

METODI DI PREVISIONE METEOROLOGICA

Le carte meteorologiche

Lo strumento fondamentale utilizzato per la formulazione delle previsioni a breve e medio termine è costituito dalle carte meteorologiche a grande scala (sinottica), relative alla situazione in atto e a quella prevista.

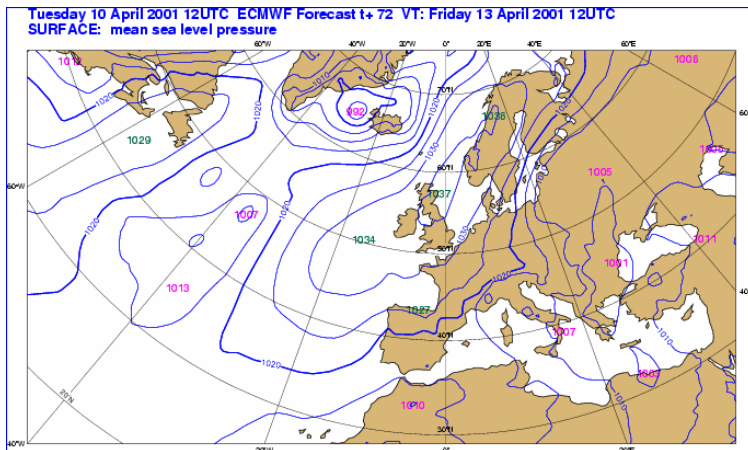


Fig. 1 Carta prevista emessa dalle ECMWF.

500 hPa e umidità relativa al livello di 700 hPa.

I dati elaborati dal centro meteorologico inglese vengono invece ricevuti dall'Aeronautica Militare Italiana, tramite linea telefonica e relativi sistemi di acquisizione (macchine vax-vms). Differenti sono i tipi di carte meteorologiche ricevute; si hanno a disposizione sia mappe di analisi al suolo e in quota (850, 700 e 500 hPa, corrispondenti ad un'altitudine di circa 1500, 3000 e 5500 metri rispettivamente), sia carte di previsione al suolo e in quota relative a diversi parametri meteorologici (pressione, pioggia, temperatura, vento, ecc.).

Parte dei dati può essere infine essere acquisita attraverso i radio sondaggi.

Il satellite meteorologico

Per le previsioni, oggi giorno si sfrutta tantissimo la tecnologia satellitare.

In particolare, il satellite meteorologico Meteosat 6 è un satellite geostazionario la cui orbita è situata sul piano equatoriale terrestre a 36.000 chilometri dalla Terra. A questa distanza, la sua velocità di rotazione è la stessa di quella terrestre (24 ore) e dunque esso si trova costantemente sulla verticale di uno stesso punto sopra il Golfo di Guinea a latitudine 0° e longitudine 0°.

Il satellite osserva la superficie, inviando a terra immagini di una vasta porzione del globo limitata ad occidente dall'America del sud e ad oriente dalla penisola arabica.

I radiometri a bordo del Meteosat 6 registrano la risposta radiativa della Terra (intesa come superficie più atmosfera) in tre differenti bande: visibile, infrarosso e vapore acqueo. Ogni 30 minuti, il satellite acquisisce un'immagine completa costituita da 9 differenti settori.

Il radiometro del "visibile" rileva la radiazione solare riflessa dalla superficie terrestre e da tutti i corpi interposti tra essa e il satellite, come ad esempio i corpi nuvolosi. La disponibilità delle immagini è quindi limitata unicamente alle ore diurne, quando è presente la sorgente luminosa solare. In tali immagini è possibile distinguere i differenti tipi di nuvolosità, la presenza di neve e, in alcuni casi, anche della nebbia.

Il sensore "infrarosso" rileva la quantità di calore emesso dalla Terra. Vengono così messe in evidenza le temperature dei differenti corpi nuvolosi, direttamente correlate con l'altezza degli stessi.

