

MASSE D'ARIA E FRONTI NELLE CARTE METEOROLOGICHE

Gianni Comini

CISM - Dipartimento di Energia e Ambiente

Piazza Garibaldi 18 - 33100 Udine

gianni.comini@cism.it

7 settembre 2024

1 Provenienza delle masse d'aria

In meteorologia, con il termine “massa d'aria” si intende la quantità d'aria contenuta in un “grande” volume di atmosfera che si trovi in condizioni di temperatura e umidità pressoché uniformi. (In questo caso, l'aggettivo “grande” qualifica un volume che può estendersi su una superficie dell'ordine delle migliaia di chilometri quadrati ed occupare uno spessore considerevole di troposfera).

L'uniformità nelle condizioni di temperatura e umidità viene raggiunta quando le masse d'aria ristagnano per periodi abbastanza lunghi in “regioni sorgente” caratterizzate da situazioni meteorologiche (calde o fredde, umide o secche) che variano molto lentamente. Per questo motivo, le regioni sorgente coincidono spesso con le aree centrali di anticicloni permanenti che conferiscono alle masse d'aria le caratteristiche dominanti nelle regioni in cui gli anticicloni stessi si trovano.

Con riferimento alla Figura 1, le principali masse d'aria che influenzano il clima dell'Italia possono essere classificate in base alla temperatura, distinguendo tra:

- masse d'aria calda generate nelle regioni subtropicali (T);
- masse d'aria fredda generate nelle regioni polari (P) e
- masse d'aria freddissima generate nelle regioni artiche (A).

o, in base all'umidità, distinguendo tra:

- masse d'aria secca generate all'interno di un continente (c) e
- masse d'aria umida generate sull'oceano (m).

Pertanto, applicando entrambi gli schemi di classificazione alle masse evidenziate nella Figura 1, e aggiungendo ovvie considerazioni di carattere fisico, abbiamo

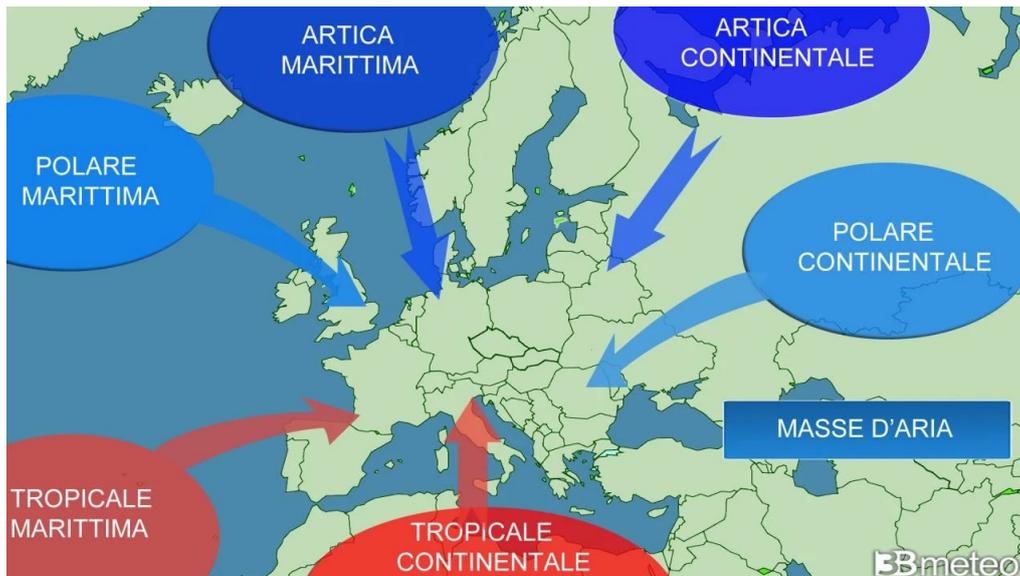


Figura 1: Masse aria [3BMeteo].

