L'ATMOSFERA

Marco Tadini

Per muovere i primi passi lungo la strada del "self-briefing", esaminiamo, con riferimento a quanto detto nel precedente articolo, il dettaglio di ciò che possiamo classificare con l'etichetta di informazione "non aeronautica". Di fatto, possiamo trovare una grande quantità di dati, sia di tipo professionale che di provenienza generalista.

Nei **dati professionali** includiamo le mappe di analisi (riporto dei dati osservati) e di previsione (output di modelli matematici), così come altre informazioni grafiche o testuali, frutto di elaborazione professionale delle mappe precedenti, destinate ad uso generico o specialistico non aeronautico. Sempre in questa categoria classifichiamo anche le immagini satellitari e i dati radar meteorologici, pure facilmente rintracciabili in rete, anche se con importanti limitazioni.

Nei **dati generalisti** troviamo tutto il mondo dell'informazione meteo, grafica o testuale, di varia provenienza, dai siti web amatoriali alle vere e proprie società di servizi meteo. È un mondo che si sovrappone con quello precedente, poiché spesso (soprattutto quando vi è una valenza commerciale) queste informazioni vengono elaborate da professionisti della meteorologia; tuttavia, non essendo ciò sempre espressamente dichiarato, può rimanere nel fruitore il dubbio dell'effettiva "valenza" delle informazioni proposte.

Tutti questi dati sono disponibili già alcuni giorni prima del volo, anche 5 o 6, ovviamente con i limiti di dettaglio e di precisione che caratterizzano un'informazione meteorologica così anticipata. Ricordiamo sempre che stiamo operando in *modalità selfbriefing*, cioè in fase di definizione dello scenario meteo di riferimento, entro cui andremo poi a dettagliare, all'approssimarsi dell'attività operativa, le vere e proprie informazioni aeronautiche.

MAPPE DI ANALISI E DI PREVISIONE

La prima tipologia di dato che abbiamo citato è quella delle mappe di analisi e di previsione, elaborazione grafica di dati osservati, al suolo o in quota, oppure risultato dell'utilizzo di modelli matematici (la cosiddetta **NWP**: ***Numerical Weather Prediction***). Queste carte sono facilmente reperibili in rete; alcuni indirizzi web consigliati sono riportati alla pagina www.ufficiometeo.it/html/uma/briefing.html.

Le mappe di analisi al suolo, osservate o previste (e spesso già corredate di isobare, fronti e altri elementi meteo), risultano certamente di immediata interpretazione per il pilota, che, da sempre, è abituato ad associare le zone di tempo tendenzialmente migliore alle alte pressioni, peggiore alle basse; di nubi stratiformi e precipitazioni continue ai fronti caldi, di rovesci e temporali ai fronti freddi; di vento intenso alle regioni che presentano isobare più ravvicinate. Ma il volo interessa una realtà che è

