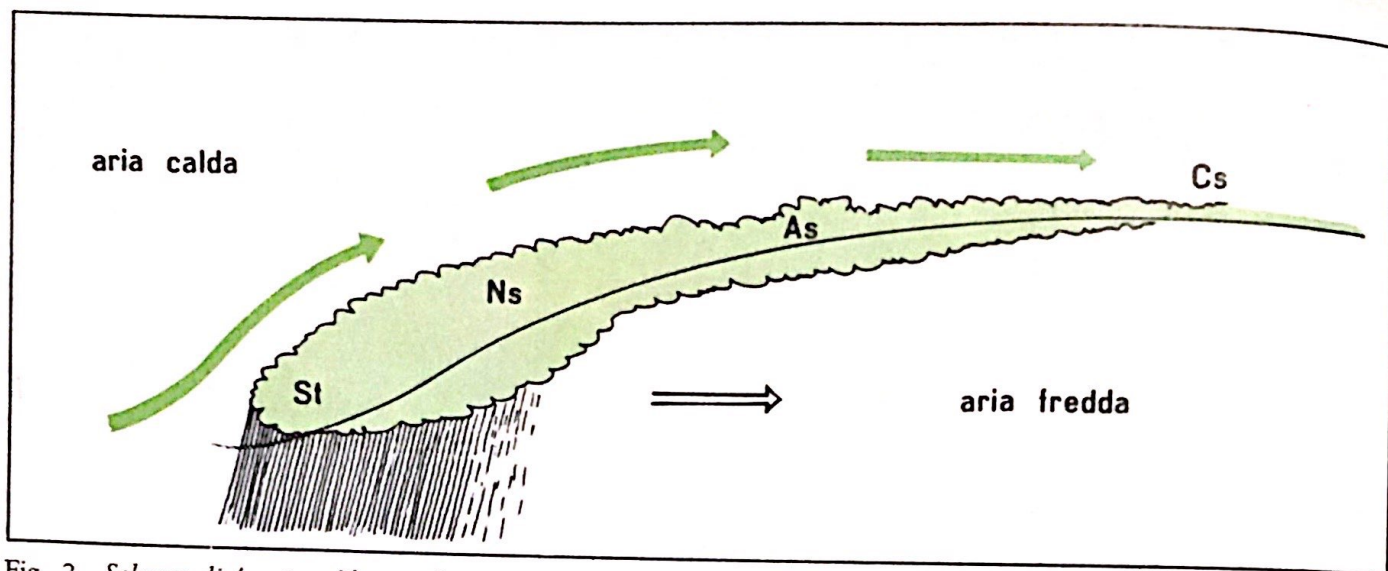


Fig. 2 Schema di fronte caldo con la successione dei tipi nuvolosi: Cs = cirrostrati; As = altostrati; Ns = nembostrati; St = strati. La zona tratteggiata indica pioggia.

rologia una scienza soprattutto descrittiva. L'ironia, spesso facile, sugli abbagli che i meteorologi prendono di frequente nelle loro previsioni, non tiene conto di queste intrinseche difficoltà, e del fatto che le previsioni meteorologiche hanno un significato unicamente di probabilità.

1.3 - La prima cosa da tener presente, nell'addentrarci in una illustrazione dei metodi e dei risultati della meteorologia, è che non è possibile uno studio del comportamento dell'aria presa come sistema a sé stante: per non correre il rischio di un completo travisamento della realtà è necessario introdurre altri due elementi, ugualmente importanti.

Il primo di essi, il Sole, fornisce praticamente tutta l'energia necessaria allo sviluppo della circolazione atmosferica, mentre il secondo, la superficie terrestre, è determinante per comprendere come e perché la massa d'aria si comportano nel modo da noi osservato.

Potremmo quindi dire che, dei tre elementi considerati, il Sole fornisce la energia, la « carica » per innescare i fenomeni; l'aria fornisce il materiale che agisce e subisce modificazioni; e la Terra il « supporto », l'ambiente in cui queste modificazioni hanno luogo. Come vedremo più avanti, la Terra agisce sull'atmosfera in vari modi; con la sua rotazione e col ciclo stagionale, con l'asimmetrica disposizione di terre e mari, con la diversa conformazione del suolo. I diversi aspetti del suolo e le diverse condizioni di insolazione e umidità che le masse di aria incontrano nella loro storia producono infatti la formazione di venti e di nubi, le precipitazioni e i temporali.

1.4 - Come abbiamo accennato la meteorologia ha cominciato di recente, a interessarsi di problemi relativi a corpi celesti diversi dalla Terra. Per quanto tali problemi siano ancora essenzialmente studiati dall'astrofisica planetaria, molti metodi comunemente usati in meteorologia si rivelano sempre più utili nello studio delle atmosfere, ad esempio, di Marte e Venere, che sono i pianeti più vicini al nostro non solo spazialmente, ma anche come grandezza, composizione eccetera... È di questi ultimi tempi la messe di dati fornita dalle sonde americane e sovietiche che hanno indagato la costituzione e alcuni fenomeni notevoli dell'atmosfera venusiana e di quella marziana. Non si deve poi dimenticare l'importanza che lo studio delle atmosfere di Giove e Saturno riveste per le indagini sull'origine del Sistema Solare.

Non è questa la sede adatta ad uno sviluppo, sia pure sommario, delle numerose ricerche in questi campi: noi ci limiteremo ad illustrare brevemente la meteorologia terrestre e i metodi da essa usati, con alcuni cenni agli strumenti impiegati.

