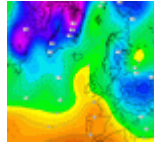


GUIDA AI MODELLI METEOROLOGICI

Una raccolta di nozioni per leggere e capire le carte meteo più diffuse nel web

di **Andrea Giglietti**

(documento liberamente tradotto da risorse varie disponibili gratuitamente in rete)



INTRODUZIONE

Chi spesso capita nei siti dedicati alla meteorologia, si sarà spesso domandato cosa significassero quelle strane sigle, acronimi terminologie o indici scritti nei vari topic o nei vari articoli, come hPa, GPT, CAPE, per non parlare di spaghi, velocità verticali, punti di rugiada e così via. Altri saranno invece rimasti senza parole davanti ad una carta con tante strane frecce, colori e numeri. In questa piccola guida, e ci teniamo a sottolineare piccola, illustreremo a grandi linee il significato di alcune tipologie di carte che i principali modelli matematici diffondono nei propri siti, e che sempre più spesso vengono utilizzati da centri previsionali o semplici appassionati nei siti e forum meteorologici di tutto il mondo.

In questo articolo, tenteremo di rendere più accessibile l'interpretazione delle carte derivate dai modelli meteorologici. Infatti, gli articoli o FAQ che permettono di apprendere semplicemente come analizzare i modelli sono piuttosto rari in rete, se comparati con il numero di manuali teorici disponibili nei vari siti meteo. Tuttavia, i modelli sono oggi oggetti indispensabili per prevedere il tempo (ma anche le basi teoriche lo sono ovviamente). Si raccomanda pertanto di possedere un minimo di basi in meteorologia per poter proseguire nella lettura di questo articolo (la struttura generale di una depressione, i fronti, il jet-stream... ecc.).

In questo insieme di FAQ, si utilizzeranno soprattutto le carte analizzate dal modello GFS (modello globale americano). Questo per un semplice motivo: perchè è attualmente il modello che propone il numero maggiore di carte gratuite sulla grande rete di Internet, carte del resto indispensabili per ogni previsore più o meno amatoriale. Tuttavia, le spiegazioni fornite qui di seguito possono ovviamente essere applicate anche ai diversi modelli che propongono gli stessi tipi di carte. Nell'indice che trovate qui sopra, è riportato un elenco delle carte che cercheremo di apprendere nel modo più dettagliato possibile.

Prima di iniziare l'analisi delle carte, è necessario conoscere alcune particolarità. Avete potuto osservare che i parametri meteorologici sono a volte descritti ad un certo *livello*: ad esempio 850, 700, 500 e 300hPa. Occorre sapere che questi livelli corrispondono in realtà ad altitudini. Infatti, si sa che la pressione diminuisce più o meno regolarmente man mano che ci si alza (viene perso circa 1hPa per ogni aumento di 8m). In media, l'altitudine di una superficie isobara (ad esempio 500hPa) resta costante (si parla d'atmosfera *standard*). Ci si può dunque aiutare all'inizio con una tabella di corrispondenza tra pressione ed altitudine:

1013hPa=Livello del mare
900hPa=990m
850hPa=1460m
800hPa=1950m
700hPa=3000m

600hPa=4200m
500hPa=5500m
400hPa=7200m
300hPa=9200m
250hPa=10400m (livello medio della tropopausa)
200hPa=12000m

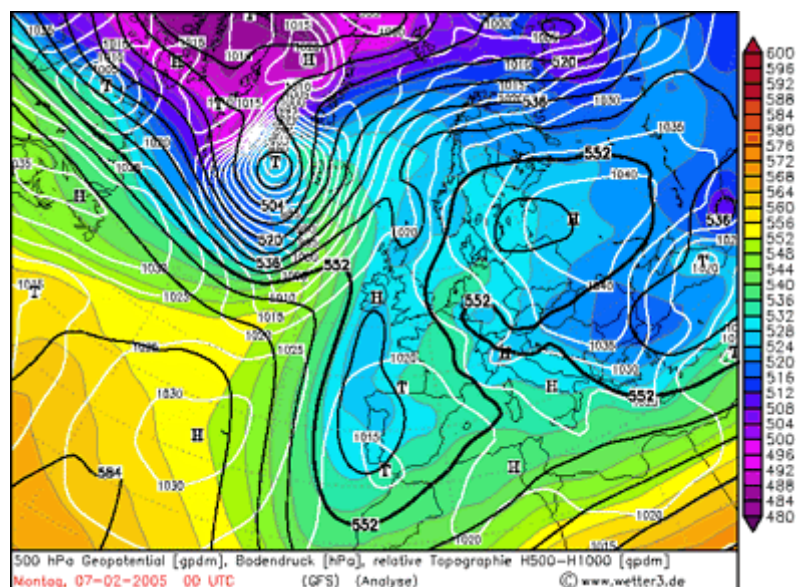
Oltre, si entra nella stratosfera, e questo strato dell'atmosfera per il momento non ci interessa, poiché i fenomeni meteorologici si situano tra il suolo ed la tropopausa (~10000/11000m).

CARTE A RISOLUZIONE ORIZZONTALE

La pressione riportata al livello del mare (SLP o anche MSLP)

Innanzitutto, va ricordato che questo valore di pressione ha come scopo quello di correggere il valore dei barometri o delle stazioni poste in altitudini superiori a quelle appunto del livello del mare, per determinare la pressione che si avrebbe se il barometro fosse a questo livello di altitudine. Le carte di pressione a livello del mare sono indispensabili in meteorologia. Permettono infatti di localizzare le zone di bassa pressione (depressioni) e quelle di alta pressione (anticicloni). Inoltre, applicando la legge di Buys-Ballot, si può determinare con discreta precisione la direzione del vento in un determinato punto: il vento scorre parallelamente alle linee di uguale pressione (isobare). Per l'esatta direzione direzione del vento, occorre semplicemente sapere che esso soffia in senso antiorario attorno ad una depressione (lettera T sulla carta qui sotto), e in senso orario attorno ad un anticiclone (lettera H). Attenzione però, perché questa norma vale se ci si situa nell'emisfero Nord, ma è invertito se si passa nell'emisfero Sud. La velocità del vento invece, è proporzionale in base all'infiltramento delle isobare: quanto più esse saranno vicine tra di loro, tanto maggiore sarà la velocità del vento.

Un occhio attento ed esperto potrà immediatamente riconoscere la posizione del fronte con la semplice osservazione di una carta di questo tipo, senza dover passare per altri parametri, come la temperatura a 850hPa o lo spessore di geopotenziale.



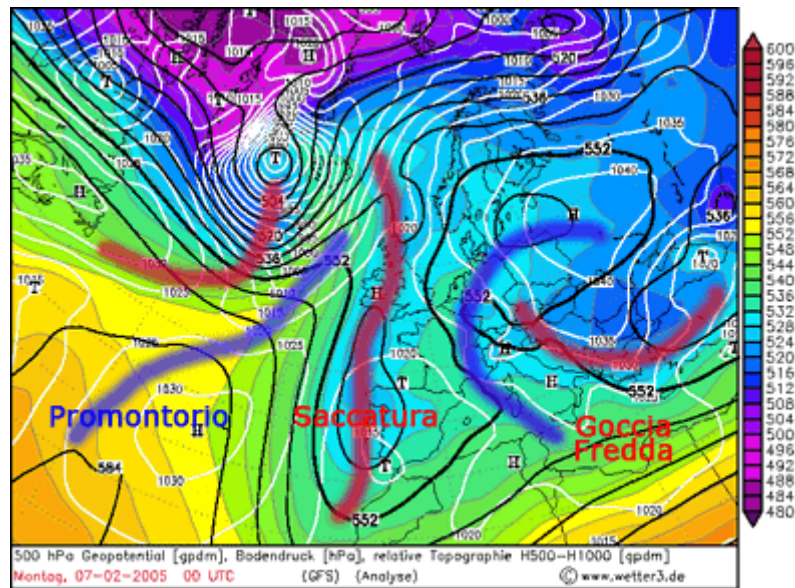
Qui sopra, ecco un tipico esempio di una carta che rappresenta la *pressione a livello del mare*. Le isobare sono rappresentate dalle linee bianche con quote di hPa che vanno di 5 in 5 (per evitare problemi di sovrapposizione). Applicando la norma di Buys-Ballot, si può osservare che il vento soffia dal sud dell'Islanda (anche se non è completamente esatto, poiché la forza d'attrito costringe il vento a *tagliare* le isobare con un angolo di $20/25^\circ$ in direzione della bassa pressione), e che deve soffiare anche molto intensamente, quasi a livello di tempesta: basta osservare la limitata distanza delle isobare in quel punto. In Francia, ad esempio, il tempo è molto più stabile, poiché le isobare sono molto intervallate tra di esse. Questo tipo di zona si chiama in gergo una zona di *palude barometrica*. Il vento è infatti debole ed abbastanza variabile nella sua direzione.

La carta della pressione al suolo è dunque una carta di notevole interesse che qualsiasi previsore utilizza come base di partenza per la sua previsione. È una carta molto importante per cominciare lo studio dei modelli matematici.

Geopotenziale alla quota di 500 hPa

Il **Geopotenziale**: ecco un termine tipicamente meteorologico ed abbastanza astratto. In realtà, si potrebbe tradurlo brutalmente come segue: il geopotenziale di una quota x è l'altitudine alla quale questa quota x si trova. O meglio, si intende la quota alla quale la pressione atmosferica raggiunge questo valore. Ad esempio, in media, l'altitudine della superficie di 500hPa è di 5500m. Ma ci teniamo a precisarlo, è soltanto una media! Infatti, quest'altitudine può variare al variare della pressione atmosferica al livello del mare. I valori di geopotenziale vengono espressi in DAM. La Scala DAM è una scala che rappresenta la pressione a 5500m e viene espressa al centesimo, essa non è altro che una semplificazione dell'hPa (ettoPascal). Ad esempio se prendiamo la 552DAM, la quale viene presa come punto di riferimento nella scala principale corrisponderà a 5520hPa. L'utilizzo delle carte di geopotenziale è di semplice utilizzo, al pari delle carte di pressione al livello del mare: le zone con isobare con valori di pressione elevata sono comparabili agli anticicloni visti in una carta di pressione al livello del mare, mentre le zone di bassa pressione sono comparabili alle depressioni in una carta di pressione al suolo. Inoltre, la norma di Buys-Ballot citata qui sopra si applica allo stesso modo.