Infatti, nello strato di atmosfera prossimo alla superficie terrestre (troposfera) di altezza variabile tra i 10 e i 15 Km, la temperatura va generalmente diminuendo con la quota (a parte la presenza delle "inversioni termiche", tipiche della stagione invernale e alla base del fenomeno della nebbia in Val Padana). Quindi, a corpi (nubi) più alti, generalmente corrispondono temperature inferiori. Con questo sensore, che non necessita di nessuna fonte di illuminazione esterna, è possibile monitorare la situazione durante l'intero arco delle 24 ore.

Le immagini nel "vapore acqueo", il cui sensore possiede una banda centrata sulla frequenza principale di emissione del vapore acqueo (6.7 micron), forniscono una stima del contenuto di vapore presente in atmosfera, nei corpi nuvolosi.

Ciascuna modalità fornisce un'informazione complementare all'altra; sono necessari quindi tutti i tre i tipi di immagine per permettere di investigare la natura dei corpi nuvolosi, la loro fase di sviluppo e l'intensità dei fenomeni meteorologici connessi.

Le informazioni provenienti dai satelliti meteorologici forniscono un ausilio indispensabile all'attività di monitoraggio meteorologico, specie a brevissimo termine (nowcasting), a fianco del radar meteorologico, perché consentono, pur fornendo informazioni meno dettagliate, di acquisire una visione di insieme su vasta scala spaziale (le immagini correntemente utilizzate visualizzano l'intera Europa).

Tuttavia, possono essere un utile strumento anche per la previsione a medio termine (forecasting), in quanto consentono di "tarare" in tempo reale le dinamiche previste dai modelli meteorologici.

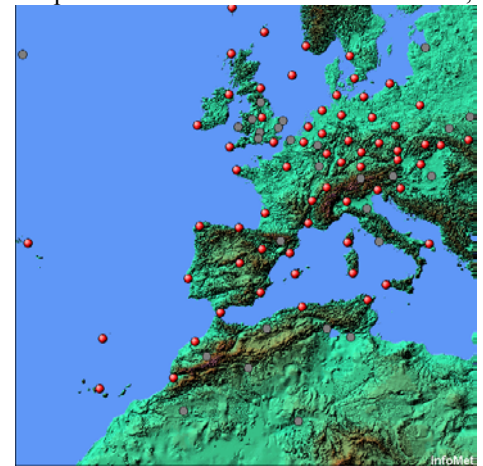


Fig. 2 Radiosondaggi in Europa.

METODI DI PREVISIONE METEOROLOGICA

vengono riflesse e ritornano al radar. La lunghezza d'onda emessa permette di "vedere" solamente gli ostacoli che hanno delle dimensioni particolari.

Il sistema è costituito da un sensore in banda C (corrispondente ad una lunghezza d'onda trasmessa pari a 5.5 centimetri), un sistema di trasmissione e ricezione (antenna) dei dati in tempo reale mediante ponte radio a microonde e un sistema software e hardware per l'elaborazione e la presentazione dei dati acquisiti.

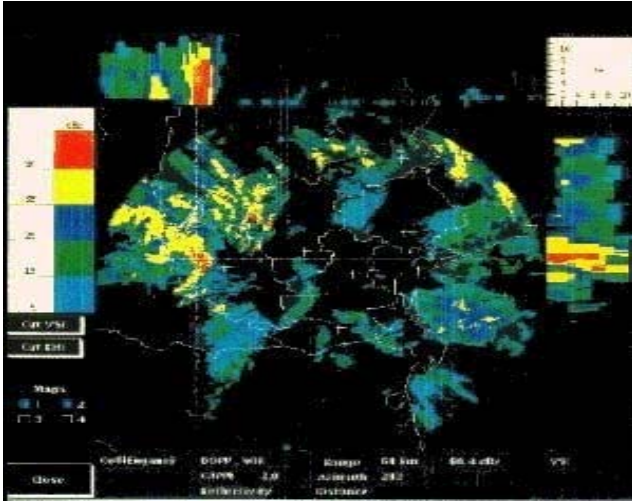


Fig. 5 Immagine doppler da un radar meteorologico.