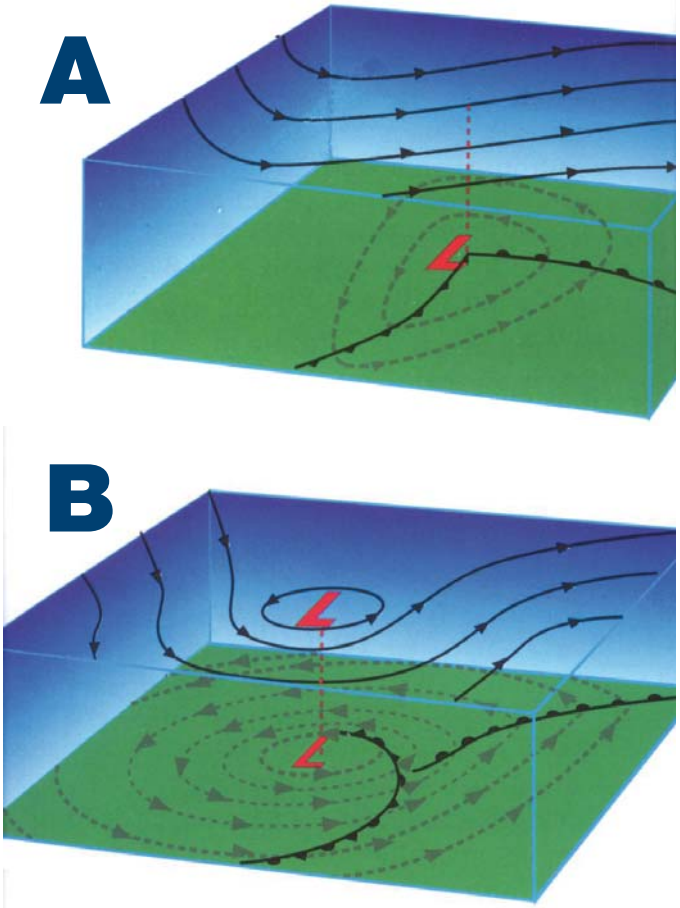
MAPPE SUL WEB

Alcuni indirizzi di siti web consigliati sono:

- http://expert.weatheronline.co.uk/
- http://www.westwind.ch/
- http://www.wetter3.de
- http://www.wetterzentrale.de/topkarten/
- http://wxmaps.org/

IN 3D

che si dispone tridimensionalmente nello spazio atmosferico, abbastanza orizzontale, ma con ondulazioni più o meno accentuate. I valori di quota dei diversi punti vengono collegati con linee dette *isoipse* (analoghe alle isobare al suolo), che disegnano vere e proprie "curve di livello", dando alla mappa un'interpretazione analoga alla topografia di una zona di montagna. Le curve sono disegnate con tratto continuo e identificate ciascuna dalla quota, espressa con modalità che dipende dal tipo carta, ma che risulta a prova di equivoco, conoscendo l'altezza di riferimento standard per ciascuna di esse. L'altezza della superficie isobarica sul MSL dipende dalla densità, e quindi dalla temperatura, della sottostante colonna d'aria: ove questa è fredda e densa, l'altezza risulterà inferiore rispetto a regioni di aria più calda e, quindi, meno densa. La geografia delle curve di livello ci permette quindi di separare le regioni più elevate, dette *promontori* e corrispondenti alle intrusioni di aria calda verso nord, da quelle meno elevate, dette *saccature* e



Relazione tra una saccatura a 500 hPa e un sistema frontale al suolo. Il minimo in superficie si posiziona anteriormente all'asse della saccatura (figura A), perché in questa posizione i venti in quota sono più intensi; i moti divergenti sono quindi più efficienti e contribuiscono meglio all'approfondimento del minimo al suolo. Il centro della saccatura, sede dell'aria fredda in quota, corrisponde verticalmente alla regione post-frontale fredda al suolo. Solo con il processo di occlusione (figura B), l'aria fredda raggiunge il centro del minimo in superficie, che ora corrisponde verticalmente ad una circolazione depressionaria chiusa in quota.

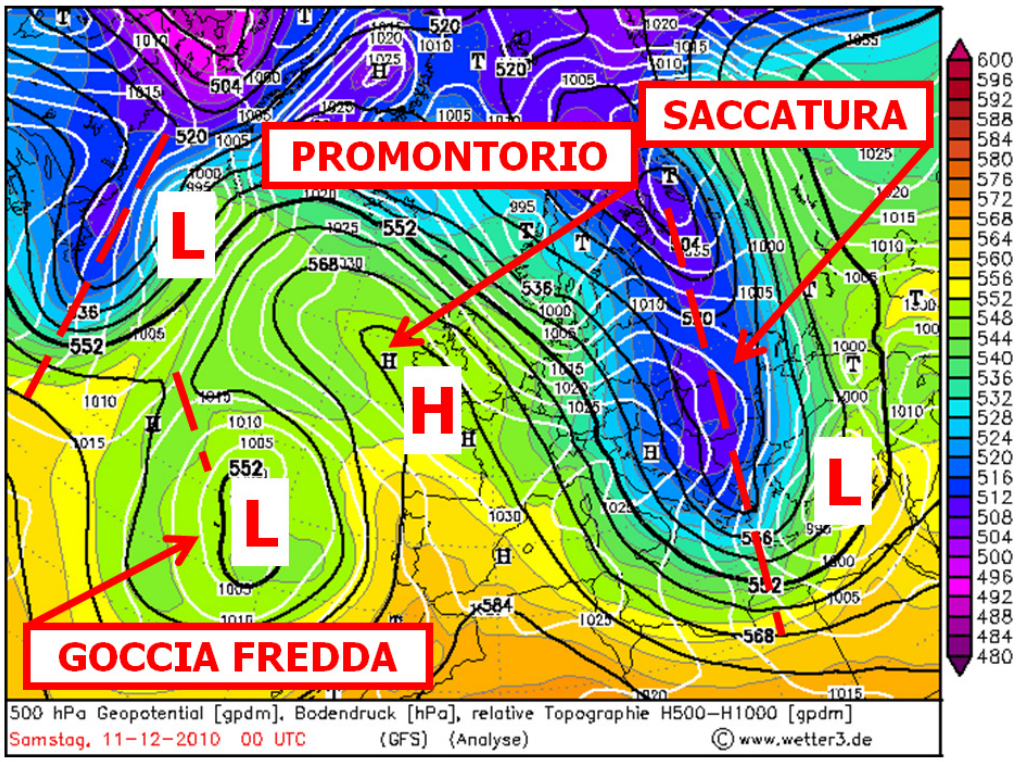
Immagini tratte da "Aviation Weather" di Peter Lester, edito da Jeppesen.