2 L'oggetto di studio: aria e fenomeni meteorologici

2.1 - L'aria è un miscuglio di gas, in cui si trovano, in sospensione, particelle liquide e solide. Essa è composta, per il 21%, di ossigeno molecolare (O_2), per il 78%, di azoto molecolare (N_2) e per il restante 1% da gas nobili (Argo neon ecc), da idrogeno e altri gas. Questa composizione non varia praticamente con la quota fino ad altezze notevoli, cosicché, ai

fini del calcolo, si può ritenere che l'aria sia un gas omogeneo di peso molecolare circa 29. Oltre agli elementi considerati, però, l'aria contiene numerose altre sostanze, ma in percentuale talmente bassa da essere trascurabile. Tra esse ricordiamo soprattutto il vapore d'acqua, derivante dall'evaporazione dei mari e delle acque superficiali. L'importanza della presenza dell'acqua nell'atmosfera è enorme, ai fini dello sviluppo di perturbazioni e di masse nuvolose con precipitazioni. Lasciando ai paragrafi successivi una analisi, per quanto superficiale, del ciclo dell'acqua, vogliamo qui ricordare che questa sostanza, indispensabile alla vita, ha alcune proprietà che la rendono molto interessante: innanzitutto l'elevata capacità termica, che ne fa un serbatoio di calore notevole. Nel passaggio dalla fase liquida (acqua) alla fase gassosa (vapore) ogni grammo di acqua assorbe circa 80 calorie dall'ambiente circostante. Notiamo, ad esempio, che tale proprietà viene sfruttata nella regolazione termica degli animali a sangue caldo (l'uomo compreso): quando la temperatura della pelle è troppo elevata, questa secerne il sudore, sostanza acquosa che evaporando sottrae calore al corpo.

Ugualmente nel passaggio liquido-solido (ghiaccio) l'acqua cede all'ambiente 600 calorie per grammo: è questo il motivo per cui, in genere, quando nevicata non fa molto freddo.

Altre importanti sostanze contenute nell'aria sono l'anidride carbonica e le particelle solide; quest'ultime possono provenire dai deserti, dalle eruzioni vulcaniche, dagli scarichi industriali, dai meteoriti. In genere hanno diametri

piuttosto piccoli, dell'ordine del centesimo di millimetro; come vedremo più avanti sono esse che permettono la condensazione del vapore in gocce di pioggia.

2.2 - In linea di massima lo stato di una massa d'aria è definito quando sono note le tre grandezze fondamentali: temperatura, pressione, umidità.

Vedremo in seguito che la prima è una misura del contenuto energetico dell'aria: la pressione invece ci fornisce informazioni sulla densità dell'aria, cioè sulla massa d'aria contenuta in un certo volume. Più l'aria è calda, più le molecole si agitano e meno densa è l'aria: questo vuol dire che una porzione d'aria calda immersa in aria fredda, essendo più leggera di questa, tende a salire, per lo stesso motivo per cui una bolla d'aria sale a galla. Questo fenomeno, noto come «convezione», su cui si basano anche i comuni termosifoni, permette agli strati inferiori dell'aria di salire in quota, dando origine ad un continuo rimescolamento dell'aria stessa.

La terza grandezza, l'umidità, è la misura del contenuto di vapore in una certa massa d'aria. Il fenomeno fondamentale in questo campo è la «saturazione»: una massa d'aria, a determinate condizioni di pressione e temperatura, può contenere solo una certa quantità di vapore. Se se ne introduce altro, l'eccedenza condensa in piccole goccioline (l'«appannamento» dei vetri): in tali condizioni si dice che l'aria è satura. Come vedremo più avanti è questo fenomeno che permette la formazione delle nubi e delle nebbie.

Ora diamo uno sguardo generale alla situazione: sulla Terra vi è una sottile pellicola di aria (circa 30 km contro 6370) in perenne movimento. In alcune zone si creano delle depressioni per cui l'aria viene risucchiata in queste «buche» dando origine a imponenti spostamenti di masse d'aria. Tali masse, nel loro cammino si arricchiscono o impoveriscono di vapore, si innalzano, si scaldano, subiscono, insomma, una serie di modificazioni delle loro tre grandezze fondamentali. Comprendere l'origine e prevedere queste modificazioni è compito del meteorologo: egli usa, a questo scopo, tutti i mezzi messi a disposizione da altre discipline, soprattutto dalla fisica dei gas e dall'astronomia.

2.3 - Immaginiamo di avere, sulla superficie terrestre, una zona molto calda, ad esempio, su una grande città o sui grandi deserti africani. Il terreno,

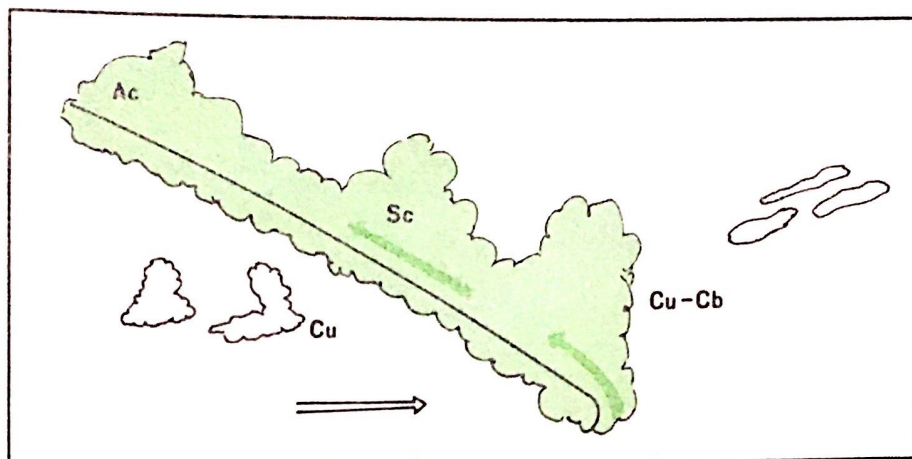


Fig. 3 Schema di fronte freddo di prima specie: in esso l'aria calda scorre sopra la fredda muovendosi in senso contrario.

in queste condizioni, riscalda per irraggiamento nella zona infrarossa dello spettro, l'aria sovrastante: questa diviene allora meno densa dell'aria circostante e sale in quota. Immaginiamo poi che in questa aria sia contenuta una certa quantità di vapore.