Le linee tracciate in una carta che congiungono i punti nei quali una data superficie isobarica ha il medesimo geopotenziale, si chiamano gli *isoipse* (ancora un termine erudito) e sono rappresentate in nero sulla carta qui di seguito (che è la medesima mostrata qui sopra). Si può dedurre che il vento che soffia sopra Madrid, non sia molto forte (isoipse molto intervallate), e che viene dal Sud.



Ora proveremo a familiarizzarsi rapidamente con alcune configurazioni di base, e a collocare in esse 2 termini che ritornano molto spesso in meteorologia: *promontori* e *saccature*. Per definizione, una saccatura è un'area allungata a forma di U o di V, di pressione relativamente bassa, che si protende da una depressione, cioè un'area dove i geopotenziali molto bassi hanno tendenza ad inghiottirsi verso Sud (linee rosse). Le saccature sono spesso sinonimi d'instabilità e di tempo perturbato. Non è raro che queste saccature scendano così tanto verso Sud che finiscano per isolarsi in una *goccia fredda*; le isoipse formano in questo caso un cerchio, e le temperature in quota indicano che l'aria è più fredda all'interno della goccia piuttosto che ai suoi margini (da qui il suo nome): questo tipo d'isolamento può produrre anche autentiche tempeste, poiché l'aria diventa instabile con l'arrivo d'aria fredda in quota. A contrario, un promontorio è un'area allungata di pressione relativamente alta che si protende da un anticiclone, con isobare a forma di U o di V. Nel secondo caso prende più propriamente il nome di cuneo. E' dunque un area dove gli alti geopotenziali hanno tendenza ad inghiottirsi verso Nord (linee blu). Queste aree sono spesso sinonimi di tempo bello e stabile.

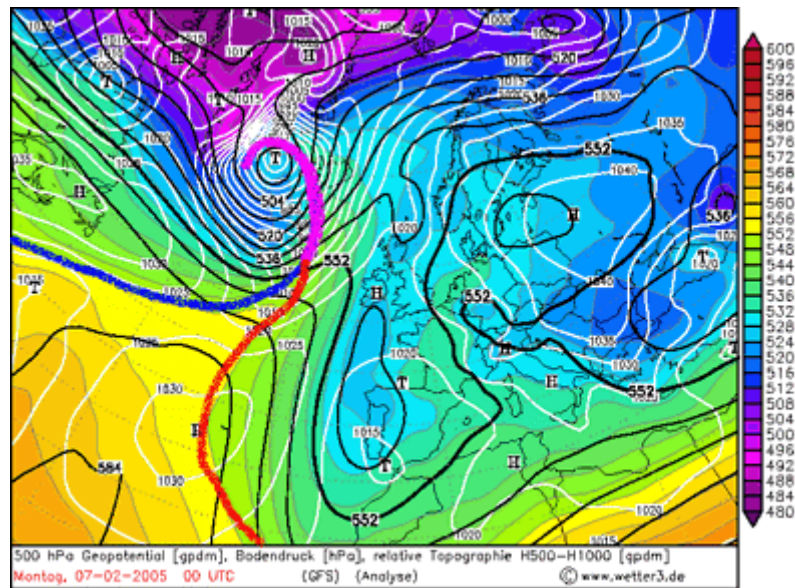
Lo spessore geopotenziale

Ora sappiamo cos'è un geopotenziale... occorre ora conoscere un'altra nozione: lo spessore tra 2 superfici isobare. Sulle 2 carte precedenti, è lo spessore tra le superfici a 500 e a 1000hPa, che è rappresentato dalle aree colorate, cioè la differenza d'altitudine tra la superficie a 500hPa e quella della a 1000hPa.

Questo spessore è strettamente collegato alla temperatura dalla formula seguente:

$$\text{Spessore} = Z_{500} - Z_{1000} = 67,445 * T * \log(500/1000).$$

Dove T è la temperatura media dello strato 500/1000hPa.



Se ne deduce che lo spessore di uno strato dell'atmosfera è proporzionale alla temperatura media di questo strato (se si trascura l'umidità, poiché non è solamente la temperatura in sé che conta, ma la temperatura virtuale, che cambia con l'umidità). È per questo che le linee di spessore possono essere interpretate come carte della temperatura in quota. Questo parametro è utile per individuare abbastanza facilmente i fronti: non sono completamente dove la pendenza di spessore è più elevata, ma un piccolo poco spostati verso gli alti valori di spessore (fronte caldo in rosso, fronte freddo in blu, fronte occluso in violaceo).

Gli spessori possono anche risultare utili per la previsione della neve. Ad esempio, uno spessore dello strato 1000/850hPa inferiore a 1281m (valore calcolato) lascia buone possibilità di neve in pianura. Ma come tanti altri parametri, anche questo non è infallibile.

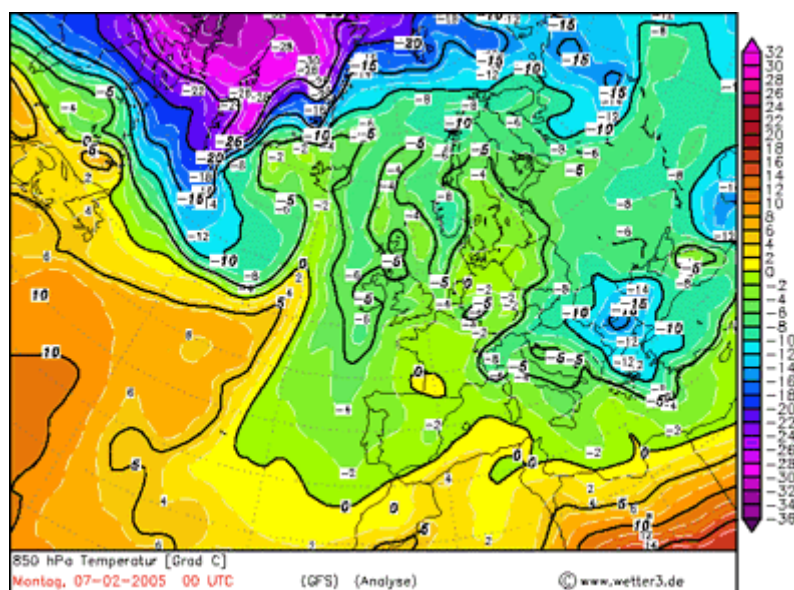
Temperatura ad 850 hPa

Ecco un altro parametro, che ci permetterà di stimare grossolanamente la temperatura massima al suolo. Infatti, un'esperienza personale (e verificata dalla teoria) mostra che è possibile valutare la temperatura al suolo in funzione di quella a 850hPa (=1500m d'altitudine), aggiungendo in genere tra 9 e 13°C:

- + 9°C con cielo interamente coperto
- + 11°C con cielo poco nuvoloso
- + 13°C con cielo sereno

Ci si può anche aiutare con i valori di umidità in quota per determinare le eventuali correzioni da apportare. Precisiamo che questo è un metodo molto aleatorio e molto dipende dalla zona di riferimento, se è posta in quota o in pianura, se viene influenzata da particolari microclimi, ecc. Ma spesso, in molti casi, vi possiamo assicurare che funziona.

Ovviamente, la carta di temperatura a 850hPa si utilizza per molti altri aspetti, ben più importanti: uno, ad esempio, è quello di individuare la traccia dei fronti a quest'altitudine.



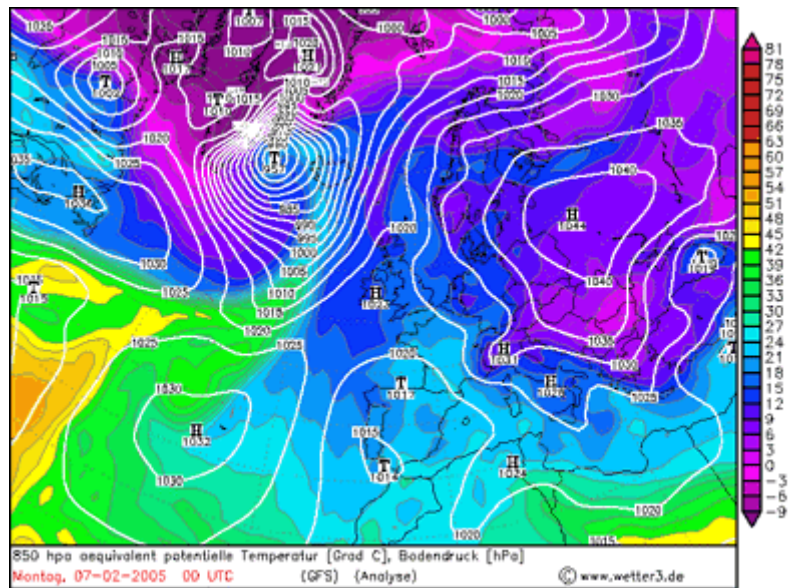
Su questa carta, la temperatura a 850hPa è rappresentata dalle aree colorate. Le linee nere, aiutano nella visione delle temperature, ma ovviamente essendo un modello ad ampia scala, non sono sempre così precise.

Le linee bianche rappresentano la pressione a quella determinata quota, e viene preso come punto di riferimento, per l'appunto 149DAM. La questione è la stessa dei 552DAM.

La temperatura potenziale ad 850hPa

Per comprendere la temperatura potenziale, si può citare quest'espressione, letta recentemente su un forum meteo francese, che ci è molto piaciuta: "la temperatura potenziale sta alla temperatura come la pressione al livello del mare sta alla pressione al suolo". E' cioè un valore virtuale poiché non misurabile, ma calcolabile.