- aria subtropicale continentale (cT), generata nella regione del Sahara e, quindi, molto calda e secca all'origine ma con tendenza a umidificarsi attraversando il Mediterraneo;
- aria subtropicale marittima (mT), generata tra Bermude e Azzorre, molto calda e umida ma, in virtù dell'origine oceanica, relativamente fresca negli strati più bassi;
- aria polare marittima (mP), generata nelle regioni del Nord Atlantico tra il Labrador e Terranova e, quindi, fredda e umida;
- aria polare continentale (cP), generata nelle pianure innevate della Russia e della Siberia, molto fredda e secca;
- aria artico marittima (mA), generata nei mari della Groenlandia;
- aria artico continentale (cA), generata nelle regioni interne della calotta polare artica e, quindi, estremamente fredda e secca.

(Generalmente, nella letteratura anglosassone, non si distingue tra aria artica marittima - mA e artica continentale - cA e, per semplicità, nel seguito ci si è adeguati a tale scelta).

1.1 Influenza delle masse d'aria sul clima dell'Italia

Come si può intuire, le masse d'aria influenzano il tempo meteorologico quando, spinte dai venti dominanti, si spostano da una zona all'altra. Per quanto riguarda le influenze sul clima dell'Italia, è ben noto che in estate l'aria subtropicale continentale (cT), proveniente dall'anticiclone africano (ormai dominante), si rende responsabile di sempre più intense e

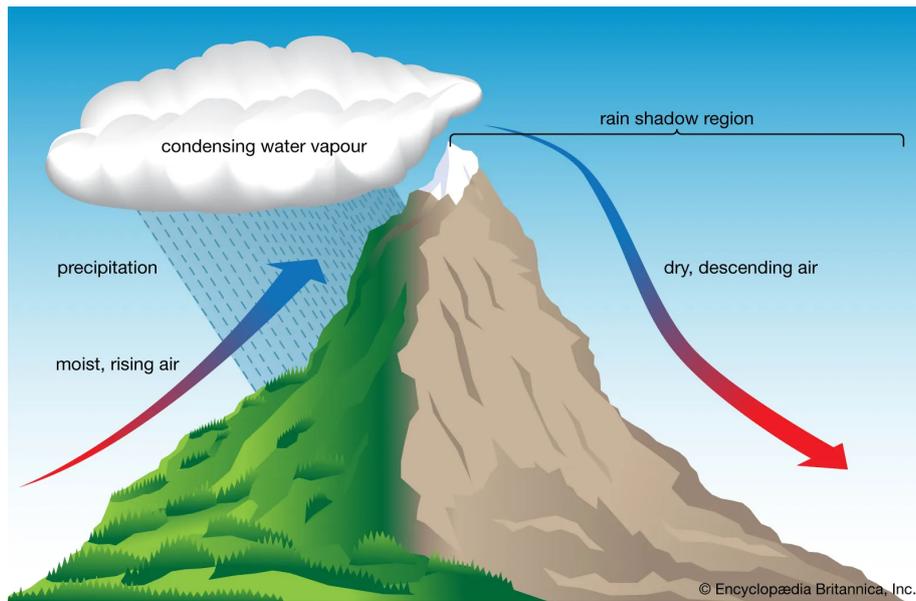


Figura 2: Precipitazioni orografiche [Enciclopedia Britannica].

frequenti ondate di calore, mentre l'aria subtropicale marittima (mT), proveniente dall'anticiclone delle Azzorre (una volta dominante), segna l'affermarsi di condizioni temperate quando, sempre più tardi, riesce a fare il suo ingresso stabile sul Mediterraneo.

Da ottobre a maggio l'aria polare marittima (mP), proveniente dal Nord Atlantico, è la causa più frequente di precipitazioni che, durante l'inverno, possono anche assumere carattere nevoso. Come evidenziato nel paragrafo che segue, la maggior parte delle correnti atlantiche investe la barriera alpina generando, a livello locale, precipitazioni orografiche sopravvento e, a livello sinottico (cioè su vasta scala), la caratteristica depressione ciclonica sottovento in corrispondenza al Golfo di Genova.