Salendo in quota l'aria si raffredda, finché giunge alla temperatura di saturazione: un ulteriore innalzamento produrrà allora la condensazione del vapore superfluo in minutissime goccioline. Se il fenomeno è abbastanza esteso, si ha la formazione di una nube, la cui base si trova all'altezza in cui l'aria ascendente raggiunge il punto di saturazione.

A seconda della zona in cui avviene la condensazione, dell'altezza e dei valori di temperatura e pressione, si hanno vari tipi di nubi. Esse vengono comunemente classificate, a seconda dell'altezza della base, in «basse», «medie» e «alte».

Al primo tipo appartengono quelle nubi che si osservano comunemente nei giorni sereni o d'estate, e che hanno l'aspetto di candidi fiocchi d'ovatta: esse sono dette *cumuli*. Altre nubi di questo tipo, che si osservano in genere d'autunno e in primavera, sono gli *strati* e gli *stratocumuli*, nubi stratificate a grande sviluppo orizzontale che possono dare una leggera pioviggine. Tra le nubi medie ricordiamo gli *alto-cumuli*, gli *altostrati* e i *nembostrati*, tutte formazioni stratificate, ma più spesse e più alte delle precedenti: in particolare i *nembostrati* (la cosiddetta «cappa di piombo») sono i responsabili delle continue e insistenti piogge autunnali. Un'estesissima coltre di *nembostrati* provocò, ad esempio, la disastrosa alluvione del 1966.

Le nubi alte sono i *cirri*, *cirrocumuli* (cielo a pecorelle) e *cirrostrati* la cui

base si trova a più di 600 metri d'altezza. Sono d'aspetto filamentoso e sono formati da minutissimi aghetti di ghiaccio.

Ricordiamo infine un ultimo tipo di nube, che non rientra nella classificazione sopra riportata, dato il suo grande sviluppo verticale: sono i cosiddetti *cumulonembi*, imponenti formazioni di vapore che si estendono in altezza per 5 o 6000 metri, con un'estensione orizzontale di tre o quattro chilometri. Queste sono le nubi più pericolose per il volo, essendo sede di fortissimi venti e di scariche elettriche (fulmini). Ogni tipo di nube ha delle caratteristiche proprie, che ne fanno un indice abbastanza certo dello sviluppo del tempo. Non tutte danno precipitazioni, dipendendo questo dal diametro delle goccioline e dalle condizioni di temperatura e pressione.

Le precipitazioni più importanti, come tutti conosciamo, sono la pioggia, la neve, la grandine. La prima ha origine quando una nube adatta contiene numerose particelle solide: queste agiscono da nuclei di condensazione, cioè permettono a più goccioline di unirsi a formare una goccia più grossa. Tale goccia cade verso il basso e, dopo alcune oscillazioni dovute al vento, riesce a raggiungere il terreno. La grandine è originata da gocce di pioggia ghiacciate: spesso il vento la rispinge in alto di nuovo, di modo che il chicco si arricchisce di una nuova pellicola d'acqua ghiacciata. La sezione di un chicco di grandine, infatti, mostra una serie di gusci concentrici, dal cui numero si può risalire alla forza del vento nella nube. La neve è anch'essa formata da ghiaccio, ma mentre la grandine è ghiaccio amorfo, la neve è ghiaccio allo stato cristallino, come si può vedere dalle caratteristiche forme rego-