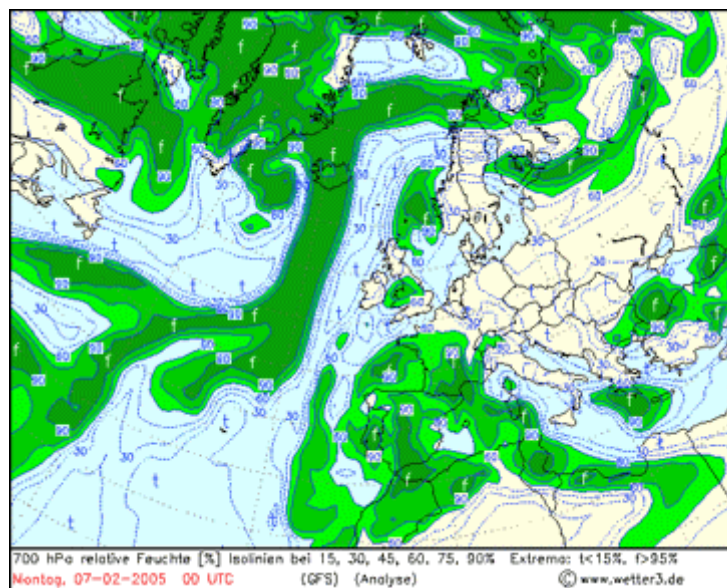
Si sa infatti che la temperatura scende quando si sale di altitudine... e che quindi cala quando si scende di altitudine. Ebbene, la temperatura di una particella d'aria a 850hPa è la temperatura che avrebbe questa particella se la si costringesse a scendere verso la quota di 1000hPa (senza scambi di calore con il suo ambiente, ed a condizione che l'aria non sia satura). Ma passiamo ora dalla teoria alla pratica. Occorre innanzitutto sapere che questo parametro è utilizzato per tracciare i fronti: è individuabile infatti nelle zone dove la differenza di temperatura potenziale è molto elevata. Potete comparare questa carta con quella mostrata sopra, dove il fronte è stato già tracciato.



Questo parametro è utilizzato anche per altre cose (previsione di tempeste ad esempio). Ma non ce ne interesserebbe in questo documento.

L'umidità relativa a 700hPa

Noi ci soffermeremo molto su questo parametro, poiché è di semplice interpretazione: valori elevati dell'umidità relativa in quota permettono di darsi un'idea della ripartizione delle masse nuvolose. Più l'umidità è elevata (aree colorate in verde), più il tempo si preannuncia nuvoloso.



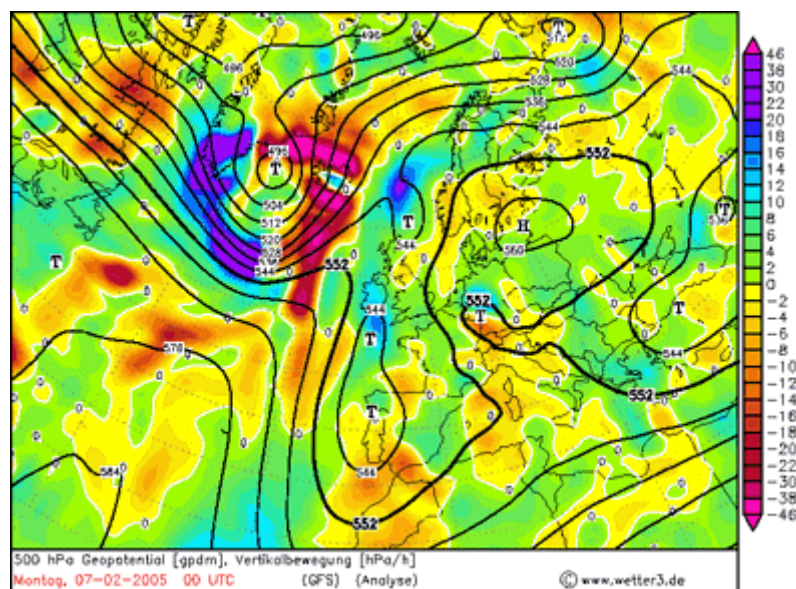
Attenzione: per prevedere la nuvolosità che dovrebbe esserci ad esempio domani, può risultare molto imprudente prestare attenzione soltanto a questa carta. Infatti, non ci mostra null'altro che l'umidità intorno ai 3000m. Basta che uno strato di elevata umidità relativa resti bloccato sotto

un'inversione di temperatura tra il suolo e 900 o 800hPa, mentre a 700hPa, l'aria è perfettamente secca, per fuorviarci (nel nostro caso, si avrà uno strato spesso di bassi strati se non addirittura un po' di pioviggine, mentre magari ci si aspettava grande sole!). L'ideale, lo avrete capito, è variare le carte, passare a modelli verticali o ai radiosondaggi. Con un po' di allenamento (non è un esercizio così facile), potrete sperare di prevedere il tipo di nube che si presenterà, la propria altitudine, ecc.

La velocità verticale a 500hPa

Sappiamo tutti che il vento si muove orizzontalmente, ma si ha spesso la tendenza a dimenticare che il vento si muove anche attraverso moti verticali.

L'unità di misura utilizzata per definire la velocità verticale è espressa in hPa/ora quando l'aria sale (ascendenze), la velocità verticale è negativa, ed è positiva quando l'aria scende (cedimento). Sebbene la componente verticale del vento sia molto debole rispetto alla componente orizzontale (qualche cm/s contro molti m/s), sarebbe comunque un grave errore trascurare questo parametro. Infatti, la velocità verticale permette ad esempio di misurare lo stato di una depressione, l'attività di un fronte ecc.... in più, se associato all'umidità in quota, questo parametro è molto interessante per darci un'idea dell'entità di una precipitazione e dove essa andrà a cadere.



Si può osservare da questa mappa, che le zone di ascendenza (in rosso) sono associate a zone molto nuvolose e piovose (a causa della condensazione dell'aria che sale in quota), e dunque ai fronti (potete fare una comparazione con la carta di temperatura potenziale ad 850hPa). Invece, le zone di subsidenza annunciano generalmente tempo stabile e soleggiato. La massa d'aria stagnante, infatti, durante il suo movimento di discesa, generalmente accompagnato da divergenza negli strati inferiori, si riscalda secondo la termovariatione adiabatica secca, sicché la struttura termica verticale varia e la stabilità aumenta.

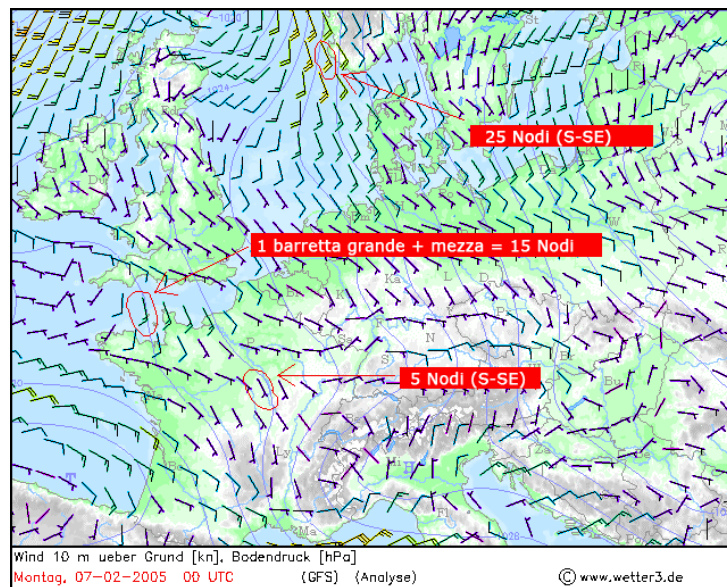
Quando l'aria è allo stesso tempo in fase ascendente ed instabile (vedere indici d'instabilità), si possono temere forti perturbazioni.

Vento a 10m

Ecco un altro dato di semplice d'utilizzo. L'unico difficoltà può essere quella di determinare la

velocità del vento a partire solo dai simboli. La direzione del vento, su queste carte, è rappresentata da un segmento orientato nel senso della provenienza del vento. La sua velocità, invece, è simboleggiata con barrette trasversali che si protendono dal segmento della direzione verso le basse pressioni. Viene tracciata:

- mezza barretta ogni 5 nodi
 - una barretta trasversale ogni 10 nodi
 - un piccolo triangolino ogni 50 nodi (nella carta successiva questo simbolo non è riportato)
- Per ottenere la velocità del vento in km/h, basta moltiplicare per 1,852. Vediamo alcuni esempi su una carta:

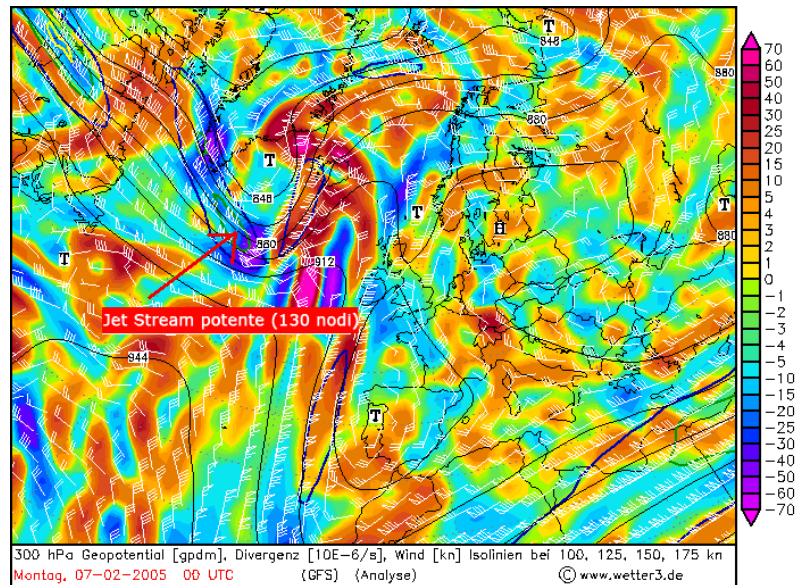


Questo tipo di carta del vento è anche disponibile per altre quote. Volendo si può considerare la velocità delle raffiche di vento al suolo grazie al vento medio a 925hPa (700m).

Vento a 300 hPa

Un'altra quota decisamente interessante per monitorare la velocità del vento è quella di 300hPa. Infatti, è più o meno a questa quota che si trovano le cosiddette *correnti a getto* o *Jet-Stream*. Un getto che comporta venti che raggiungono o che superano i 200km/h è abbastanza potente, e può causare la formazione molto rapida di temporali a volte violenti se un'anomalia termica o di pressione si realizza al di sotto di esso (sfasamento tra isoterme ed isoipse a 500hPa ad esempio).