decisamente tridimensionale e di cui la visione al suolo è solo una parziale rappresentazione. Altrettanta attenzione andrebbe quindi rivolta alle mappe in quota, che però sono spesso più "ostiche" da decifrare, iniziando da quelle relative alle superfici isobariche principali. Già qui abbiamo introdotto un concetto che rovescia quello delle analisi al suolo: mentre là si riportano valori di pressione su una carta a quota costante (MSL, livello medio del mare), qui si riportano valori di quota (il termine esatto è *geopotenziale*, ma per i nostri scopi va benissimo considerarlo una "quota") su una carta a pressione costante, essendo questa la quota dei punti ove è misurata, o prevista, la pressione cui la carta si riferisce. Le variabili atmosferiche tipicamente rappresentate su queste carte includono, oltre all'altezza, anche temperatura dell'aria, direzione e intensità del vento (soprattutto alle quote alte, in prossimità delle correnti a getto) e, per talune, umidità dell'aria. Una superficie isobarica può quindi essere visualizzata come un insieme di punti, tutti alla medesima pressione,

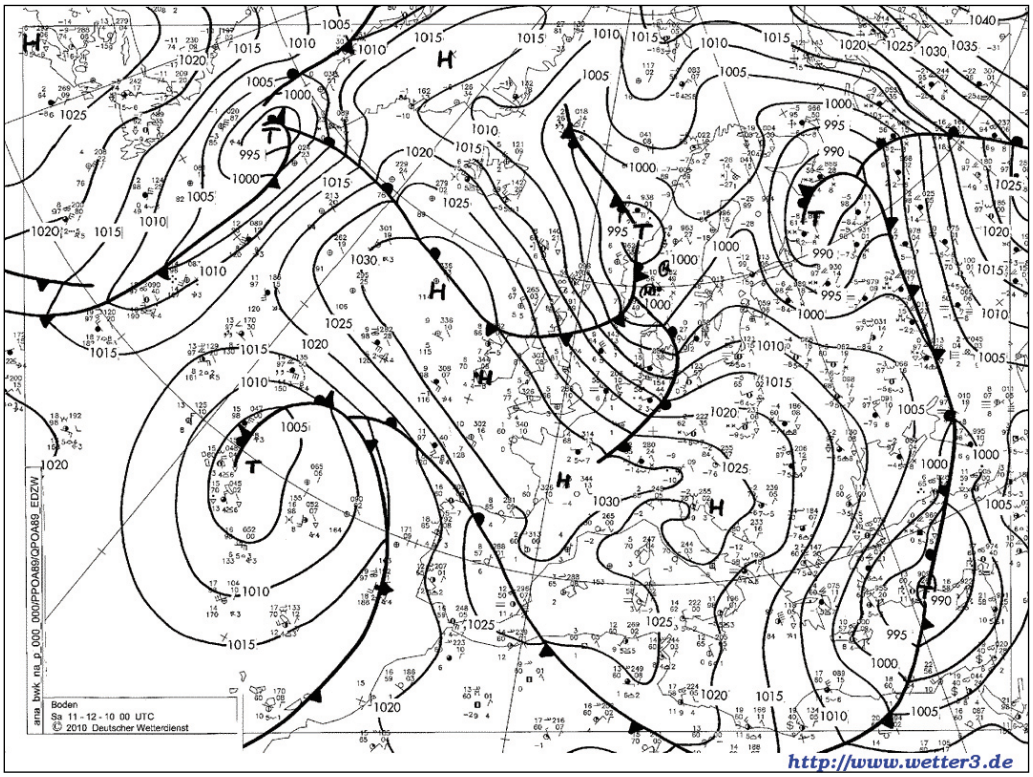
corrispondenti alle intrusioni di aria fredda verso l'equatore. I campi di temperatura seguono abbastanza fedelmente la geografia dei promontori e delle saccature; su ciascuna carta sono tratteggiate le isoterme, cioè le linee di uguale temperatura, ciascuna identificata dal proprio valore a due cifre, con segno positivo o negativo.