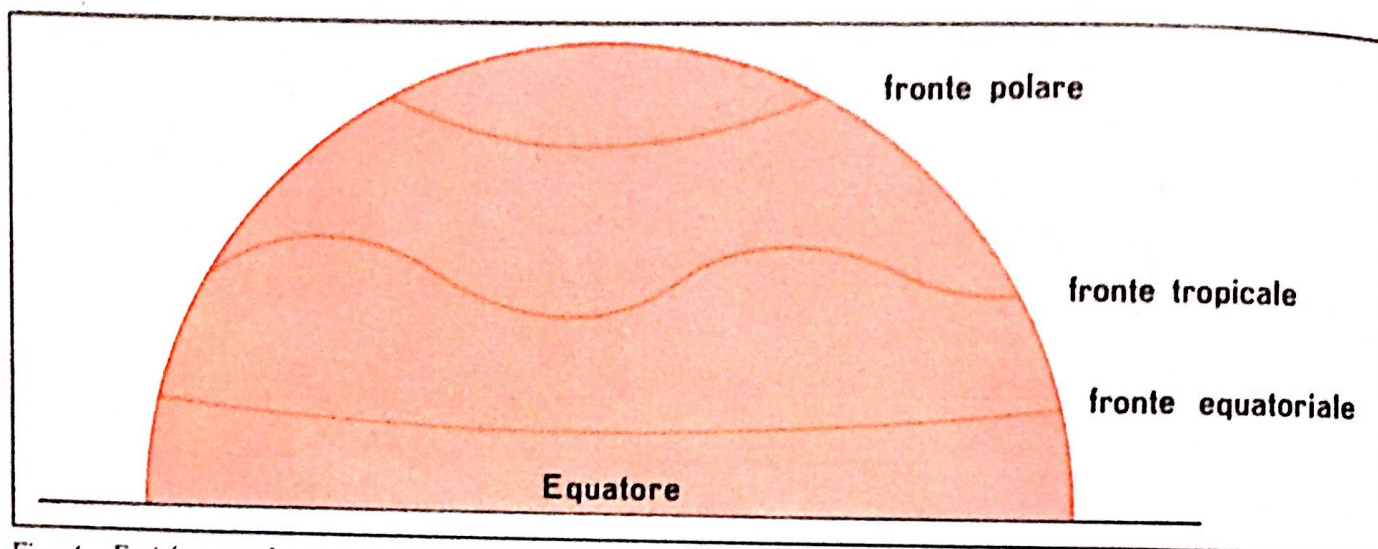


Fig. 4 Emisfero nord con i tre fronti principali.

lari, in genere esagoni, dei fiocchi.

2.4 - Se la terra fosse una sfera a superficie uniforme, e non fosse in rotazione e rivoluzione, e il Sole non le fornisce energia, l'atmosfera sarebbe una coltre immobile.

Vediamo, invece, come tutti gli elementi citati modificano questo stato di quiete totale. Innanzitutto il Sole c'è: questo significa che l'emisfero illuminato è più caldo di quello al buio. Vi sarebbe allora uno scambio continuo di aria alla linea di confine, con fortissimi venti al suolo dall'emisfero freddo a quello caldo e viceversa. Se Mercurio ha un'atmosfera, è probabile che questa sia la sua situazione. Ma la Terra è anche in rotazione intorno al suo asse. Ne deriva che l'emisfero illuminato non ricopre sempre la stessa parte del globo: la differenza di temperatura è allora meno pronunciata e i venti sono molto più deboli.

La terra descrive un'orbita intorno al Sole che la porta ora più vicino ora più lontano dall'astro: inoltre il suo asse è inclinato di circa 23° sul piano dell'orbita. È questo che dà origine al ciclo stagionale, in virtù del quale non solo c'è differenza di temperatura tra l'emisfero illuminato e l'altro al buio, ma anche tra emisfero nord e sud: lo scambio di aria avviene allora anche tra i due poli.

Da ultimo bisogna pensare che la superficie terrestre non è uniforme: i mari, composti di acqua, trattengono il calore più a lungo della Terra, dando origine ad una circolazione locale, nota come brezza, diretta dalla terra al mare di notte, quando quest'ultimo è più caldo, e dal mare alla terra di giorno, dato che il terreno si scalda più rapidamente dell'acqua.

Sul piano planetario si ha allora la situazione seguente: all'equatore l'aria si scalda e sale in quota. Questa viene rimpiazzata dall'aria circostante, dando origine ad una fascia di venti verso l'equatore al livello del suolo (alisei) e verso i tropici in quota (contralisei). È questa la cosiddetta « cella di circolazione equatoriale ».

Analogamente, dai poli si ha un flusso di aria fredda verso i tropici. Nella fascia intermedia (che prende appunto il nome di zona tropicale o intermedia) la situazione è molto più complicata: questo è dovuto, in parte, alle differenti condizioni fisiche dell'aria al nord e al sud di tale fascia, in parte alla tormentata conformazione del suolo. Occorre qui fare una distinzione tra la fascia tropicale dell'emisfero nord e quella dell'emisfero sud: la seconda comprende soprattutto zone oceaniche, o comunque senza rilievi notevoli, mentre la prima è costituita in gran parte da terre emerse con imponenti catene montuose, grandi laghi, mari interni, fiumi e grandi distese desertiche. E per questo motivo che, mentre le previsioni meteorologiche sulle zone equatoriali sono relativamente semplici, (venti costanti, temperatura e umidità praticamente costanti), al nord e, in particolare sull'Europa, la cosa assume un carattere completamente diverso.

Prendiamo proprio, come esempio, le condizioni sul continente europeo: da ovest verso est, troviamo dapprima il passaggio Atlantico-Spagna, quindi la catena dei Pirenei e il Mediterraneo. Già queste zone sconvolgono completamente le condizioni pressoché stabili dell'aria atlantica proveniente dall'anticiclone delle Azzorre (vedi in seguito). Ma non basta. Passati i Pirenei

l'aria dilaga nelle grandi pianure della Francia e della Germania, ma non può attraversare le Alpi data la loro altezza. Quindi tale aria è costretta ad aggirare la catena alpina, dilagando da un lato sul golfo di Trieste (bora) e sulla laguna, e dall'altro sul mar ligure. Ancora, un poco più a sud, l'aria trova sul suo percorso il Mediterraneo, poi l'Italia e gli Appennini, poi l'Adriatico, le Alpi Dinariche, le pianure rumene, il Mar Nero.

È chiaro che una simile serie di sbalzi fa della previsione del tempo un'impresa quasi impossibile.

Prima di passare all'esame un po' più dettagliato dei fenomeni particolari, ricordiamo ancora un tipo di circolazione che, specie negli ultimi tempi, è stato purtroppo molto alla ribalta. Il cosiddetto clima « monsonico » è caratteristico delle zone prospicienti l'Oceano Indiano, ed è originato da una particolare conformazione geografica. Al nord, procedendo verso il polo, vi sono le più grandi catene montagnose della Terra: le catene dell'Himalaya, del Karacorum, ecc., dietro le quali si trovano grandi distese desertiche e steppe, fino a giungere alla tundra siberiana e alle zone delle nevi eterne, ai confini del circolo polare. È comunque una enorme distesa di terra, senza grandi mari vicini, su cui si accumula l'aria più fredda: è di queste zone il primato della minima temperatura, con circa -50°C. In contrapposizione lo Oceano indiano è un mare tropicale, molto caldo e la cui aria sovrastante è ricca d'umidità. Tra questi due blocchi si stabilisce allora una circolazione simile a quella delle brezze, ma molto più imponente.