Un esempio pratico dove si può osservare un Jet Stream molto forte



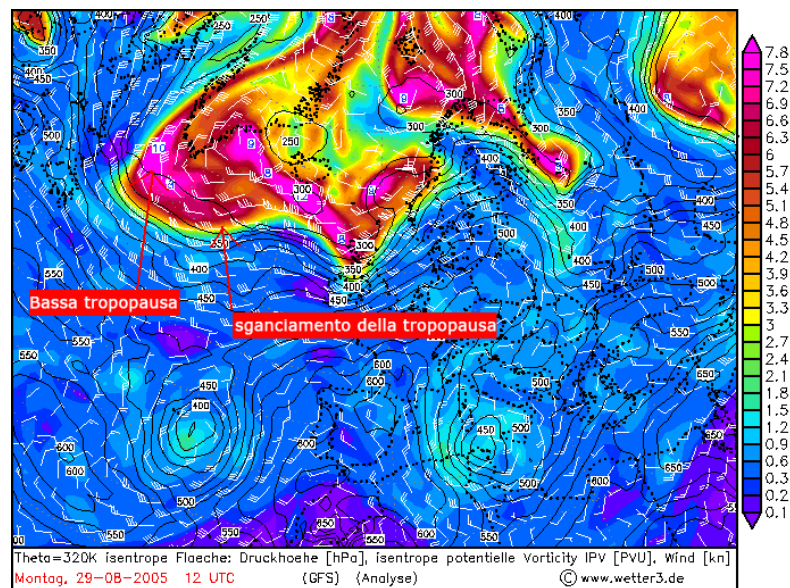
La corrente a getto rappresenta un fattore fondamentale anche per lo sviluppo e la propagazione delle *supercelle*. Gli ingredienti necessari affinché un temporale possa svilupparsi sono umidità (moisture), instabilità (instability) e sollevamento (lift). Una supercella ha bisogno di un ulteriore ingrediente: il wind shear. La corrente a getto produce un forte wind shear verticale. Nei livelli bassi dell'atmosfera, i venti possono essere due o tre volte minori rispetto al vento che esiste nel cuore della corrente a getto. Quando un temporale si sviluppa, il top della nube temporalesca incontrerà venti più forti che non alla sua base. Ciò farà inclinare la nube man mano che essa si andrà estendendo in altezza. Tale inclinazione rende la nube potenzialmente più vigorosa, in quanto le correnti ascendenti sono sostituite da quelle discendenti. Quando la corrente ascendente è rimpiazzata da quella discendente, essa non ne viene cancellata da quest'ultima. Lo shear risulterà ulteriormente accresciuto se i venti a bassa quota differiscono per più di 40° in direzione dal vento della corrente a getto.

La tropopausa

Si sa che la tropopausa segna la zona di transizione tra il troposferae ed il stratosfera. In generale, la tropopausa si situa intorno ai 300hPa, ed è in realtà una superficie semirigida. Cioè che non può essere spinta molto verso l'alto (a causa della stabilità verticale che si ha a questa quota, indotta dalla risalita della temperatura nella stratosfera), ma può senza troppi problemi essere risucchiata verso il basso (l'aria stratosferica fredda e secca fa in questo caso un'intrusione nella troposfera). Queste immissioni della tropopausa verso il basso si possono individuare grazie ad un nuovo parametro meteorologico: la *vorticità potenziale* (VP). Non si andrà in questo caso nei dettagli, ma considereremo soltanto che questo è un parametro che permette di fare una distinzione tra aria stratosferica ed aria troposferica. La vorticità potenziale si esprime in PVU (Potential Vorticity Unit in inglese). L'aria troposferica ha generalmente una VP inferiore a 1,5PVU, mentre l'aria stratosferica ha una VP spesso in larga misura superiore a 1,5PVU. Si capisce facilmente che la tropopausa (detta dinamica) ha una TP costante di 1,5PVU.

La carta qui di seguito mostra la VP della superficie isentropica di 320K. Per semplificare la comprensione della carta, si trascureranno le variazioni d'altitudine di questa superficie isentropica, e si supporrà che l'altitudine, o piuttosto la superficie isobara alla quale si trova questa isentropica di 320K è costante = 300hPa. Applicando quindi ciò che è stato detto più su, si può capire che dove la VP è superiore a 1,5PVU, l'aria stratosferica viene inghiottita verso il suolo; dove la VP è inferiore

a 1,5PVU, la tropopausa viene stata spinta verso la stratosfera, mentre dove la VP è uguale a 1,5PVU, la tropopausa rimane costante al livello di 300hPa.

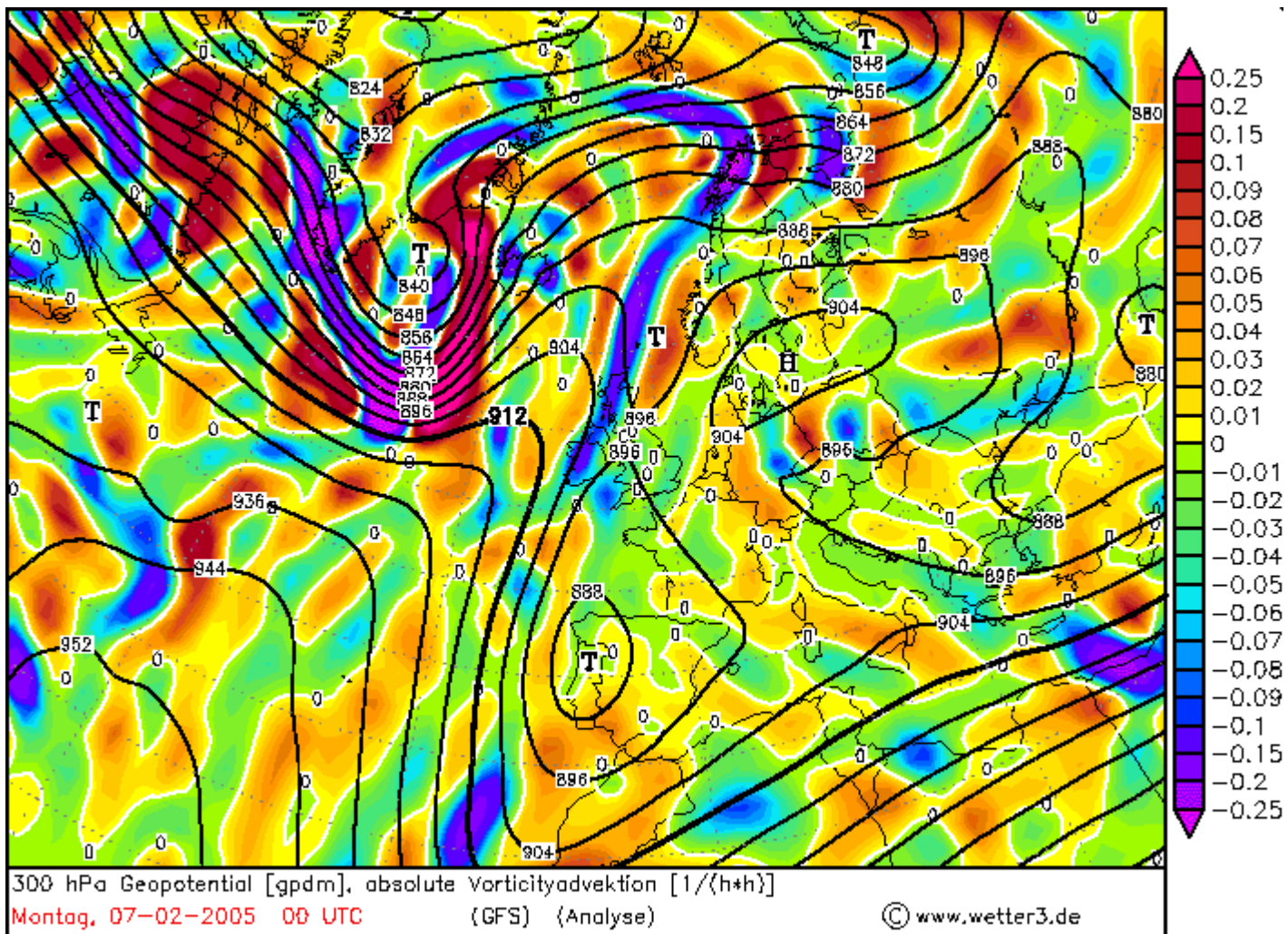


In realtà, non sono tanto i valori di VP ad essere importanti, ma soprattutto le zone dove la VP varia abbastanza rapidamente e su brevi distanze. In queste zone, si dice che c'è uno *sganciamento della tropopausa*. E precisamente, un cedimento brutale della tropopausa indica un fronte in quota, che costringe l'aria che si trova appena dinanzi ad esso a salire rapidamente verso l'alto. Ciò può anche contribuire alla formazione di forti perturbazioni.

L'avvezione di vorticità assoluta

Ancora una nozione abbastanza complessa... ma anche in questo caso non entreremo nei dettagli, e ci accontenteremo di considerare che questo parametro permette di determinare le variazioni di rotazione di una particella d'aria su se stessa nel tempo.

Ciò che occorre prendere in considerazione, è che gli sganciamenti della tropopausa sono associati a valori positivi dell'avvezione di vorticità assoluta a 300hPa. Questo parametro è dunque molto utile per individuare le zone in cui vi possano essere alte probabilità di temporali (quando ovviamente è presente instabilità).



Le zone in rosso (vorticità positiva) sono favorevoli alle ascendenze, dunque a possibili temporali quando si ha aria instabile. In blu/viola (vorticità negativa) le zone associate al tempo buono, che tendono a coincidere con i promontori rilevabili nel campo delle altezze geopotenziali.