Nel periodo invernale l'aria polare continentale (cP) proveniente dall'anticiclone russo-siberiano, espandendosi verso il Mediterraneo, porta forti correnti nord orientali fredde e secche (Bora) che, dopo aver attraversato le Alpi Orientali e Dinariche (della Bosnia Erzegovina), raggiungono l'Alto e il Medio Adriatico.

Sempre nel periodo invernale, possono arrivare masse d'aria artica che seguono un percorso più diretto delle masse d'aria polari e, in questo modo, possono rendersi responsabili di improvvisi e forti abbassamenti delle temperature accompagnati, anche fuori stagione, da nevicate a quote insolitamente basse.

1.2 Effetti orografici sulla circolazione atmosferica

Le catene montuose possono agire sulla circolazione atmosferica alterandola profondamente, sia a livello locale sia a livello sinottico. A livello locale, come schematizzato nella Figura 2, l'aria forzata a salire su un rilievo equilibra la sua pressione con quella della quota raggiunta e, durante questa espansione, si raffredda adiabaticamente. (Questo tipo di raffreddamento si dice adiabatico perché l'aria che sale equilibra, istante per istante,

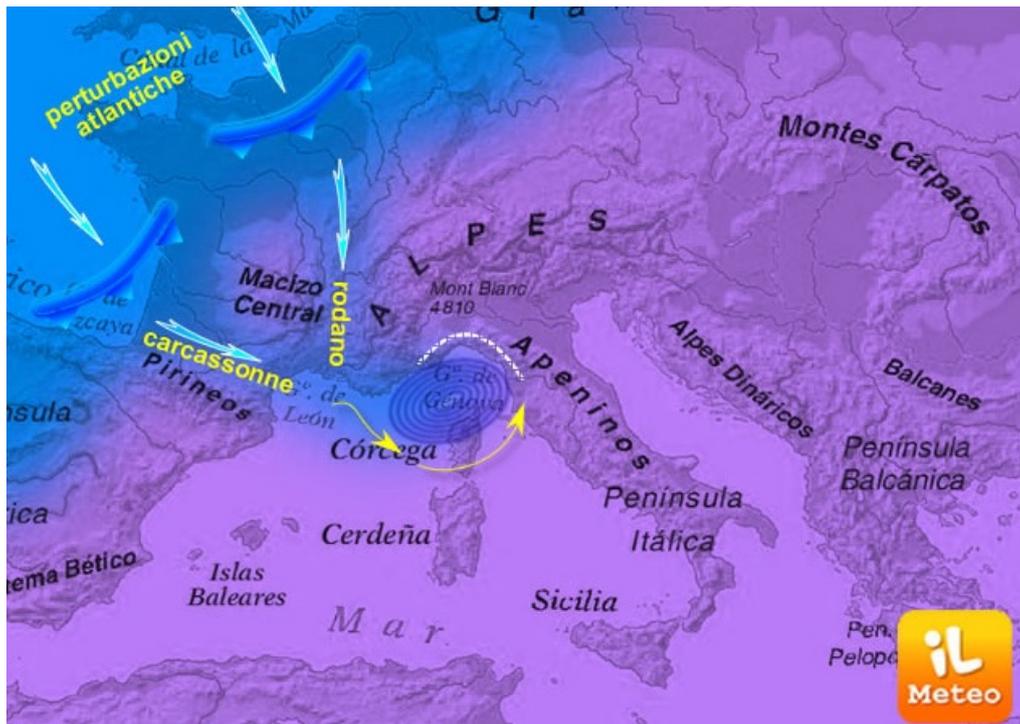


Figura 3: Effetto “barriera” [il Meteo].

te, la pressione ma non fa in tempo a scambiare calore con l’atmosfera circostante per equilibrare anche la temperatura).