D'estate, o più propriamente in autun-

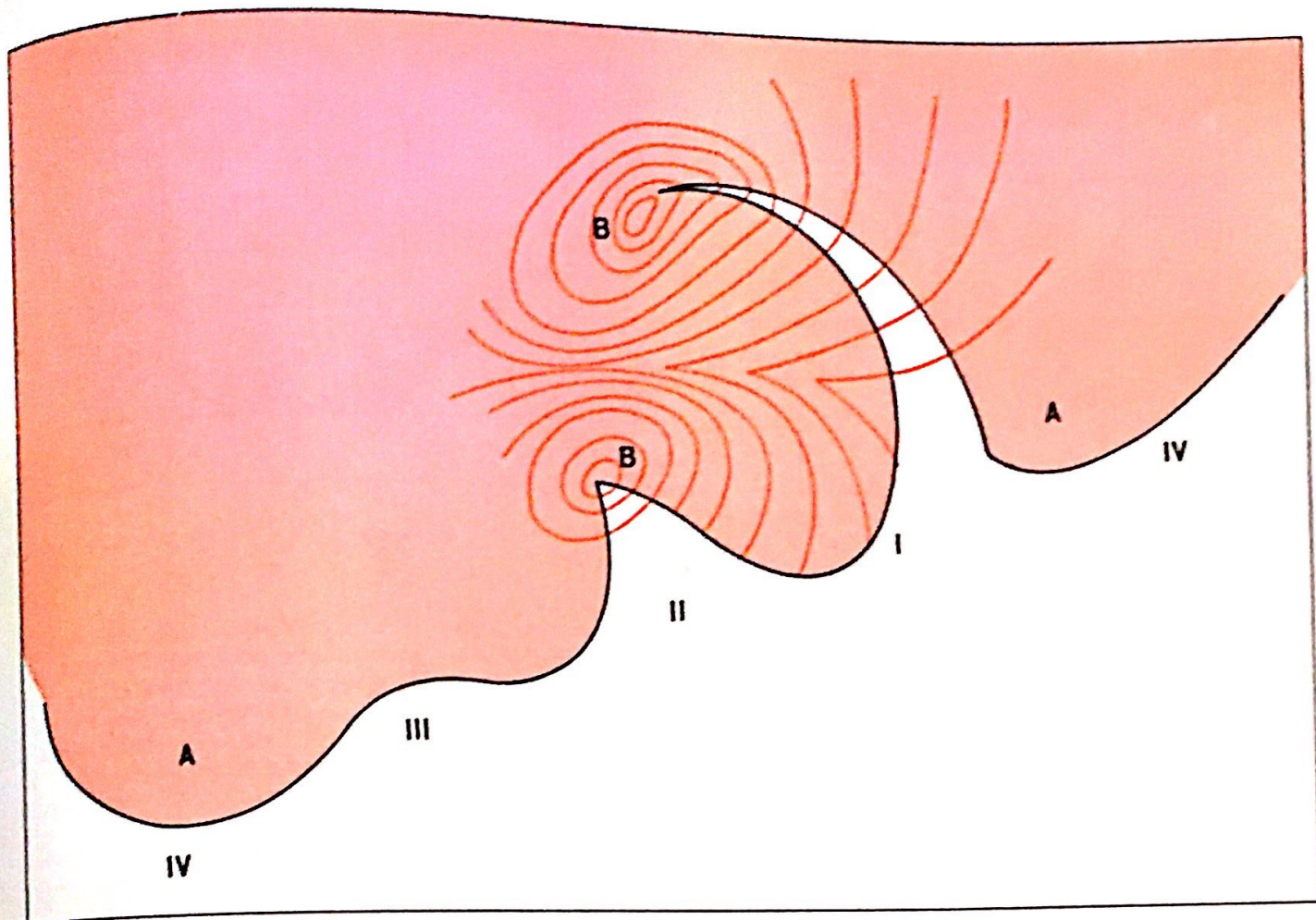


Fig. 5 Famiglia di cicloni: I) ciclone vecchio, ormai occluso; II) giovane ciclone; III) ciclone in formazione; IV) anticiclone di chiusura.

no, il terreno dell'Asia si trova ad essere molto più caldo del mare, determinando una forte corrente da sud molto umida che si scontra con le catene montuose, viene costretta a salire e dà origine ad immense e lunghissime piogge torrenziali, che durano anche per molte settimane. Viceversa, in primavera, il « monzone » (tale è il nome di questo caratteristico vento) inverte la direzione; dato che il terreno è molto più freddo del mare, provocando forti venti che dalla terra si dirigono verso sud.

Vediamo ora che cosa accade quando due masse d'aria di caratteristiche fisiche diverse si incontrano: la linea di separazione prende il nome di « fronte »: esso può essere caldo se è l'aria calda che va verso la fredda, e freddo nel caso contrario (v. figg. 1, 2, 3). Nel primo caso l'aria calda, più leggera, sale su quella fredda, finché il suo vapore condensa, dando origine ad un sistema nuvoloso molto tenue e allungato. Sulla linea del fronte si formano nembostati, con piogge continue ma deboli, mentre dietro di essi vi è il sereno.