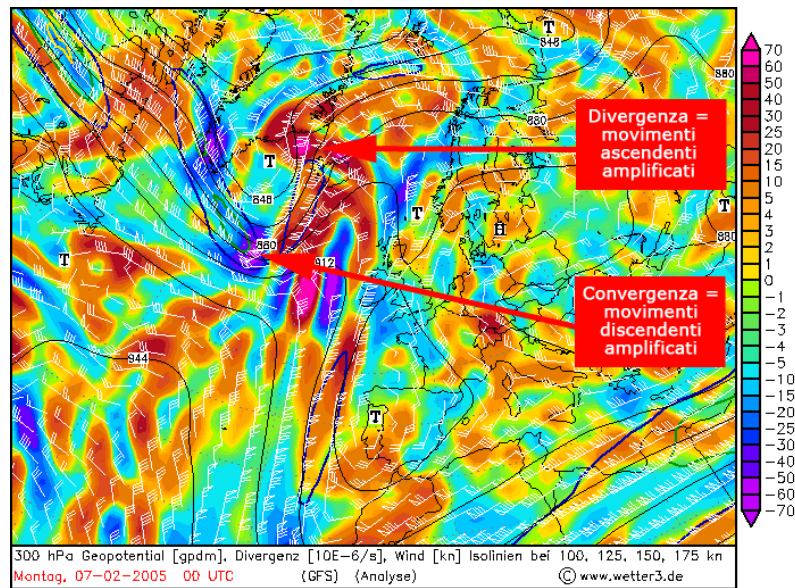
La divergenza orizzontale a 300hPa

Un altro parametro che permette di determinare il rischio di temporali e l'intensità delle ascendenze è la divergenza del vento sotto la tropopausa. La tropopausa, come abbiamo visto, è una superficie semirigida. In pratica se dell'aria è proiettata dal suolo verso l'alto, inevitabilmente "inciampierà" contro la tropopausa, che gli impedirà di andare più su, e di passare nella stratosfera. Rischierebbe dunque di ammassarsi appena sotto la tropopausa? No... perché la legge di conservazione delle masse (o legge di continuità) impedisce all'aria di fermarsi sotto la tropopausa: non potendo andare né verso l'alto né verso il basso, si dispiega dunque lateralmente lungo la tropopausa... *divergendo* dunque.

Quando i famosi cumulonembi ad incudine si dispiegano ad alta quota, è a causa della tropopausa che impedisce alle correnti ascendenti di salire più su!

Ricapitolando, una forte ascendenza nella troposfera si accompagna ad una divergenza del vento sotto la tropopausa... e reciprocamente, una divergenza del vento sotto la tropopausa favorisce le ascendenze nella troposfera.

Ora si comprende meglio il perché una divergenza a 300hPa permette di favorire la formazione di strutture temporalesche organizzate e potenti.



In questa carta, le zone in arancio sono le zone di divergenza, in blu, le zone di convergenza che, ricordiamolo, impediscono la formazione di ascendenze.

Gli indici di instabilità

Eccoci ai parametri in gran parte utilizzati dai previsori per prevedere i temporali. I 2 principali sono LI ed il CAPE (ne esistono decine, basati però su formule altamente complicate).

LI=Lifted Index

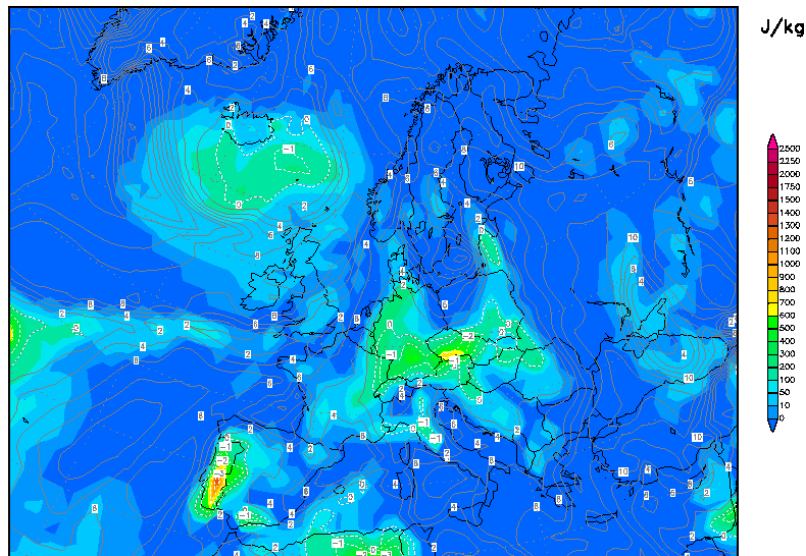
CAPE=Convective Available Potential Energy = Energia potenziale convettiva disponibile

Partiamo dal LI. il LI è un indice che misura la stabilità dell'aria nella media troposfera, è espresso in gradi centigradi (°C), ed è definito come differenza tra la temperatura T osservata al livello di 500 hPa (circa 5500-5600 metri) e quella T_L raggiunta, sempre a 500 hPa, da una particella d'aria che si è sollevata dal suolo lungo l'adiabatica secca o saturata.

Il principio, in se, è molto semplice: un indice LI positivo segnala che l'atmosfera è stabile, un LI negativo ci dice che l'atmosfera è instabile, e che è possibile avere temporali. Il LI raramente assume valori inferiori a -1. Nella tabella seguente viene fornita la relazione tra l'indice LI e i temporali:

- superiore a 2 assenza di temporali
- da 0 a 2 possibilità di temporali isolati
- da -2 a 0 temporali abbastanza probabili
- da -4 a -2 possibilità di temporali forti
- inferiore a -6 temporali forti abbastanza probabili; possibili trombe d'aria

Init : Tue,25APR2006 12Z Valid: Tue,25APR2006 18Z
CAPE (J/kg) und Lifted Index (°C)



Daten: GFS-Modell des amerikanischen Wetterdienstes
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Il CAPE è come detto, un altro indice di stabilità che misura l'energia totale di galleggiamento acquistata da una massa d'aria finché, durante l'ascesa, resta più calda dell'ambiente circostante (libera convezione). E' utilizzato per determinare la potenza di eventuali temporali, ma da solo non è sufficiente a segnalarci un loro eventuale arrivo. E' espresso in Joule per chilogrammo (J/Kg) di aria . Ad esempio, se $CAPE = 1200 \text{ J/Kg}$, significa che ogni Kg di aria ha ricevuto, durante la libera ascesa, un'energia totale di 1200 Joule. Nella tabella seguente viene fornita la relazione tra l'indice CAPE e i temporali:

- inferiore a 500 assenza di temporali
- da 500 a 1000 possibilità di temporali isolati
- da 1000 a 2000 temporali abbastanza probabili
- superiore a 2000 temporali forti abbastanza probabili; possibili trombe d'aria

Tutto sembra molto semplice, ma attenzione, la previsione di un temporale non può basarsi soltanto su indici d'instabilità. I parametri meteorologici citati precedentemente sono sì, indispensabili, ma serviranno anche altri fattori per causare un temporale (un'anomalia nell'antropausa ad esempio). Nulla è da trascurare.....

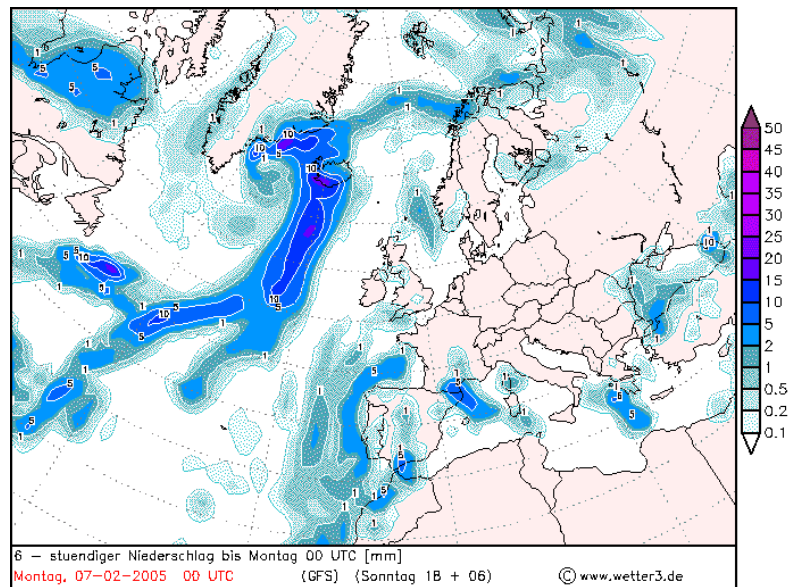
Non è difficile valutare le condizioni per cui in una determinata regione possono prodursi fenomeni temporaleschi. E' però estremamente complesso e, per ora, ancora impossibile capire con precisione il luogo esatto in cui si attiverà una cellula temporalesca. Il temporale è infatti un fenomeno che si può sviluppare in aree anche molto circoscritte. Anche la previsione della grandine è per ora impossibile. Ma abbiamo osservato altresì fattori sicuramente molto importanti ed utili per capire qualcosa in più del fenomeno.

Le precipitazioni

Un parametro molto (forse troppo?) utilizzato. Si tratta infatti di un valore "finale", che dipende da molti altri, come l'umidità in quota, la velocità verticale... ecc..

Si capisce facilmente che una valutazione errata di uno di questi parametri può portare molto

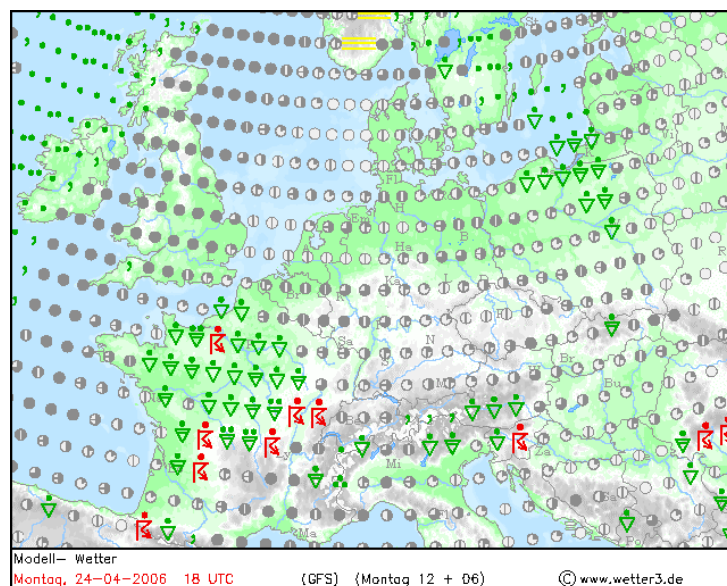
rapidamente ad una previsione errata della pioggia! Carte da prendere con le pinze dunque, soprattutto per previsioni a scadenza superiore a 3 giorni (72 ore).



L'interpretazione di questo tipo di carta è fin troppo banale, poiché le zone piovose sono contrassegnate dalle aree colorate in blu. In generale, l'intensità delle precipitazioni (data dalla scala dei colori) è data in mm/6h (quantità d'acqua caduta in 6h), ma ci sono altri modelli che propongono anche range differenti.