LE MAPPE METEO: QUALI PROBLEMI?

Mentre le carte di analisi, al suolo e in quota, devono essere frutto di osservazioni compiute secondo standard universalmente accettati, le carte previste provengono da modelli matematici il cui utilizzo è sicuramente non banale, presentando difficoltà di ordine sia concettuale che gestionale. Un modello permette la descrizione del più probabile futuro stato dell'atmosfera, tramite l'evoluzione delle diverse variabili atmosferiche, a patto però che siano noti i valori di queste grandezze in un dato istante prefissato. Ciò in quanto le equazioni della **NWP** non ammettono soluzioni esatte, ma solo approssimabili con calcoli continuamente reiterati, a partire proprio da un insieme di valori iniziali noti. I modelli estrapolano quindi le osservazioni compiute in un dato istante, definendo le proprietà atmosferiche iniziali per ciascuno dei punti di una griglia tridimensionale che copre il dominio, cioè l'area di interesse (nella realtà, i modelli odierni rappresentano le variabili iniziali in modo "continuo", non come insieme "discreto" di punti, ma la filosofia di base è la medesima). La densità dei punti di griglia determina la risoluzione del modello, che per quelli di uso operativo si attesta oggi sull'ordine delle decine o del centinaio di chilometri; un aumento della risoluzione potrebbe avvenire solo al prezzo di un esponenziale aumento della capacità di calcolo necessaria per risolvere le equazioni, il che si tradurrebbe in un aumento del "tempo macchina" necessario e quindi in un aumento dei costi correlati. Ma le complicazioni non sono finite, perché, quando si parla di dinamiche meteorologiche, occorre



Una carta d'analisi delle 00 UTC 11.12.2010, che riporta il geopotenziale a 500 hPa (linee nere), il campo barico al suolo (linee bianche) e lo spessore tra le superficie 500 e 1000 hPa (colori). Poiché le linee bianche sono scarsamente visibili, la mappa sottostante riporta la medesima analisi al suolo, nella tradizionale forma sinottica (si noti che, trattandosi di una mappa del servizio meteo tedesco DWD, le basse pressioni sono contrassegnate con una "T"). Nell'analisi a 500 hPa, sono particolarmente evidenti sia il promontorio centrale, cui al suolo corrisponde un campo anticiclonico, sia le due saccature laterali. Di queste, quella più a ovest ha subito un processo cosiddetto di "cut off": la testa si è enucleata dal resto del corpo, andando a costituire una circolazione chiusa fredda in quota (goccia fredda), corrispondente ad una occlusione al suolo. Il corpo della saccatura ha invece ruotato verso ovest, sotto la spinta del promontorio, andando ad originare una nuova circolazione ciclonica. In quest'ultimo caso, come per la saccatura più a est, la circolazione depressionaria al suolo, essendo ancora in via di approfondimento, è posizionata in corrispondenza del ramo ascendente della saccatura.