Anche sul fronte freddo si formano nubi, ma a carattere cumuliforme con cumuli e cumulonembi che danno luogo a violenti temporali prima e dopo il fronte.

Ora che abbiamo definito le nozioni di fronte caldo e fronte freddo, possiamo spiegare l'origine di alcuni dei fenomeni più appariscenti della meteorologia: intendo parlare dei cicloni, degli anticicloni ecc. Ricordiamo per un attimo la situazione, « in grande », nella fascia tropicale: qui vi è l'incontro tra due masse d'aria di caratteristiche fisiche molto diverse. La prima è l'aria « artica », cioè l'aria che proviene dalle regioni polari (lo stesso discorso, anche se in tono minore, si può ripetere per l'emisfero antartico): la seconda è l'aria « tropicale », cioè quella che staziona sulle latitudini tra il 30° e il 40° parallelo.

La linea di separazione tra queste due masse prende il nome di « fronte tropicale », e, a causa dei fortissimi venti d'alta quota, (il « jet stream » o corrente a getto), ha un andamento ondulato, come in figura 4. Basta una piccola perturbazione, come può essere

originata dal passaggio mare-terra o terra-monti, per fare in modo che tale ondulazione si accentui fino a formare un vortice (fig. 5).

Dietro al vortice vi saranno altre ondulazioni, via via più smorzate, che subiranno la stessa sorte. Dopo tre o quattro di queste ondulazioni vi è una ampia zona che raccorda questa famiglia di cicloni alla successiva, e che prende il nome di « anticiclone di chiusura »: in esso i venti spirano nel senso delle lancette dell'orologio, contrariamente ai cicloni. La struttura tipica di un ciclone è mostrata in figura 6: come si vede, un vortice è costituito da una lingua d'aria calda (settore caldo) che si introduce in aria più fredda, dando origine, a destra, ad un fronte caldo, e, a sinistra, ad uno freddo. Il vento è forte, specie al passaggio dei fronti, e le piogge abbondanti, mentre la pressione atmosferica cade bruscamente al passaggio del fronte caldo, per poi rinforzarsi al passaggio di quello freddo.

Dopo un po' di tempo, parecchie ore, il vortice si stringe, finché il fronte freddo raggiunge quello caldo e vi si

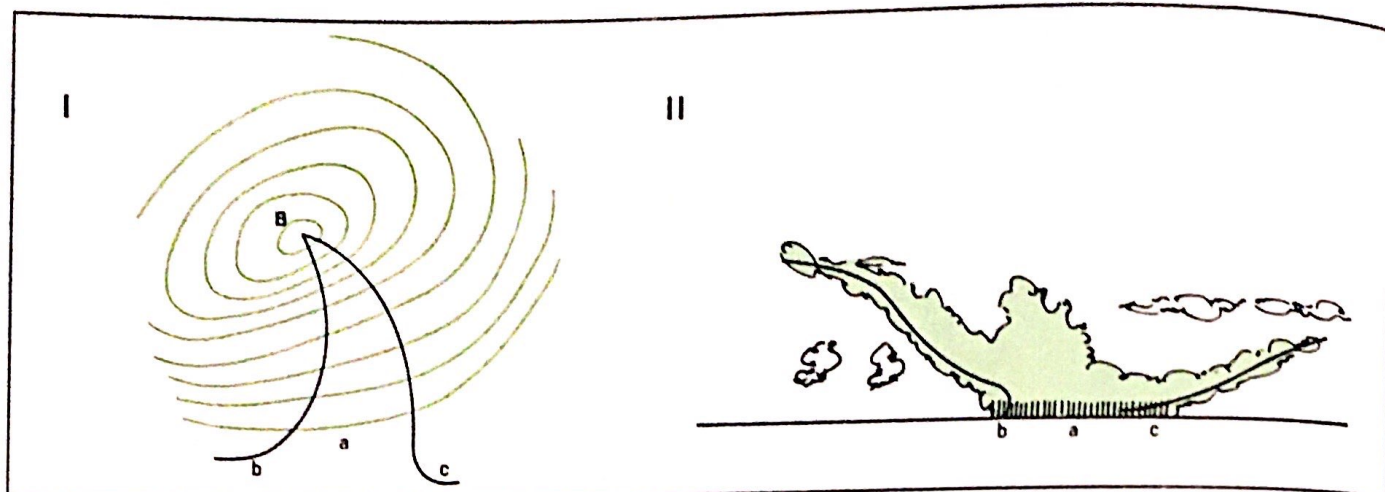


Fig. 6 Schema di un giovane ciclone: I) a) settore caldo, b) fronte freddo, c) fronte caldo; II) lo stesso in sezione verticale.

sovrappone, dando origine ad un cosiddetto « fronte occluso »: il ciclone è ormai moribondo, e la perturbazione sale in quota quasi senza lasciar traccia al suolo.

L'onda seguente della famiglia, intanto, sta subendo la stessa sorte, e così le successive, in modo che si hanno contemporaneamente un ciclone vecchio, uno giovane e uno o due a gli inizi dell'ondulazione. È questa una tipica famiglia di cicloni delle nostre latitudini, quelli che ci portano il cattivo tempo in autunno e in inverno.

Più a sud le cose sono molte diverse: in parte a causa della grande umidità, in parte per ragioni dinamiche, i cicloni delle zone equatoriali hanno un carattere di estrema violenza, e di estensione molto limitata.