Tempo previsto

Una carta poco didattica, ma comunque divertente da guardare, utile più a coloro che non hanno tempo o voglia di fare un'analisi completa. In ogni punto di griglia del modello, è rappresentato un simbolo meteorologico che permette di comprendere molto rapidamente il fenomeno atteso in quella zona (temporale, pioggia, nebbia, neve, nuvole... ecc.). Tutto qui...



Questa è la legenda dei simboli mostrati in questa carta:

Intensità Tipo	Molto debole	Debole	Moderata	Forte	Molto forte	Instabilità			
Pioggia									
Neve									
Pioggia ghiacciata									
Graupeln									
Rovescio di pioggia						Foschia 			
Rovescio di neve						Nebbia 			
Rovescio di graupel									
Copertura nuvolosa									

CARTE A RISOLUZIONE VERTICALE

Nella prima parte di questo documento abbiamo potuto vedere le carte cosiddette "classiche", cioè risultante dalla risoluzione orizzontale dei parametri meteorologici fondamentali. Questo tipo di carte è più comune, ed è probabilmente più facile da utilizzare (sebbene, sia soltanto una questione di abitudine).

Tuttavia, occorre ricordare che la meteorologia è una scienza che si interessa ai fenomeni atmosferici che si svolgono attorno alla Terra, tra il suolo e (circa) 12km di quota. Si comprende allora che le carte classiche ci offrono solamente una visione molto incompleta delle condizioni meteorologiche globali.

È per questo che un buon previsore, dopo avere osservato attentamente le risoluzioni orizzontali, per raffinare la sua previsione, ricorrerà ad un tipo di carta che soltanto recentemente è stata resa disponibile gratuitamente sul web: i modelli a risoluzione verticale. Questi, permettono al meteorologo di percepire lo stato dell'atmosfera non solo in 2, ma in 3 dimensioni. In questo modo, non viene trascurato alcun dettaglio, e si hanno così a disposizione tutti i parametri per mettere a punto una buona previsione.

In questa seconda parte dunque, descriveremo brevemente i parametri attualmente disponibili su questi tagli verticali, ed il metodo da adottare per interpretarli. Vale a dire:

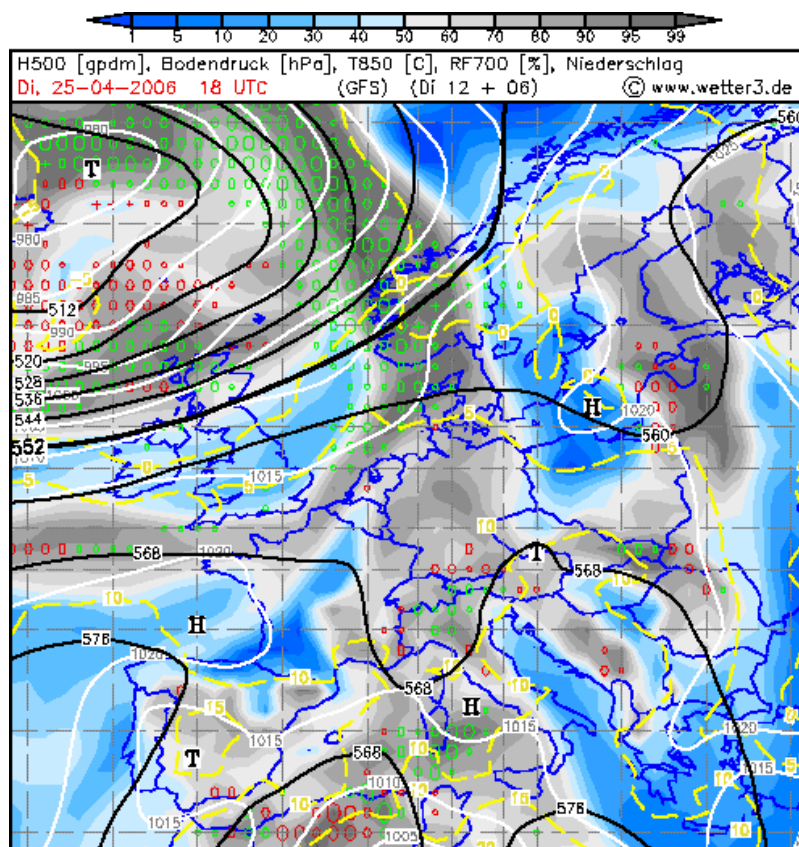
1. Temperatura, vento e livello della tropopausa
2. Velocità verticale e divergenza del vento
3. Umidità relativa, temperatura potenziale e tempo previsto al suolo
4. Temperatura potenziale equivalente, masse nuvolose
5. Avvezione di temperatura, avvezione di vorticità, velocità verticale

Un indirizzo internet dove poter trovare questo tipo di carte gratuitamente è il seguente:
<http://www2.wetter3.de/vertikal.html>

Prendiamo come modello una carta tipica che deriva da una risoluzione orizzontale (pressione = costante = 700hPa ~ 3000m), e che presenta i seguenti parametri: la quota della superficie di 700hPa (isoipse in nero); l'umidità lungo questa superficie (aree colorate), i piccoli cerchi rossi e verdi rappresentano le zone potenzialmente piovose. Il raggio del cerchio è proporzionale all'intensità delle precipitazioni. Quando è rosso, indica precipitazioni *liquide* di tipo convettivo (pioggia a carattere temporalesco); nel caso contrario, queste precipitazioni sono di tipo stratiforme. Infine, le crocette segnalano che le precipitazioni cadono al suolo sotto forma *solida*: si tratta allora di neve o graupeln, e non di pioggia.

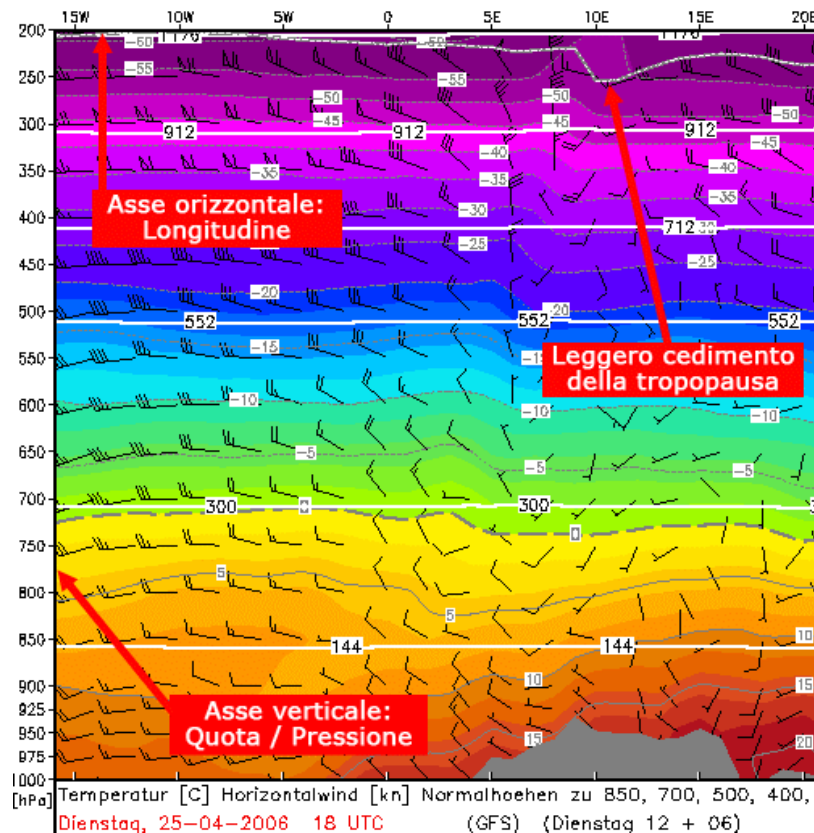
Piccola nota: le linee bianche rappresentano le isobare al livello del mare (0m).

Attorno alla carta, in basso e a destra, potrete notare dei piccoli pulsantini. Le cifre riportate sono la latitudine, espressa in gradi, (40°N, 50°N, 65°N), e la longitudine (10°W, 5°E, 20°E). Questi pulsantini ci permetteranno di scegliere il livello verticale che le interessa (basterà cliccarci sopra).



In conclusione, per capirci, mentre le carte viste prima hanno la quota o la pressione come costante, le carte a risoluzione verticale hanno come costante la longitudine o la latitudine. Purtroppo, al momento, per l'Italia gli unici paralleli di riferimento sono il 40° per il Nord Italia ed il 45° per il Sud. In alternativa, per altre zone, si possono prendere come riferimento i meridiani che vanno dall'8° al 15°.

Temperatura, vento e livello della tropopausa



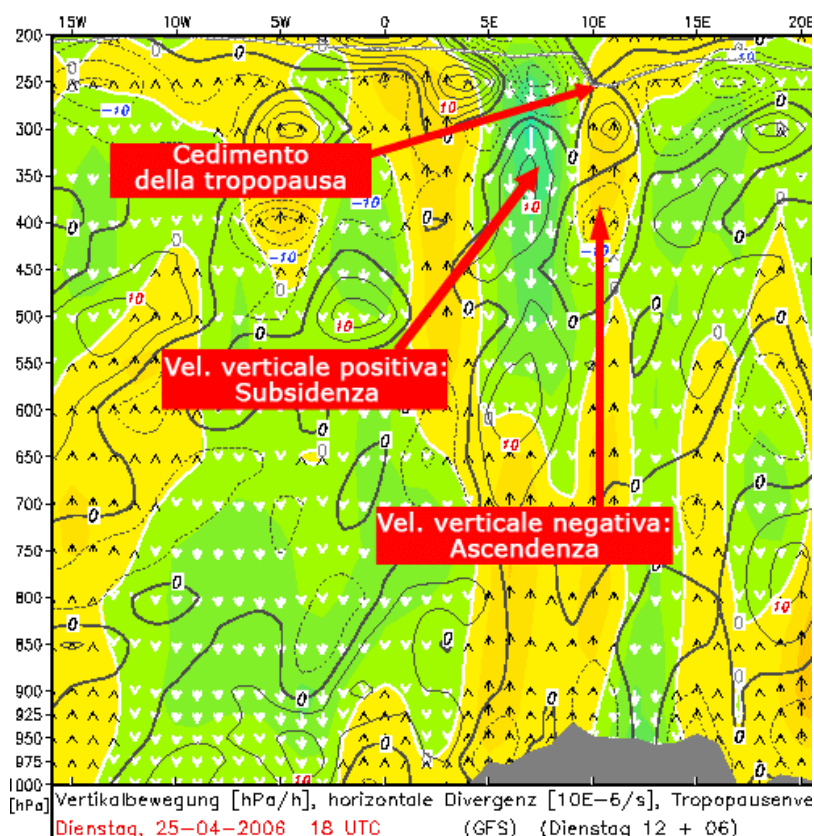
In questa carta, come in quelle che seguiranno, abbiamo la longitudine in funzione della quota (o meglio della pressione). Per conoscere la corrispondenza media, non dovrete far altro che guardare la tabellina che abbiamo inserito nella pagina precedente.