Le goccioline d'acqua presenti nelle nubi, molto piccole, non possono essere rilevate; stessa sorte è destinata anche a tutti gli oggetti con dimensioni significativamente superiori a qualche centimetro. L'analisi dell'eco riflesso consente lo studio del tipo e della distribuzione nell'atmosfera delle meteore che lo hanno generato. La grandezza fondamentale misurata dal radar è la riflessività, che dipende dalla densità, dalle dimensioni e dallo stato fisico delle meteore presenti nel volume di atmosfera indagato. I valori di riflessività possono essere convertiti in valori di intensità di precipitazione, mediante l'utilizzo di opportuni algoritmi dipendenti dal tipo di precipitazione.

Il radar può essere inoltre multiparametrico, consentendo così all'operatore di effettuare un'analisi in di uno stesso evento meteorologico in base a diversi parametri, in modo da ottenere una stima più precisa dell'intensità di precipitazione o, in generale, un monitoraggio più dettagliato degli eventi meteorologici.

Due sono le modalità operative: la "normale" e la "doppler", con portate quantificabili grossomodo in circa 250 e 150 km

rispettivamente. Al diminuire della copertura, aumenta la risoluzione spaziale dei dati acquisiti. I valori delle grandezze misurate dal radar vengono riferiti a porzioni contigue di atmosfera, che, proiettate su un piano orizzontale, hanno le dimensioni di 2x2 km in modalità normale e 1x1 km in modalità doppler.

Quando il radar opera in modalità doppler è possibile misurare la velocità delle meteore e la loro turbolenza, in modo da acquisire informazioni sul campo di vento associato alla precipitazione e sull'eventuale presenza di moti vorticosi in aria "pulita", ossia priva di precipitazioni.

I dati radar vengono acquisiti ogni 15 minuti, e sono relativi ad un volume di atmosfera che si estende fino a 12 km di altezza s.l.m.

La rappresentazione delle grandezze avviene tramite immagini, nelle quali i diversi valori da esse assunti sono evidenziati tramite falsi colori, ciascuno dei quali corrisponde ad una determinata classe di valori. Si possono ottenere sezioni orizzontali (CAPP) dei volumi di dati raccolti, relative a diverse altezze dal suolo a partire da una quota minima di 1000 metri. Sono possibili inoltre delle sezioni verticali lungo direzioni arbitrarie scelte dall'operatore, delle proiezioni orizzontali dei massimi valori di riflessività misurati, le altezze massime alle quali si registrano gli echi, le altezze alle quali si registrano gli echi di maggiore intensità e i profili verticali della velocità del vento.

Le immagini, generate in tempo reale dal software, vengono utilizzate dal meteorologo per previsioni a brevissimo termine, ovvero il nowcasting. Esso rappresenta il settore più giovane e innovativo della meteorologia applicata e richiede input di elevato contenuto tecnologico e scientifico.

Fornendo una stima quantitativa della precipitazione in atto, con alta risoluzione spaziale, il radar permette la localizzazione molto precisa dei fenomeni di precipitazione. In tal modo vi è la possibilità di seguire l'evoluzione dei corpi nuvolosi precipitanti e di prevederne lo spostamento a distanza di poche ore. Queste informazioni risultano di grande utilità per Protezione Civile, Prefettura, Genio Civile, ecc. in situazioni meteorologiche particolarmente avverse.

Tutti i dati significativi vengono comunque archiviati e possono essere utilizzati per l'analisi di particolari eventi.