Le mappe di analisi in quota vengono compilate riportando le osservazioni eseguite anche con il tradizionale pallone sonda. Le moderne tecnologie satellitari e radar permettono poi di avere una visione più completa dello stato dell'atmosfera alle diverse quote, soprattutto al di sopra delle regioni meno direttamente accessibili dall'uomo (per esempio i deserti o le zone di mare aperto). Anche questi dati, opportunamente verificati e riportati ai punti di griglia, vengono utilizzati per avviare le iterazioni di calcolo della modellistica atmosferica

rammentare come la superficie terrestre abbia un notevole influsso sulle correnti atmosferiche e come questo debba essere considerato affinché il modello risulti affidabile. Ciò viene fatto parametrizzando opportunamente il territorio sottostante; tuttavia, anche in questo caso, la necessità di maggior precisione deve confrontarsi con quella di non complicare ulteriormente i calcoli, ancora a beneficio del "tempo macchina necessario". Vengono quindi introdotte alcune semplificazioni, al fine di bilanciare queste contrapposte esigenze. In realtà, volendo disporre di previsioni più dettagliate, è possibile restringere l'area d'interesse utilizzando modelli "ad area limitata" o **LAM** (***Limited Area Model***), che integrano i propri calcoli su grigliati più fini, da 20 fino ai pochi km, che rappresentano oggi le frontiere della moderna modellistica (e sicuramente non hanno ancora la qualità necessaria per un utilizzo operativo). Tuttavia ciò risolve solo parzialmente i nostri problemi, perché un **LAM** necessita comunque di un modello a scala superiore che descriva le condizioni iniziali lungo i bordi del dominio locale; inoltre i **LAM** hanno scadenze più ravvicinate dei modelli a grande scala, con la necessità di reiterare continuamente il confronto con i dati osservati. Insomma, utilizzare un **LAM** non solo può non comportare un risparmio economico, ma addirittura può sortire l'effetto opposto! Al di là del fattore economico, il "tempo macchina" è il vero elemento chiave, se vogliamo che le mappe (soprattutto le prime, previste a +6 o a +12 ore dopo l'ora di osservazione) arrivino all'utente con sufficiente anticipo per un utilizzo operativo. Ecco perché i centri di calcolo ricorrono ai più moderni supercomputers, con potenze di calcolo spaventose dell'ordine delle decine di Teraflop, cioè di decine di migliaia di miliardi di operazioni al secondo. Ciò permette addirittura di avere, nell'arco delle 24 ore, più di una produzione di mappe, ciascuna basata su un diverso istante di osservazione.

“ Analizzare le molte carte che troviamo in rete può essere il nostro primo passo nella costruzione dello “scenario meteo”; ricordiamo però di verificare sempre il loro aggiornamento ”

Tutto ciò di cui abbiamo parlato si traduce sicuramente in un non indifferente "costo" di produzione; allora, com'è possibile che tutto ciò sia poi liberamente disponibile, per esempio su Internet? E che attendibilità possiamo dare a queste informazioni? Innanzitutto, la **disponibilità** è molto meno ampia di quanto appaia, perché molti siti internet rilanciano l'un l'altro le stesse informazioni. Occorre poi prestare attenzione all'ora di compilazione (e quindi di scadenza) delle mappe: spesso i centri originatori mettono a libera disposizione, per motivi promozionali o di propria policy, solo una parte della loro produzione, spesso anche in ritardo rispetto alla distribuzione verso utenti "paganti" e spesso senza alcun obbligo di aggiornamento tempestivo delle informazioni. L'ECMWF, Centro Europeo per le Previsioni a Medio Termine, sul proprio sito www.ecmwf.int garantisce libero accesso solo a una minima parte dei propri prodotti; carte ECMWF sono più facilmente rintracciabili su altri siti, magari post-elaborate, secondo il tipo di accordo da questi stipulato con il centro europeo.

Quanto all'**attendibilità**, ogni modello ha le sue peculiarità. Non tutti i modelli sono uguali (diverse possono per esempio essere le ipotesi semplificatrici adottate) e non tutti hanno una storia di consolidato utilizzo, a riprova della propria attendibilità. Se per esempio andassimo a scaricare mappe da un sito universitario, probabilmente avremmo di fronte modelli sperimentali non ancora pronti per l'utilizzo operativo. E anche l'utilizzo di un modello, seppur consolidato, su aree differenti può non portare a risultati di uguale affidabili-