Se, come spesso accade, l’aria si raffredda al di sotto della temperatura di rugiada il vapore in essa contenuto condensa formando le così dette “nubi orografiche” che, a loro volta, possono dare origine a “precipitazioni orografiche” (effetto “stau”). Dopo aver scavalcato la cima, l’aria è costretta a scendere e durante la discesa equilibra di nuovo la sua pressione con quella delle quote raggiunte e, comprimendosi adiabaticamente (effetto “fohn”), si riscalda.

A livello sinottico, come schematizzato nella Figura 3, le catene montuose agiscono da “barriere” e costringono la corrente a riversarsi sulle strette valli laterali per aggirarle. In questo modo la corrente accelera generando sottovento una depressione ciclonica per Effetto Venturi. Nel caso più frequente delle perturbazioni atlantiche provenienti da nord-ovest, l’aria polare marittima (aP) aggira la catena alpina, si riversa sulla Valle del Rodano e, con forti venti nord occidentali, sfocia sul Golfo del Leone (quello che ha come porti principali Marsiglia e Tolone).

Nel caso meno frequente delle perturbazioni atlantiche provenienti da ovest, l’aria polare marittima (aP) aggira i Pirenei, passa per la valle di Carcassonne e sfocia sempre sul Golfo del Leone con forti venti prevalentemente occidentali. In entrambi i casi, sul Golfo del Leone si crea una depressione ciclonica che, data la particolare morfologia delle coste liguri, tende a spostarsi verso levante approfondendosi proprio sul Golfo di Genova prima di proseguire in piena autonomia verso sud-est.

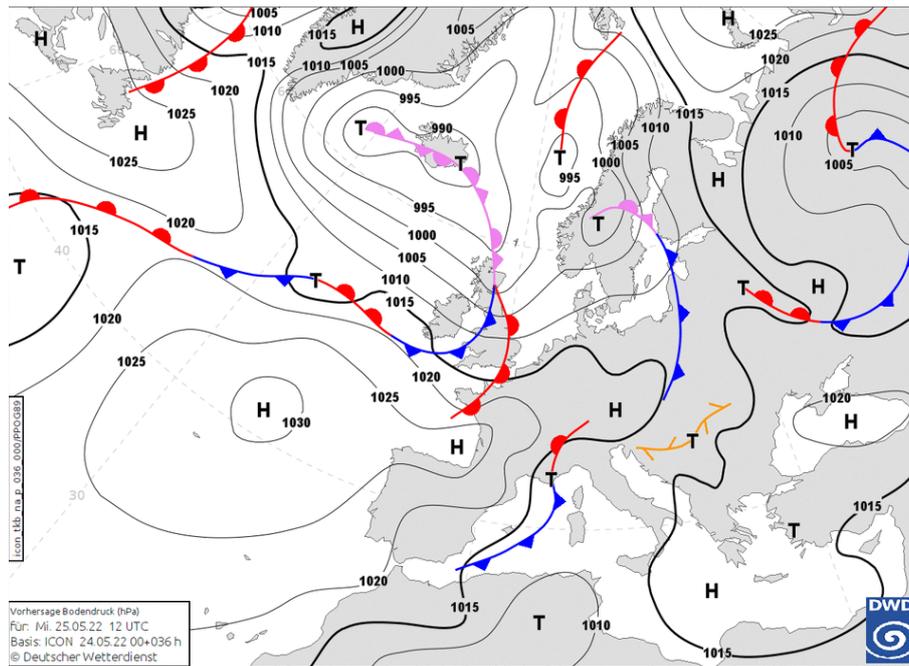


Figura 4: Carta sinottica al suolo prodotta dal Servizio Meteorologico Tedesco che riporta isobare e fronti. Pressione misurata in etto pascal [hPa]: H = alta, T = bassa. Fronti: caldi = linea con semicerchi, freddi = linea con triangoli, occlusi = linea con coppie di semicerchi e triangoli affiancati [DWD - Deutscher Wetterdienst]