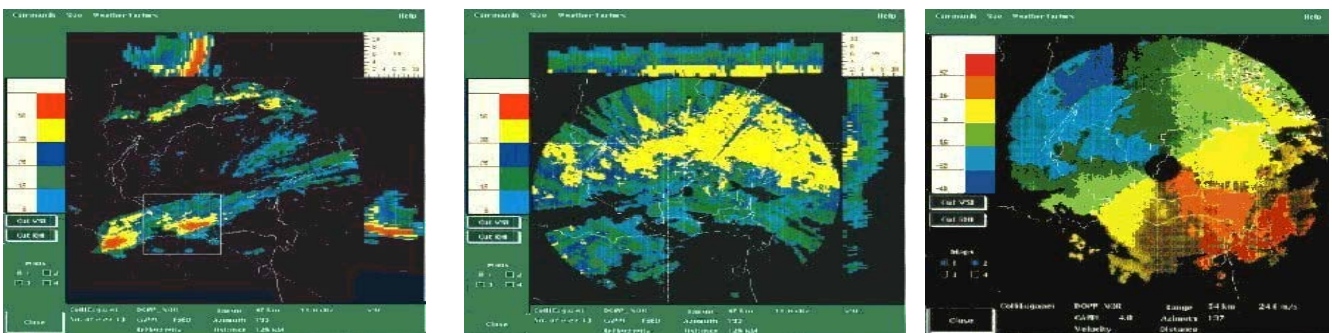


Fig. 6 Esempi di immagini radar (da sinistra a destra: 1, 2, 3).

1) Immagine doppler in cui si evidenzia nella parte in basso a sinistra la presenza di un sistema temporalesco a due celle tipico della stagione estiva. La scala dei colori rappresenta differenti valori di riflessività. Le celle hanno interessato la parte meridionale della regione Veneto il giorno 18 giugno 1997, con precipitazioni anche a carattere grandinino. Nelle parti superiore e laterale destra dell'immagine sono riportate le sezioni verticali della cella lungo la diagonale indicata. Esse

METODI DI PREVISIONE METEOROLOGICA

permettono di evidenziare il marcato sviluppo in altezza, con valori di riflessività molto elevati (in colore rosso) che si estendono anche oltre i 10 chilometri.

2) Immagine doppler di una precipitazione tipicamente autunnale, caratterizzata da uno sviluppo orizzontale elevato ma verticale ridotto. Come si può vedere dalle sezioni verticali, la parte più intensa del segnale (in colore giallo, quadrante in alto a destra) è limitata ad altezze inferiori ai 3 chilometri.

3) Immagine doppler del campo di vento. La scala dei colori rappresenta i valori delle velocità radiali (rispetto al radar) delle gocce d'acqua. La precipitazione in allontanamento dal radar è evidenziata da una colorazione azzurra (quadrante in alto a sinistra), quella in avvicinamento da una colorazione arancio (quadrante in basso a destra). Si può dedurre, quindi, che la direzione di provenienza del vento sia da sud-est.

Profili verticali del vento (VAD)

Un particolare software applicativo denominato VAD (Velocity Azimuth Display) permette di ottenere preziose informazioni riguardanti il campo di vento presente sulla verticale del sito radar. Nella figura viene evidenziato l'andamento della velocità (in metri al secondo) e della direzione (in gradi) del vento in funzione dell'altezza dal suolo espressa in chilometri. Si nota un rinforzo della velocità a partire da un'altezza di circa 2 chilometri con valori superiori ai 15 metri al secondo (54 Km/h) e una rotazione della direzione di provenienza del vento da nord-est nei bassi livelli fino a provenire da ovest-nord-ovest oltre i 3000 metri di quota.