I parametri presenti in questa prima carta sono:

- 1) **La temperatura in °C** (aree colorate): È molto utile per conoscere ad esempio la quota dell'isoterma a 0°C, e provare a valutare il limite pioggia-neve, ma ovviamente esistono anche altre applicazioni che si riferiscono a questo parametro.
- 2) **Il vento orizzontale** (segmenti neri): Ideale, vicino alla tropopausa, per collocare e conoscere l'intensità del jet-stream, ma anche, vicino al suolo, quando si tratta di prevedere un eventuale passaggio di una corrente a getto nei bassi strati, che possono causare anche notevoli danni in occasione di un temporale (si osservano quando il vento è molto forte a livello del suolo, mentre diminuisce alzandosi in quota).
- 3) Le linee bianche quasi-orizzontali rappresentano **le quote**: 1440, 3000, 5520, 7120 e 9120m. Non sono di grande interesse, se non per prendere in considerazione il fatto che essendo quasi perpendicolari all'asse delle ordinate, si può dimostrare che è possibile stabilire una stretta relazione tra pressione e quota.
- 4) Infine, la linea grigia, messa in evidenza con la freccia, mostra **la quota della tropopausa**. Si

può così facilmente vedere ciò che si diceva pocanzi, ovvero che si tratta di una superficie semirigida, con possibili cedimenti, sinonimi di dinamismo in quota. Qui, la rottura mostrata dalla freccia non è molto importante (non scende al di sotto dei 250hPa), ma può talvolta accadere che scenda fino a 400hPa! Immaginate dell'aria stratosferica scendere fino a 7000m di quota, ed il dinamismo che crea al suo passaggio!

Velocità verticale e divergenza del vento



In questa carta, abbiamo a nostra disposizione 3 parametri:

1) La velocità verticale: ricordiamoci innanzitutto questo concetto: una velocità verticale negativa corrisponde ad aria che sale di quota (ascendenza), mentre una velocità verticale positiva corrisponde ad aria che scende (subsidenza). Nella carta qui sopra, abbiamo messo in evidenza con 2 frecce rosse l'influenza del cedimento della tropopausa (quella vista precedentemente) sui movimenti verticali. Di fronte alla rottura (tra il 10° e il 15° meridiano di longitudine Est), il dinamismo da essa generato, costringe l'aria a salire (area giallo/arancio). Al contrario, l'aria scende dalla parte posteriore del cedimento (tra 5° e 10° Est). Ricordando ciò che è stato detto in precedenza, si può allora comprendere come uno sganciamento di questo tipo fornisce l'energia necessaria per far nascere celle temporalesche nelle zone frontali, mentre nella parte posteriore, i movimenti ascendenti sono inibiti, impedendo l'evoluzione di sistemi convettivi particolarmente intensi.

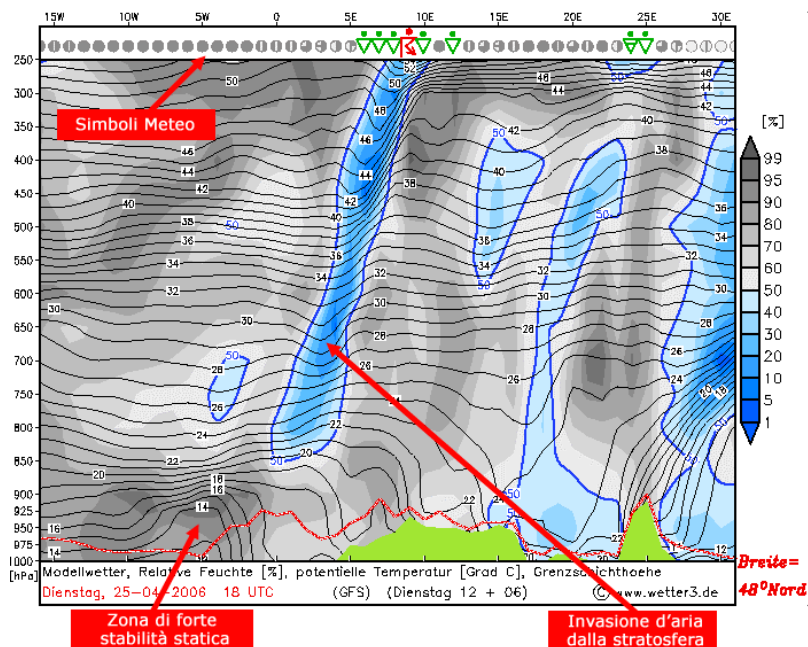
2) La divergenza del vento orizzontale: questo parametro è mostrato dalle linee grigie. Quando sono continue, l'aria ha tendenza a divergere, mentre quando sono tratteggiate, l'aria ha tendenza a convergere. A causa della legge di conservazione della massa citata in precedenza, velocità verticale e divergenza orizzontale sono bene collegate tra di loro, in modo da avere:

- Nei bassi strati:
Divergenza = instaurazione di una corrente di subsidenza
Convergenza = instaurazione di una corrente ascendente
- Al livello della tropopausa:
Divergenza = instaurazione di una corrente ascendente
Convergenza = instaurazione di una corrente di subsidenza

Se ne deduce che una linea di convergenza al suolo, associata ad una corrente divergente in quota, è un'ottima condizione per la formazione di un temporale (sempre che ci siano buoni indici di instabilità) o in ogni caso buona per poter individuare zone dove si presenterà moderata nuvolosità, e buone probabilità di pioggia.

2) In questa carta è ben evidenziata anche la quota della tropopausa, ma ne abbiamo già parlato e non ci ritorneremo sopra.

Umidità relativa, temperatura potenziale e tempo previsto al suolo



Una carta molto pratica, che ci propone nuovamente 3 parametri principali:

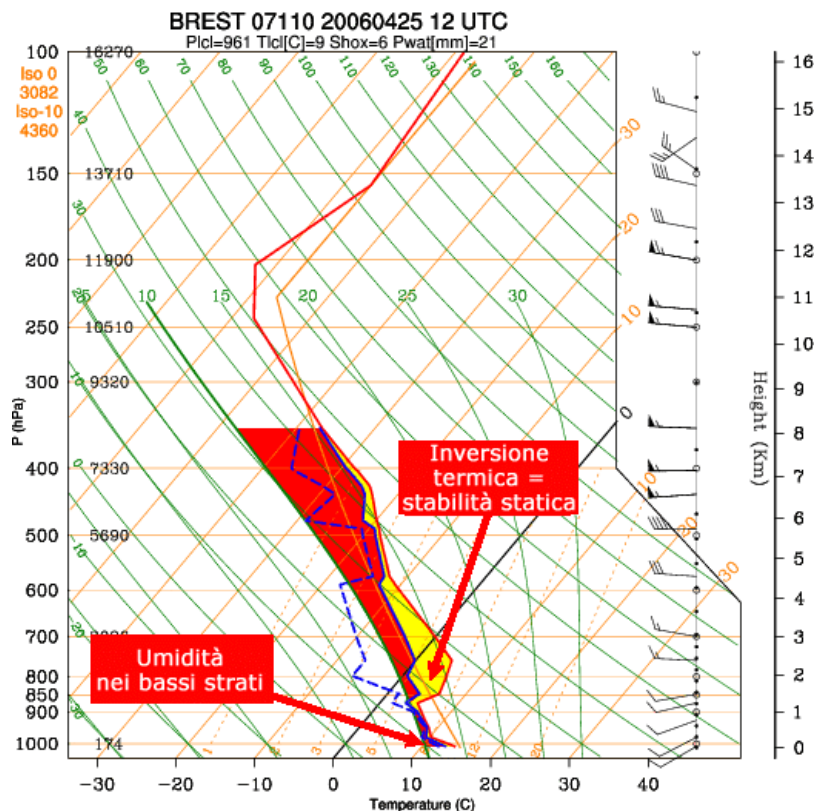
1) L'umidità relativa: Le aree colorate grigie delimitano le zone dove l'umidità è più elevata, ovvero dove si avrà un'alta probabilità di avere un buon numero di nubi; mentre le aree blu mostrano le zone del cielo più soleggiate. Può essere molto utile utilizzare questa carta per collocare in modo efficace le nubi basse, o anche i cirri, che non sono di solito individuabili in una semplice

carta orizzontale a 700hPa. Si possono utilizzare queste informazioni combinandole con le velocità verticali o con la quota della tropopausa per prevedere le zone in cui si avranno precipitazioni...

2) Tenendo conto dell'attendibilità comunque limitata, ci si potrà divertire a vedere se il modello si fa la vostra stessa idea sulla previsione, dando un'occhiata ai simboli in alto della carta, che rappresentano il **tempo previsto al suolo**, in funzione della longitudine. La simbologia, è la stessa descritta nel capitolo precedente.