2 Fronti meteorologici

Il monitoraggio e le previsioni del tempo alle medie latitudini sono collegati al movimento dei fronti, ovvero delle superfici di contatto tra masse d'aria con caratteristiche di temperatura e umidità differenti. Come si vede dalla Figura 4, sulle carte meteorologiche al suolo vengono segnati, con simboli diversi, tre tipi fronti:

- i fronti freddi, rappresentati da una linea con dei triangoli, in corrispondenza alla intersezione col suolo della superficie di separazione tra una massa d'aria più fredda, e spesso più secca, in avanzamento, e una massa d'aria più calda, e spesso più umida, pressoché stazionaria;
- i fronti caldi, rappresentati da una linea con dei semicerchi, in corrispondenza alla intersezione col suolo della superficie di separazione tra una massa d'aria più calda, e spesso più umida, in avanzamento, e una massa d'aria più fredda, e spesso più secca, pressoché stazionaria;
- i fronti occlusi, rappresentati da una linea con coppie di semicerchi e triangoli affiancati, in corrispondenza alla intersezione col suolo della superficie che segna il raggiungimento di un fronte caldo, più lento, da parte di un fronte freddo più veloce.

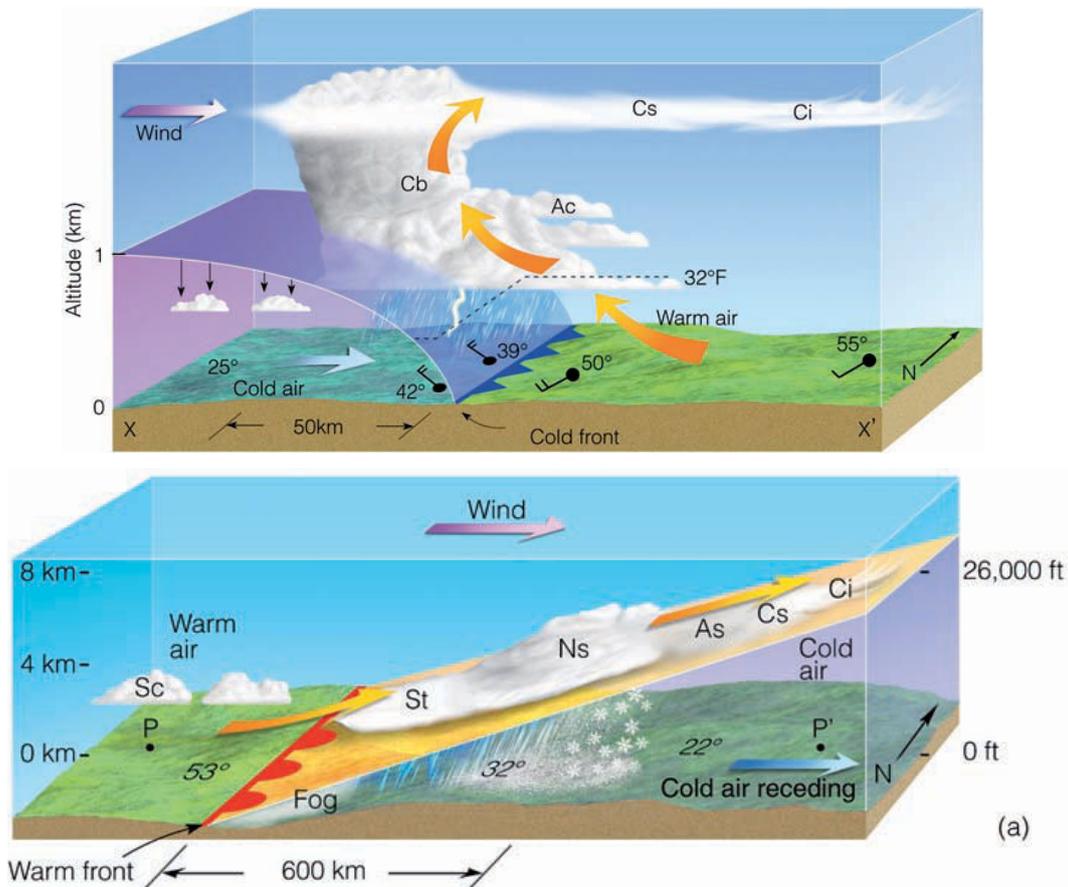


Figura 5: Sopra: vista tridimensionale di un fronte freddo. Sotto: vista tridimensionale di un fronte caldo. Le temperature sono misurate in gradi Fahrenheit (°F) dove $32\text{ }^{\circ}\text{F} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $1\text{ }^{\circ}\text{F} = 5/9\text{ }^{\circ}\text{C}$ [Ahrens].

2.1 Fisica dei fronti

Alcune nozioni di base sul comportamento dei fronti possono essere utili anche ai non specialisti per interpretare correttamente le “previsioni del tempo” formulate dai meteorologi, ed adeguare “di conseguenza” il proprio comportamento nella vita di tutti i giorni. A tal fine, nel seguito vengono descritte le caratteristiche dei principali fronti con un dettaglio sufficiente a spiegare la diversità delle rispettive manifestazioni.

2.1.1 Fronti freddi