“ Dai modelli globali a quelli locali, è sempre l’analisi comparata delle diverse mappe che permette di sfruttare appieno le potenzialità della simulazione numerica ”

tà. E che possiamo dire dell’*attendibilità temporale* di queste carte? Quanto in là possiamo spingerci nel futuro, con la certezza di avere comunque dati di una certa affidabilità? Generalmente possiamo affermare che i modelli “deterministici” a grande scala, di consolidato uso operativo, si mantengono abbastanza affidabili entro i primi due, massimo tre, giorni, mentre da tre a cinque vedono la loro precisione drasticamente ridotta. **Oltre i cinque giorni è inutile andare**, anche se esistono tecniche “probabilistiche” (ensamble forecast) che permettono la compilazione di mappe addirittura a scadenze stagionali; ma al momento la loro applicazione aeronautica è nulla. Nella pratica, i **LAM** spaziano invece dai tre giorni circa per quelli a scala delle decine di chilometri, alle 24-36 ore di quelli a scala più fine, che però, come già detto, sono al momento ancora al livello di studio, almeno per le applicazioni operative. Come si vede, sulla validità temporale possiamo dare solo indicazioni di massima proprio perché ogni modello fa storia a sé; è questo un altro nostro limite quando guardiamo tali dati in rete, quello di non sapere le caratteristiche di ciò che abbiamo davanti. Ma, pur di mantenerci negli ambiti di selfbriefing descritti, ciò non è assolutamente un problema; l’esperienza nel continuo utilizzo ci potrà poi orientare verso scelte di maggior affidabilità.

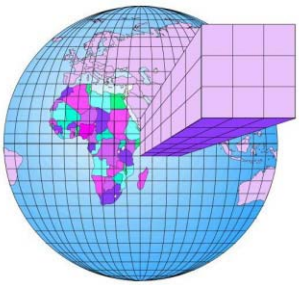
METTIAMOCI AL LAVORO!

Date queste premesse, possiamo provare a utilizzare queste carte in regime di selfbriefing, nei giorni precedenti il volo, secondo tempi di pianificazioni dettati dalle nostre esigenze logistiche o dalla semplice curiosità. Ovviamente potremmo sempre e comunque contattare un centro meteo e risolvere tutti i nostri problemi con una sola telefonata, dialogando con chi può, in ogni istante, disporre di informazioni più complete e aggiornate delle nostre, che opera su modelli di note caratteristiche e di comprovata affidabilità operativa, e per cui questa analisi è pane quotidiano. Tuttavia, cercare di entrare nel dettaglio di queste carte, se non di tutte quanto delle principali, aiuta sicuramente a meglio comprendere le dinamiche del tempo e ad essere più preparati nel momento in cui dovremo confrontarci con le vere e proprie informazioni aeronautiche. Ricordando che abbiamo già positivamente “archiviato” come note le carte al suolo, soffermiamoci ora sulle carte a 850 e 500 hPa.

La **850 hPa** rappresenta le condizioni della bassa troposfera, a una quota di circa 1500 m (5000 ft), contenente il 15% della massa di tutta l’atmosfera; su questa carta, i valori di quota di ciascuna isoipsa si ottengono aggiungendo uno 0 alle tre cifre riportate. Con l’eccezione delle zone di montagna, questa quota è la prima a essere esente dagli attriti provocati dalla superficie terrestre sul fluire delle correnti atmosferiche. I meteorologi la utilizzano soprattutto come riferimento per il campo termico, associandone l’informazione con la posizione dei sistemi meteo derivata dalle carte al MSL e a 500 hPa: per esempio, laddove si può dedurre la possibilità di precipitazioni stratiformi, con temperature inferiori a 0°C a 850 hPa si avrà molto probabilmente presenza di nevicate al suolo.

La **500 hPa** rappresenta le condizioni della media troposfera, a un livello di circa 5500 m (18000 ft), che comprende circa la metà dell’intera massa atmosferica; i valori di quota si ottengono anche qui aggiungendo uno 0 alle tre cifre di ciascuna isoipsa. Questo livello rappresenta il fluire geostrofico delle correnti atmosferiche, ben al di sopra de-

Il cielo sullo sfondo lascia presagire la presenza di una diffusa instabilità, di tipo frontale o post-frontale. Con i dati e le procedure oggi a disposizione, molto può essere fatto per evitare situazioni meteorologiche potenzialmente a rischio, grazie a un’accurata pianificazione della propria attività operativa. E ciò non solo per la fase di volo, ma anche per un’adeguata protezione dei mezzi al suolo