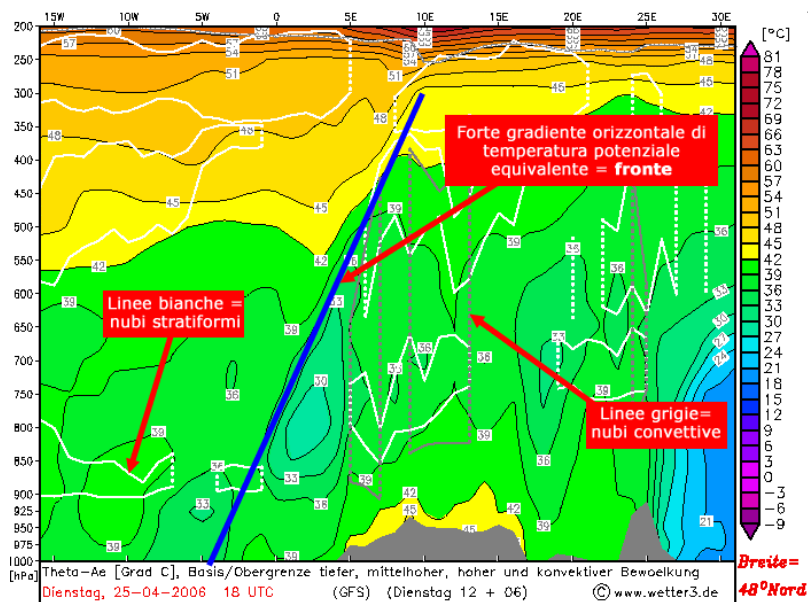
3) Le linee nere collegano tra di loro i punti di **temperatura potenziale equivalente** e vengono definite *isoentropiche*. E' interessante notare che queste linee mettono abbastanza bene in evidenza la stabilità statica dello strato atmosferico su tutto il suo spessore. Così, le zone dove le linee sono molto ravvicinate verticalmente indicano una forte stabilità statica a questo livello; mentre le zone dove le linee sono bene intervallate tra di loro (sempre in senso verticale), indicano un'aria potenzialmente instabile. Osserverete infine che le isoentropiche sono molto molto vicine le une alle altre al livello della tropopausa. Nulla più di normale, poiché la temperatura remonte molto leggermente a partire da questo livello, ed è per questo che i movimenti sono bloccati a questa altitudine.

Analizzando questa carta, si possono individuare due fenomeni molto caratteristici, cioè un'infiltrazione d'aria stratosferica tra 0° e 10°E di longitudine (lingua d'aria molto secca). Quest'infiltrazione è il risultato del cedimento della tropopausa che abbiamo visto in precedenza. Si potrà anche notare una zona di forte stabilità statica e d'umidità in a 5°W di longitudine. Tuttavia, alla quota di 700hPa, l'umidità non è così importante e ve lo diciamo di nuovo: non cadete nella trappola delle carte a 700hPa, perché non rivelano tutto! Occorre basarsi su molti altri parametri per prevedere dove e come si potranno avere piogge e temporali.



Premesso che dedicheremo un articolo a parte sull'interpretazione dei radiosondaggi, proviamo intanto a dare *un'infarinata* su questo tipo di carta e per collegarla a quella precedente. In questo radiosondaggio (riferito in questo caso a Brest) preso nello stesso giorno della carta qui sopra, si osserva bene l'umidità nei bassi strati (curva blu e rossa non distinte), superata da un'inversione di temperatura tra 900 e 800hPa, che conferma la forte stabilità statica che era stata prevista da GFS, e che blocca tutta l'umidità sotto di essa.

Temperatura potenziale equivalente e masse nuvolose



Questa penultima carta è molto interessante per 2 nuovi parametri che andremo ad analizzare:

1) La temperatura potenziale equivalente (ThétaE): Questa temperatura ha di particolare che permette (fattore molto interessante) di delimitare in modo relativamente preciso la posizione di un fronte. Infatti, come con la temperatura pseudo-adiabatica potenziale di bulbo bagnato (parametro molto simile), un fronte, su questo tipo di carta è tracciato con un forte gradiente orizzontale di ThétaE. Al contrario, le zone di debole variazione orizzontale di questo dato caratterizzano una massa d'aria ben omogenea al seguito, il passo della zona di gradiente di ThétaE ci permette di determinare se si tratta di un fronte caldo o freddo. Qui, il gradiente è spostato verso Est man mano che l'altitudine aumenta, e siamo in presenza di un flusso da Ovest: ciò ci permette di dire che siamo in presenza di un fronte caldo.

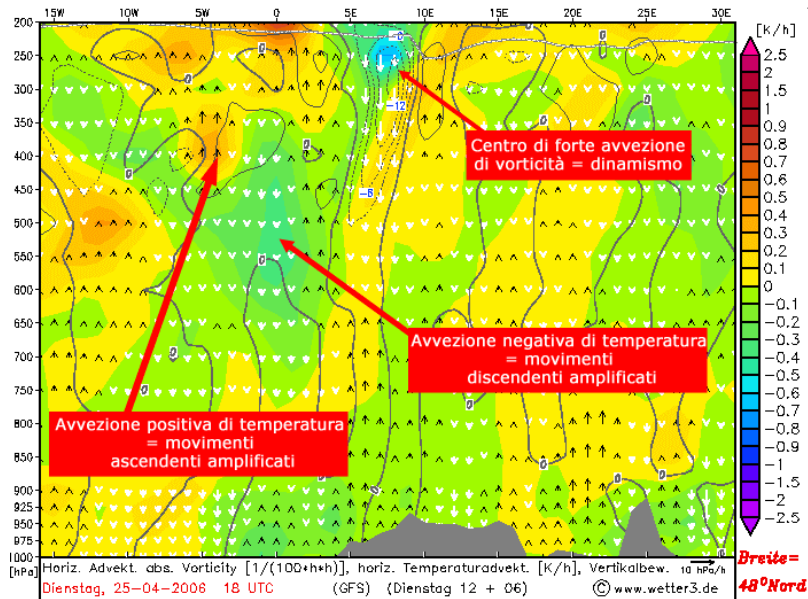
Oltre a ciò, essa è importante per la misurazione dell'instabilità dell'aria. Vi è *instabilità potenziale* quando una particella d'aria, se sollevata fino al livello di saturazione, diventa instabile. Il modo più facile per diagnosticare la presenza di instabilità potenziale, si ottiene esaminando la theta-E dell'aria. Se theta-E decresce con l'altezza, l'aria è potenzialmente instabile. Conseguentemente, in presenza di un sufficiente sollevamento, la convezione potrebbe svilupparsi.

Si ha *instabilità condizionale* quando una particella d'aria, se sollevatasi sufficientemente, diventa più calda dell'ambiente in cui si viene a trovare. Le mappe theta-E possono anche essere usate per una stima approssimativa dell'instabilità condizionale. A 500 hPa, la temperatura equivalente potenziale dell'aria è solo leggermente influenzata dalla quantità di umidità. Perciò è possibile diagnosticare instabilità condizionale se la theta-E al suolo è superiore di un po' più che qualche grado rispetto alla theta-E a 500 hPa. In prima battuta, si può affermare che maggiore è la differenza fra suolo e 500 hPa, maggiore sarà l'instabilità.

2) Le linee bianche e grigie rappresentano **la ripartizione verticale delle masse nuvolose**. Le linee grigie corrispondono a nubi di tipo convettivo (possibilità di temporali), e le linee bianche delimitano le nubi di tipo stratiforme.

In questa carta, come in altre viste prima, è visualizzata anche la quota della tropopausa. A proposito di quest'ultima, le stesse valutazioni fatte ora, ma ancora più affidabili, si possono fare confrontando la theta-E al suolo e la temperatura potenziale della tropopausa (tropopause potential temperature, tropopause theta). Laddove la theta-E al suolo è più calda della theta della tropopausa, vi sarà instabilità condizionale in tutta la colonna d'aria.

Avvezione di temperatura



Per finire, passiamo ad un'ultima carta, che ci fornisce due nuovi ulteriori parametri:

1) **L'avvezione orizzontale di vorticità assoluta**: è rappresentata da linee grigie continue (avvezione positiva) o tratteggiate (avvezione negativa). Abbiamo osservato nella prima parte del documento che questo parametro meteorologico molto *astratto* caratterizza le variazioni di rotazione di una particella su se stessa nel tempo. Si nota anche dalla carta che nelle zone con elevata avvezione di vorticità si avrà notevole dinamicità nell'atmosfera. Tale dinamicità sarà amplificata in presenza di cedimenti della tropopausa.

2) Le aree colorate danno un'indicazione sulle **variazioni di temperatura nel tempo**. Questo

parametro può essere utilizzato per completare, insieme ai parametri visti finora, una previsione sullo sviluppo di possibili temporali. Infatti, un'avvezione d'aria calda nei bassi strati può facilmente alimentare grandi movimenti convettivi dal momento che è accompagnata da una moderata anomalia nella tropopausa.

In questa carta è rappresentata anche la velocità verticale (frece bianche e nere), come pure l'altitudine della tropopausa.

CONCLUSIONE

Per fornire una previsione realistica, sia che essa venga fatta per semplice passione o a livello più professionale, occorre assolutamente armarsi:

- di molti parametri meteorologici, che andranno comparati, riadattati e associati tra di loro. Tentare ad esempio di prevedere un temporale facendo riferimento solamente ai parametri di LI e CAPE non è mai buona cosa.
- della propria esperienza, del feeling che si possiede con la propria zona, che vi permetteranno di prendere una decisione chiara e precisa, di avere una propria opinione sulla situazione, ecc.
- di molti modelli diversi, soprattutto se si ha a che fare con una proiezione a lungo termine, o se la situazione è particolarmente di difficile interpretazione.

E' importante individuare per prima cosa il tipo di carta da esaminare. Si comincia con una carta a risoluzione orizzontale su scala Europea, quindi ci si concentra sulla zona o sul fenomeno meteorologico che ci interessa particolarmente, e a quel punto approfondire mediante i modelli a risoluzione verticale ed i radiosondaggi. Si otterà a quel punto quasi una visione a tre dimensioni del fenomeno meteorologico da prevedere. Ed è quest'approccio rigoroso al fenomeno in questione che fa la differenza.

In conclusione, vi lasciamo sperando di aver fatto una cosa gradita, sia a coloro che stanno avvicinandosi solo ora a questa magnifica scienza, sia a quelli che già masticano un po' la materia ma che vogliono semplicemente approfondire certi temi o lo studio di qualche particolare carta finora poco conosciuta.

Ci riserviamo di approfondire meglio alcuni aspetti che qui abbiamo solo citato, e vale a dire l'analisi della situazione al suolo, lo studio dei fenomeni temporaleschi, l'interpretazione dei radiosondaggi, la lettura degli spaghi, ecc.

Questo voleva essere solo l'antipasto, di una raccolta di documenti, che si spera faciliteranno l'uso dei tanti strumenti che oramai Internet mette a disposizione di ogni appassionato.

Fatene buon uso, e **BUONA PREVISIONE!** 😊