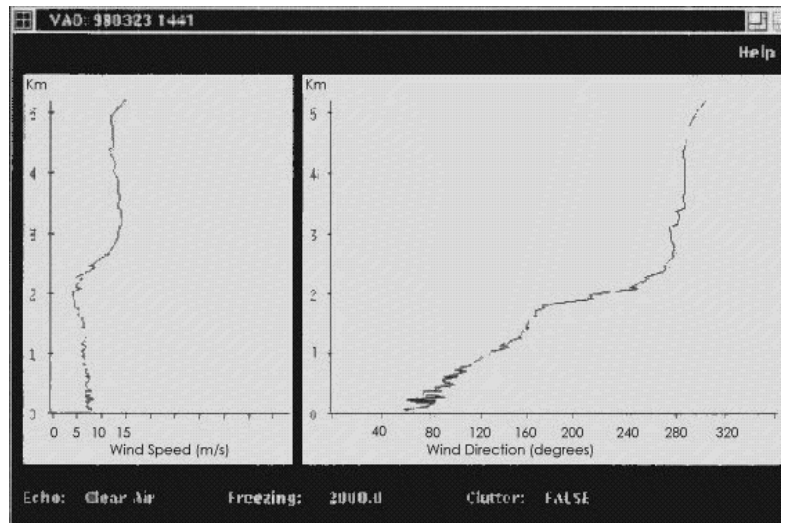


Fig. 7 Profili verticali del vento.

Andiamo ad esaminare la perturbazione che ha investito l'Abruzzo il primo Marzo del 2000. La scala graduata sulla destra indica il valore della riflettività (o precipitazione) in dBz con valori crescenti passando dal blu (nuvole dense, assenza di pioggia) al rosso (pioggia molto intensa). Nella mappa le zone in verde sono quelle in cui la pioggia è stata effettivamente misurata, le zone in rosso vicino al radar sono dovute al segnale di ritorno delle montagne vicine. Quest'eco indesiderato può essere facilmente eliminato mediante l'utilizzo di un filtro, nell'esempio abbiamo riportato

Come si legge una mappa radar

mappe non corrette che evidenziano la non felice posizione del radar che costringe a lavorare con angoli di elevazione molto alti. La caratteristica del è che PPI man mano che ci allontaniamo dal radar (centro della figura) la misura è presa ad una quota sempre più alta per cui diventa più difficile la correlazione con la pioggia a terra ad esempio nella zona di Ascoli a circa 70 Km dal radar la misura è presa a 8 Km di altezza. Un PPI è costituito da tanti raggi, un raggio a sua volta risulta diviso in bin (o gates) che costituisce la più piccola porzione di atmosfera "misurabile" (risoluzione spaziale). La risoluzione radiale del bin (Gatewidth) la scegliamo noi, quella azimutale è determinata dall'angolo di apertura del lobo principale (1.6 gradi). Chiaramente avremo bin via via più grossi man mano che ci allontaniamo dal radar.

Nella figura 8 possiamo inoltre vedere i parametri usati durante la misura: la frequenza di ripetizione degli impulsi è di 250 Hz, questo permette in teoria di avere un range non ambiguo pari a $0.5 \cdot c / PRF = 600$ Km, dove c la velocità della luce, la durata di ogni impulso è di 2 microsecondi e il numero di impulsi (samples) su cui medio per avere la misura su tutti i bin di un raggio è pari a 32. Il software EDGE permette di scegliere diverse mappe di sfondo, ognuna con un range diverso, nel nostro caso abbiamo una mappa a 120 Km ed essendo la risoluzione radiale di 500 metri, ogni raggio è