Un ciclone equatoriale si origina nel giro di poche ore, da una situazione di relativa calma, come un vortice veloce e molto stretto, implicando una enorme massa di vapore. Nel suo interno i venti raggiungono velocità dell'ordine di 500, 600 km/h, distruggendo tutto quello che incontrano sul loro cammino. Al centro vi è una zona di calma, l'«occhio del ciclone», in cui la pressione è molto bassa e il vento quasi nullo, ma il passaggio da questa zona a quelle circostanti, con il brusco cambiamento che ne segue, è disastroso per la maggior parte delle costruzioni artificiali. Sono questi i famosi « tornados » del Golfo del Messico e i « Tifoni » del Golfo del Bengala e della India.

3 Gli strumenti e le apparecchiature di ricerca

3.1 - Abbiamo visto, nel paragrafo precedente, che le grandezze che soprat-

tutto interessano la meteorologia sono tre: temperatura, pressione e umidità. Le prime due caratterizzano lo stato fisico dell'aria, e sono legate dalla nota legge dei gas perfetti $p v = R T$, dove p è la pressione, v il volume specifico, T la temperatura e R la costante dei gas. L'umidità invece è importante per la formazione delle nubi, e quindi per le precipitazioni. Corrispondentemente gli strumenti per misurare tali grandezze prendono il nome di termometri, barometri, igrometri.

Quanto alla prima classe di strumenti, i termometri, è bene premettere alla loro descrizione un breve cenno al principio di funzionamento. Com'è noto la temperatura è un indice dell'energia contenuta in un corpo; tale energia, detta comunemente energia termica, rende conto dello stato d'agitazione delle molecole del corpo: più questo è caldo (cioè più alta è la sua temperatura) e più velocemente si muovono le sue molecole. Il funzionamento di tutti i termometri consiste nell'utilizzare questa energia d'agitazione per produrre un effetto visibile e misurabile.

Parlando di termometri la prima cosa che viene alla mente è naturalmente il noto termometro clinico che tutti usiamo per misurarci la febbre: questo è un caso particolare di una vasta classe di strumenti noti come *termometri a liquido*. In questi strumenti vi è un sottile capillare, terminante in un bulbo, il quale contiene un liquido, generalmente mercurio o alcool, che ha la proprietà di variare molto di volume al variare della temperatura. Se il bulbo viene riscaldato, il liquido si espande, e quindi sale lungo la colonnina. Per fare misure con questi strumenti,

si pone dietro il capillare una scala graduata, che permette di determinare il valore della temperatura a cui si trova il bulbo. Le scale « termometriche » usate sono varie: noi usiamo la scala Celsius (dal nome di chi la introduce) in cui lo 0° corrisponde al punto di congelamento dell'acqua e il 100° al punto di ebollizione. Altre scale, usate specialmente nei paesi anglosassoni, sono la Réaumur (0° punto di congelamento dell'acqua, 80° punto di ebollizione) e la Fahrenheit (32° al punto di congelamento, 212° al punto di ebollizione dell'acqua).

Dei termometri a liquido esistono varie versioni: alcuni possono misurare la temperatura massima durante un certo periodo, cioè sono sensibili alle variazioni di temperatura solo nel senso dei valori crescenti: ne è un esempio il termometro clinico sopra nominato. Altri termometri segnano la minima temperatura durante un certo periodo; questi termometri « a minima » e quelli « a massima » sono usati comunemente nel Servizio Meteorologico per determinare le temperature massime e minime che vengono quotidianamente riportate nei bollettini, sui giornali e alla radio.

Un altro tipo di termometri comunemente usati in meteorologia sono i cosiddetti *termometri bimetallici*. Essi si basano sul fatto che due metalli diversi si dilatano in modo diverso al variare della temperatura. Se si incollano due lamine di differente materiale l'una sull'altra, la diversa dilatazione fa incurvare questo sandwich, e questo movimento viene amplificato e trasmesso a un indice che si sposta su un quadrante rettilineo o circolare a seconda del tipo di bilamina.

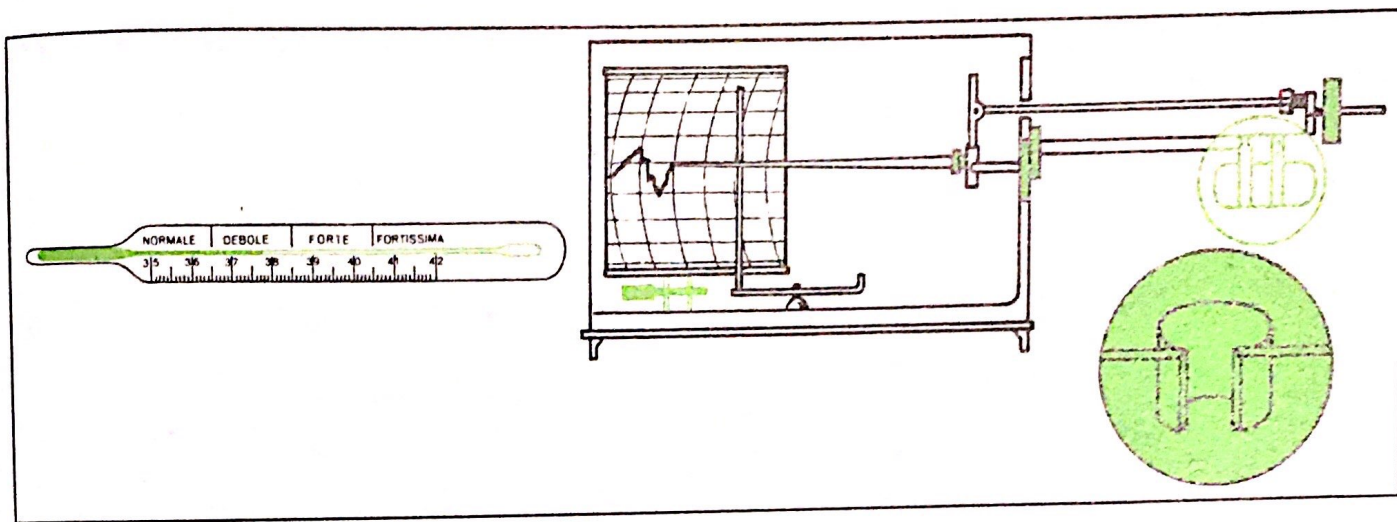


Fig. 7 Schema di un termometro a liquido e di uno bimetallico.