Come si vede nella Figura 5 in alto, nei fronti freddi l’aria fredda e densa in movimento si incunea sotto le masse di aria calda e umida costringendole a salire. Durante la salita l’umidità contenuta nell’aria calda condensa formando una serie di nuvole cumuliformi: altocumuli (Ac), cirrostrati (Cs) e cirri (Ci) che, spinte dai forti venti in quota, precedono il fronte freddo. (I venti in quota sono più veloci dei venti in superficie in quanto non sono rallentati dall’attrito al suolo).

In corrispondenza alla regione sulla quale passa un fronte freddo, si ha una forte instabilità atmosferica che favorisce la formazione di un cumulonembo (Cb), ovvero di una nube a forte sviluppo verticale capace di dar vita a temporali o, comunque, a rovesci di pioggia. Data la violenza del processo di sollevamento, l'inclinazione di un fronte freddo è elevata e la zona delle precipitazioni si estende per non più di 50 km (che rappresentano lo spazio percorso in meno di un'ora da un fronte che avanza con velocità superiori ai 60 km/h). Dopo il passaggio di un fronte freddo, le precipitazioni si fermano lasciando l'aria fresca e secca e il cielo limpido.

2.1.2 Fronti caldi

Come si vede nella Figura 5 in basso, nei fronti caldi l'aria calda avanza e invade zone occupate da masse di aria fredda. Poiché l'aria calda è meno densa dell'aria fredda, non si incunea ma tende a scorrere in modo graduale sopra la masse di aria fredda. Durante la salita l'umidità contenuta nell'aria calda condensa formando una serie di nuvole: strati (St), nembostrati (Ns), altostrati (As), i cirrostrati (Cs) e cirri (Ci). Data la bassa inclinazione di un fronte caldo, la zona delle precipitazioni che comprende strati e nembostrati si estende per 600 km circa, mentre la zona che comprende anche le nubi messaggere della precipitazione (altostrati, cirrostrati e cirri) si estende per 2000 km circa. Poiché la velocità di avanzamento del fronte caldo è bassa (dell'ordine dei 20 - 25 km/h) è possibile prevedere con alcuni giorni di anticipo l'arrivo di un fronte caldo.

Da quanto detto emerge che i fronti caldi si muovono molto più lentamente dei fronti freddi perché è molto più difficile per l'aria calda trascinare per attrito l'aria fredda, piuttosto che per l'aria fredda incunarsi sotto l'aria calda e sollevarla. Questa semplice constatazione permette di spiegare la formazione dei "fronti occlusi" discussa nel paragrafo che segue.