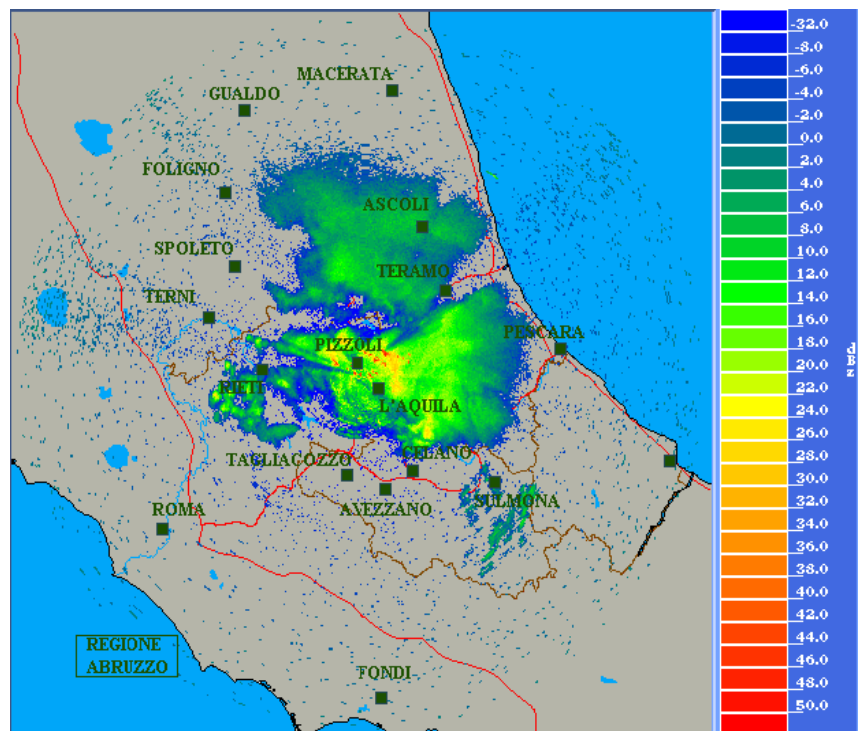


Fig. 8 Mappa radar. PPI INTENSITA' RANGE 120 Km, 01/03/2000 ORE 18.50; PRF: 250Hz, Elevazione: 6.5° GateWidth: 500m, PulseWidth: 2000ns, Samples: 32, Clutter Filter: Off, Gates: 240, Unfolding: Off.

METODI DI PREVISIONE METEOROLOGICA

costituito da 240 bin (o gates). Infine, come detto, non è stato usato alcun filtro di clutter, in grado di eliminare gli ostacoli fissi.

La sezione verticale (RHI) si ottiene mantenendo fisso l'angolo di azimut e facendo variare l'angolo di elevazione tra due valori predefiniti. Essa mostra lo sviluppo in quota della perturbazione, in questo caso possiamo vedere come l'altezza delle nubi precipitanti sfiori i 10 Km di altezza.