In un modello a grande scala, la griglia del modello ricopre tridimensionalmente l'intera superficie del dominio, che può corrispondere anche a tutta la superficie planetaria (modello globale). La parametrizzazione del territorio deve, di conseguenza, essere semplificata, in modo da contenere le esigenze di calcolo.

gli attriti dell'orografia terrestre (salvo alcuni punti notevoli), e ben al di sotto delle accelerazioni provocate dalle correnti a getto dell'alta troposfera. Poiché i sistemi meteorologici tendono a seguire il flusso geostrofico a questa quota, la 500 hPa viene spesso considerata come quella che ne governa il comportamento e utilizzata quale riferimento "principe" dai meteorologi, che su di essa tracciano le posizioni di promontori e saccature. Le saccature a 500 hPa sono tipicamente associate ai centri di minima pressione al suolo: il ramo anteriore della saccatura contiene il sistema frontale, mentre la sua parte posteriore corrisponde alla cosiddetta instabilità postfrontale, con tempo in miglioramento, ma con ancora possibile presenza di fenomeni residui. Di contro, i promontori corrispondono a zone di circolazione anticiclonica. Anche se per quanto di nostro interesse possiamo limitarci a queste semplici affermazioni, questa non è tuttavia una regola che vale sempre e per tutte le quote, perché i campi barici possono mutare conformazione salendo a livelli superiori. È per tale motivo che i meteorologi utilizzano set più completi di carte nel loro lavoro, ed è questa un'ulteriore indicazione di quanto sia importante, anche se con modalità diverse secondo le esigenze, cercare sempre di avere una visione a tre dimensioni della nostra atmosfera.

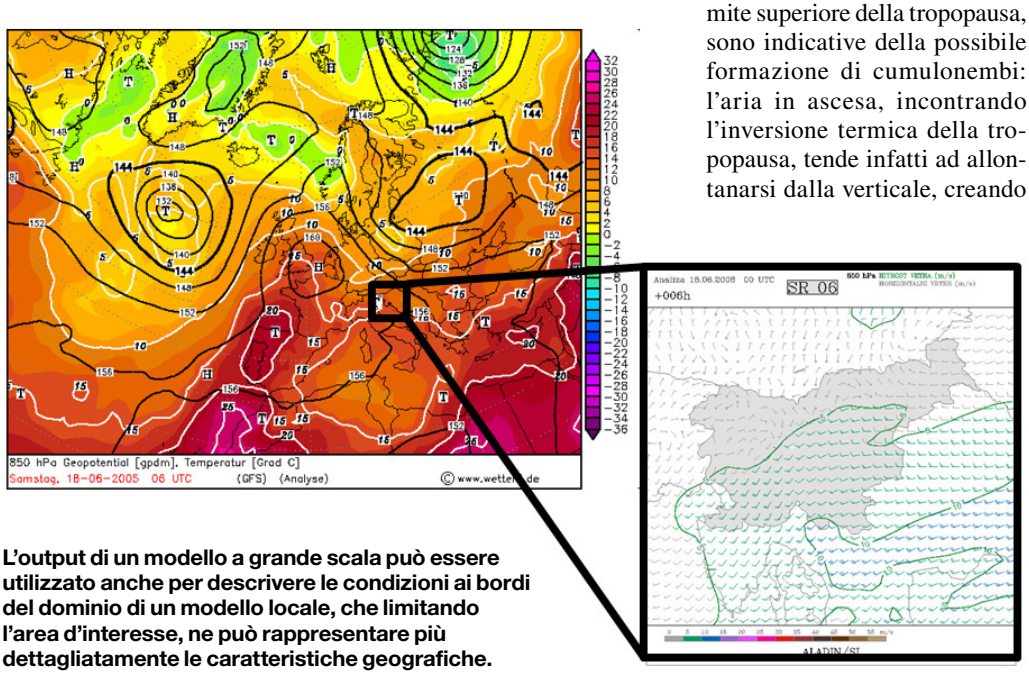
Esistono anche carte che rappresentano il cosiddetto spessore geopotenziale, cioè lo spessore tra due superfici isobariche successive. Poiché abbiamo accennato a come queste siano sensibili alla temperatura dell'aria sottostante, un loro distanziarsi può essere interpretato come dovuto a presenza di aria intermedia più calda, rispetto alle zone di minor spessore. I meteorologi utilizzano questo parametro per riportare correttamente lo sviluppo verticale di un sistema frontale, che, come sappiamo, non nasce altro che dal confronto tra masse d'aria di diversa temperatura; nel nostro caso, potremmo invece riferirci allo spessore tra i livelli isobarici 1000 hPa (circa 110 m) e 850 o 500 hPa per avere ulteriori indicazioni sulle performance del nostro mezzo, in relazione proprio alla temperatura esterna.