2.1.3 Fronti occlusi

Quando un fronte freddo che, come si è detto, ha una velocità di avanzamento dell'ordine di 60 km/h raggiunge un fronte caldo che lo precede con una velocità non superiore ai 25 km/h, si forma un unico fronte occluso nel quale sono presenti non due ma tre masse d'aria a temperature differenti (molto fredda, calda e fredda). In questo modo, alla fine del processo di occlusione si possono avere le due diverse configurazioni fisiche: occlusione fredda e occlusione calda che sono illustrate nella Figura 6. Dal punto di vista fisico adottato in questo paragrafo, è giusto distinguere tra le due tipologie di occlusione anche se, nelle carte meteorologiche, entrambe le tipologie sono rappresentate allo stesso modo (mediante una linea con coppie di semicerchi e triangoli affiancati).

Va comunque precisato che la formazione dei fronti occlusi andrebbe trattata nell'ambito della più generale teoria della formazione dei cicloni extra-tropicali, ovvero dei cicloni tipici delle medie latitudini. Pertanto, le brevi note di questo paragrafo hanno il solo scopo di spiegare il significato delle "linee con coppie di semicerchi e triangoli affiancati" che compaiono nelle carte meteorologiche.

In questa analisi semplificata delle tipologie di occlusione, si può ugualmente fare riferimento alla Figura 6 nella quale le situazioni sul territorio sono schematizzate nelle

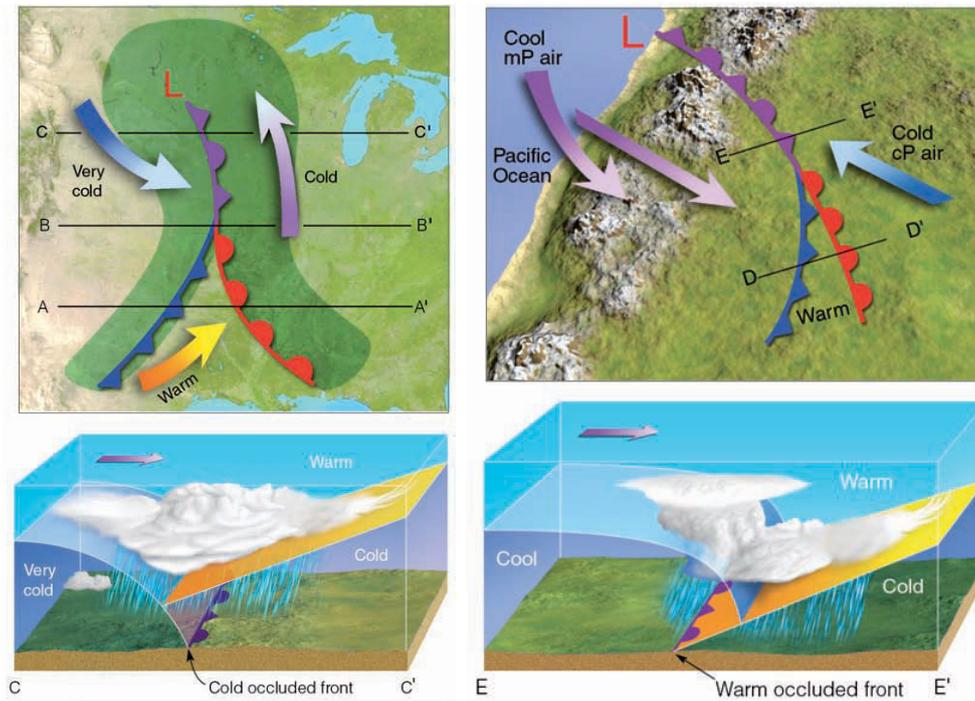


Figura 6: Colonna di sinistra: mappa in alto e sezione in basso di un fronte occluso freddo. Colonna di destra: mappa in alto e sezione in basso di un fronte occluso caldo [Ahrens].

mappe riportate in alto, mentre gli aspetti fisici dei processi emergono chiaramente dall'esame delle sezioni tridimensionali riportate in basso. Dopo questa premessa, si può osservare che la occlusione fredda è trattata nelle due rappresentazioni sovrapposte (in pianta in alto e in sezione in basso) della colonna di sinistra, mentre la occlusione calda è trattata nelle due rappresentazioni sovrapposte (in pianta in alto e in sezione in basso) della colonna di destra.