Un terzo tipo di termometro, la coppia termoelettrica, è importante ricordare per le innumerevoli applicazioni cui è soggetto, specialmente per le misure di grande precisione. Il principio di funzionamento è il seguente: se due fili metallici, saldati ad una estremità, sono tenuti a diversa temperatura, in essi si sviluppa una corrente elettrica che si può prelevare e utilizzare per far muovere un indice, o per muovere una pennina scrivente.

Per ultimo ricordiamo che la temperatura di un corpo si può anche dedurre dalla quantità di energia che esso emette sotto forma di raggi infrarossi. Alcuni speciali rilevatori di tali raggi, detti «radiometri», sono impiegati per l'accuratezza con cui si può determinare il punto-sorgente della radiazione. Con tali strumenti montati su elicotteri si può ad esempio tracciare un grafico delle variazioni di temperatura su una certa zona che viene ripetutamente sorvolata.

3.2 - Gli strumenti con cui viene usualmente misurata la pressione, come per i termometri, possono essere suddivisi in varie classi a seconda del principio di funzionamento. Anche qui vi sono dei *barometri a liquido*, lunghe canne di vetro terminanti in un pozzetto pieno di mercurio: per equilibrare la pressione atmosferica sul pozzetto, il mercurio sale lungo la canna ad una certa altezza, in modo che, leggendo il corrispondente valore su una scala graduata, si ottiene l'entità della pressione. Questi barometri sono molto precisi, ma non altrettanto pratici, sia per le dimensioni (circa 1,20 metri) sia per le correzioni che bisogna apportare al valore letto, se il barometro viene spostato da un luogo a un altro.

Nelle misure campali, o su un aeroplano in volo, si usano allora altri tipi di barometri che non presentano tali difficoltà: sono i *barometri a elementi metallici*, e i *barometri aneroidi*. Essi funzionano in base al fatto che una capsula metallica vuota si deforma al variare della pressione. Tale deformazione, al solito, viene opportunamente amplificata e trasmessa a un indice. Quanto ai misuratori d'umidità, essi sono sostanzialmente due. Il primo, l'*igrometro a capelli*, si basa sulla proprietà, tristemente nota alle donne, che i capelli hanno di variare la loro lunghezza in dipendenza dell'umidità atmosferica. Il secondo, invece, lo *psicrometro*, è formato da due termometri, uno dei quali è in ambiente saturo (100% d'umidità): i due termometri segneranno una diversa temperatura, dato che per un certo valore di pressione variando l'umidità varia anche la temperatura. Con opportune tabelle si può risalire dai valori letti sui termometri al valore dell'umidità ambientale.

Infine ricordiamo un tipo di strumenti registratori usati soprattutto per misurare statistiche. Tali strumenti vengono usati per misurare forza e direzione del vento (anemografi), temperatura (termografi), pressione (barografi) e umidità (igrografi). Tutti sono composti da un apparato sensibile, da un sistema scrivente e da un tamburo girevole su cui è posta una cartina. Tale tamburo è comandato da un sistema ad orologeria con carica diurna o settimanale. L'elemento sensibile trasmette il suo moto ad una pennina scrivente che traccia sulla cartina un grafico con l'andamento diurno o settimanale della grandezza corrispondente. È così possi-

bile confrontare i valori di una grandezza a intervalli stabiliti di tempo senza dover ripetere ogni volta la misura.

3.3 - Quelli che abbiamo descritto sono i classici strumenti del meteorologo, ma più o meno recentemente essi sono stati affiancati, e talvolta soppiantati, da altri più potenti mezzi d'indagine. Così, per determinare i valori di temperatura, pressione e umidità in tutta una colonna d'aria, si usano i cosiddetti palloni-sonda, consistenti in grandi involucri pieni d'idrogeno, che portano con sé una radiosonda. Quest'ultima è una piccola radio collegata a tre elementi elettronici sensibili alle grandezze da misurare. A intervalli stabiliti la radiosonda trasmette a terra i valori all'altezza corrispondente, inoltre con un radiogoniometro è possibile ricostruire la rotta del pallone, e avere quindi numerosi dati sulla direzione e la forza del vento al variare della quota. Anche il radar viene sempre più impiegato in meteorologia: è utilissimo per segnalare direzione e distanza di numerosi tipi di perturbazioni, che lasciano sullo schermo del radar delle tracce caratteristiche.

Un ultimo cenno possiamo fare al più recente mezzo d'indagine della tecnica: il satellite artificiale. La lunga serie di TIROS, NIMBUS, COSMOS, ecc. permette di avere ottime fotografie, prese da grande altezza, di quasi tutta la superficie terrestre. Con esse e con i numerosissimi dati raccolti dalle centinaia di stazioni meteorologiche sparse in tutto il mondo è allora possibile ricostruire, come un giuoco d'incastro, lo stato del tempo su tutta la superficie terrestre, e prevederne con una certa esattezza gli sviluppi.