La **carta dell'umidità relativa a 700 hPa** (circa 10000 ft, cioè 3000 m), tracciata con linee di valore percentuale, è una buona indicazione della possibile presenza di nuvolosità medio-alta, quando non già riportata sulla carta al suolo con la tradizionale simbologia sinottica. Indicazione da prendersi con le dovute cautele: è sufficiente che l'umidità sia assestata su un altro livello, per esempio intrappolata in una sottostante inversione termica, perché un'indicazione di "aria secca" a 3000 m risulti fuorviante. Un'ulteriore conferma di come nessuna informazione meteorologica possa considerarsi di per sé come "assoluta"!

Infine, posto che i moti delle masse d'aria hanno sì carattere precipuamente orizzontale (*vento*), ma non disdegnano neppure di muoversi verticalmente (*ascendenze* e *discendenze*), può essere utile considerare una o più mappe che rappresentino questi movimenti alle diverse quote, marcando quindi la possibile presenza di tempo perturbato in corrispondenza delle zone di più forti ascendenze. Le divergenze a 300 hPa, limite superiore della tropopausa, sono indicative della possibile formazione di cumulonembi: l'aria in ascesa, incontrando l'inversione termica della tropopausa, tende infatti ad allontanarsi dalla verticale, creando la caratteristica cima a incudine della nube. Cos'altro possiamo dedurre da queste carte? Per esempio, il vento lungo la rotta, valutandone direzione e intensità nelle componenti frontali e di coda; per le nostre quote tipiche, interpolare la carta al suolo con quella a 850 hPa può portare ad apprezzare la rotazione del vento, ovviamente in assenza di effetti indotti dalla presenza di orografia. Dall'interazione del flusso geostrofico perpendicolarmente ai rilievi, si può invece dedurre la presenza di forte turbolenza (onde orografiche) e wind shear anche alle quote più basse. Il campo termico a 850 hPa è un buon indice della possibilità di icing, anche in aria chiara e a quote più basse; possiamo combinarlo con l'umidità a 700 hPa, per associarci pure un'indicazione di tipo igrometrico. Un po' di pratica e la lettura di qualche appropriato testo di meteorologia ci aiuteranno sicuramente a migliorare il nostro percorso interpretativo.

ALTRE INFORMAZIONI PROFESSIONALI NON AERONAUTICHE

Sempre rimanendo nel contesto professionale, è possibile trovare in rete molti esempi di prodotti grafici o testuali, elaborati da professionisti della meteorologia a partire dalle osservazioni e sulla base di dati **NWP**, destinati a un utilizzo di tipo generalista o anche specializzato, ma comunque non aeronautico. Valga per tutti l'esempio delle previsioni testuali sul sito dell'Aeronautica Militare www.meteoam.it, che sono praticamente la fonte di molte delle analoghe informazioni presenti su giornali e mass media in genere. Oppure le carte elaborate dai servizi meteorologici regionali (ARPA, Agenzie Regionali di Protezione Ambientale) per esempio per la diffusione di pollini in funzione del regime dei venti. Sempre su Internet troviamo anche informazioni radarmeteorologiche e satellitari, di cui parleremo più diffusamente nel prossimo numero, dove completeremo il capitolo dell'informazione non aeronautica affrontando anche il tema dei dati più propriamente generalisti. VS



L'output di un modello a grande scala può essere utilizzato anche per descrivere le condizioni ai bordi del dominio di un modello locale, che limitando l'area d'interesse, ne può rappresentare più dettagliatamente le caratteristiche geografiche.