Nella **occlusione fredda**, di cui alla colonna di sinistra della Figura 6, la mappa mostra l'inseguimento del fronte caldo (a destra sulla mappa), formato da aria "solo fredda" e aria calda, da parte del fronte freddo (a sinistra sulla mappa), formato da aria "molto fredda" e aria calda. In corrispondenza a CC', l'inseguimento è parzialmente completato e la sezione tridimensionale mostra un fronte occluso freddo ormai sviluppato. Come si vede, l'aria molto fredda si è incuneata sotto l'aria fredda realizzando la configurazione che viene chiamata fronte occluso freddo, in quanto richiama quella del fronte freddo schematizzato nella Figura 5.

Nella **occlusione calda**, di cui alla colonna di destra della Figura 6, la mappa mostra l'inseguimento del fronte caldo (a destra sulla mappa), formato da aria calda in movimento che scorre sopra una massa di aria fredda, da parte del fronte freddo (a sinistra sulla mappa), formato da aria fresca e aria calda. In corrispondenza a EE', l'inseguimento è parzialmente completato e la sezione tridimensionale mostra un fronte occluso caldo ormai sviluppato. Come si vede, l'aria fresca del fronte freddo si trova a temperatura superiore di quella dell'aria fredda del fronte caldo e quindi scivola sopra realizzando la configu-

razione la configurazione che viene chiamata fronte occluso caldo, in quanto richiama quella del fronte caldo schematizzato nella Figura 5.

Come si può vedere dalla Figura 6 tutti i fronti occlusi, sia freddi sia caldi, forzano l'aria calda a salire, e ciò innesca alcune precipitazioni residue che, nel giro di un paio di giorni, portano alla dissoluzione dei fronti stessi. Pertanto, secondo questa teoria semplificata, la formazione delle occlusioni rappresenta l'ultima fase delle perturbazioni.

Bibliografia

C.D. Ahrens e R. Henson, *Meteorology Today - An Introduction to Weather, Climate and the Environment - 13^a Edizione*, Cengage, Boston, Ma., 2022.

AA. VV., *Atlante del Clima e della Meteorologia*, Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, Libreria Geografica, 2022.

AA. VV., *Meteo Didattica: nordovest sempre a rischio alluvionale. Perché?*, ilMeteo, 4 aprile 2016, Ripubblicato in Geografica, 2022.

A. Barbi e S. G. Parisi, *Approfondimento sui meccanismi di genesi delle precipitazioni orografiche*, Arpa Veneto, visto il 4 settembre 2024.

B. Buckley, E. J. Hopkins e R. Whiteaker, *Meteorologia*, Touring Club Italiano, Milano, 2006.

G. Comini e S. Savino, *Fondamenti Termodinamici dell'Energetica, Terza Edizione Rivista e Aggiornata*, libreriauniversitaria.it edizioni, Padova, 2022.

Meteo Expert, *Manuale di Meteorologia*, Alpha Test, Milano, 2019.

A. Giuffrida, e G. Sansosti, *Manuale di Meteorologia, Una guida alla comprensione dei fenomeni atmosferici e climatici*, Gremese, Roma, 2016.

D. Ingemi, *Alla scoperta della "Genoa low", la ciclogenesi orografica più famosa del Mediterraneo*, ilMeteo, 24/10/2023,

J. Shonk, *Introducing Meteorology. A guide to Weather, Seconda Edizione*, Dunedin, Edinburgh, 2020.

V. Villasmunta, *Andar per mare: didattica della meteorologia - Parte II*, Rivista di Meteorologia Aeronautica, Anno 76 , N. 3, pp. 7 - 23, 2022.