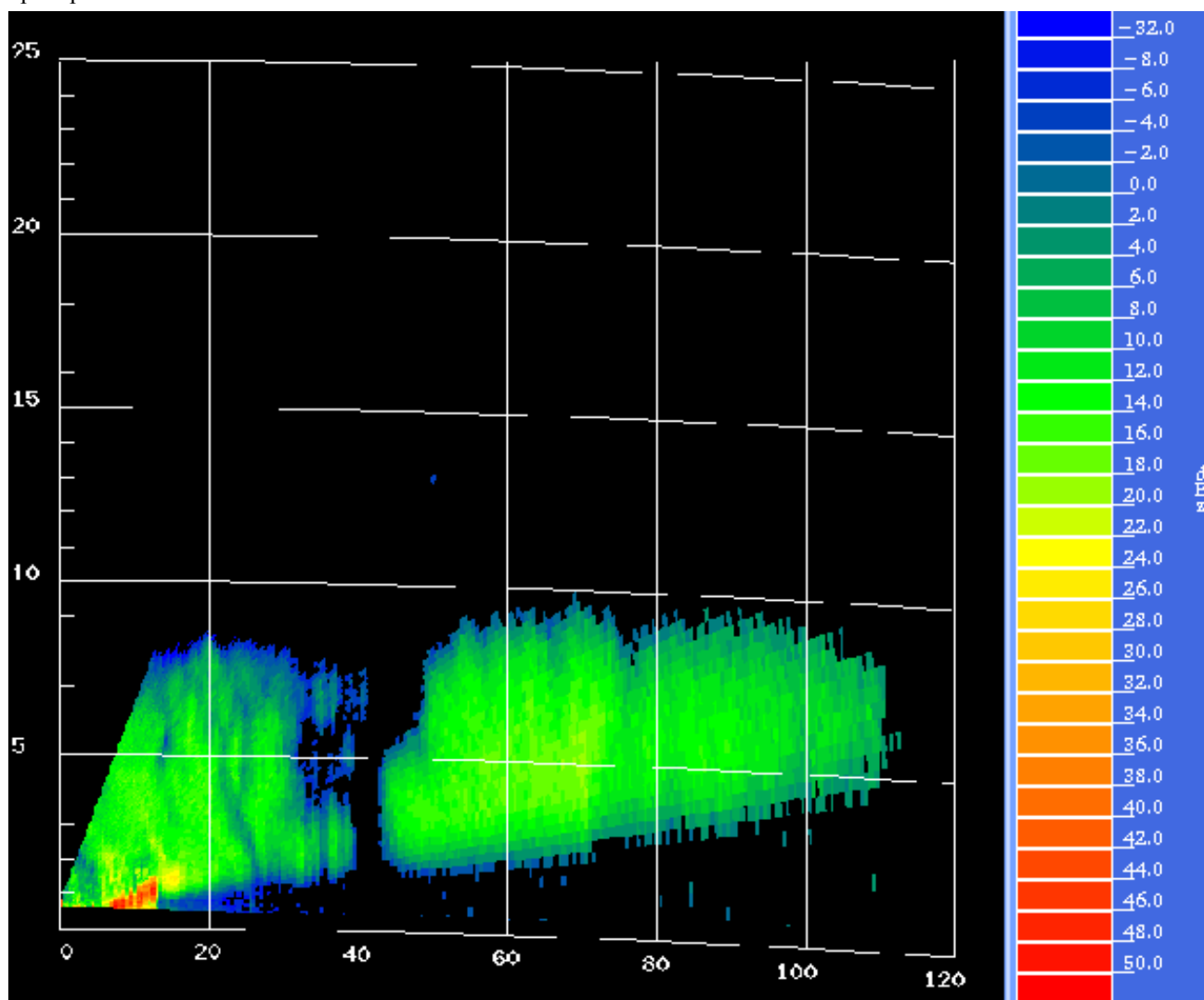


Fig. 9 Mappa radar. RHI INTENSITA' RANGE 120Km 01/03/2000 ORE 20.30; PRF: 250Hz, Azimuth: 10°, GateWidth: 500m, PulseWidth: 2000ns, Samples: 32, Clutter Filter: Off, Gates: 240, Unfolding: Off.

Un problema dei radaristi è collegare il valore della riflettività (Z), ossia della potenza retrodiffusa dalle idrometeorie con quello della pioggia effettivamente misurata a terra (R), nel nostro caso essendo il radar a singola polarizzazione purtroppo abbiamo solo un parametro utile per il calcolo della pioggia per cui si potrebbe usare una delle tante relazioni Z/R esistenti in letteratura e tentare una calibrazione con delle misure pluviometriche da terra. Comunque per capire meglio la scala di riflettività basta esaminare la seguente tabella in cui si è usata la nota relazione di Marshall-Palmer $z=200 R^{1.6}$ con z espresso in mm^6/m^3 e R in mm/h , poi per comodità di calcolo i mm^6/m^3 vengono trasformati in dBZ : $Z=10\log(z)$

RIFLETTIVITA' Z (dBZ)	PRECIPITAZIONE R (mm/h)	TIPOLOGIA
-30	-	Leggera nebbia o deboli nuvole, non ci sono precipitazioni
tra -30 e 20	-	Tipi di nuvole via via più dense, senza pioggia
20	<1	Pioggerella appena percettibile
30	3	Pioggia leggera
40	12	Pioggia media
50	50	Pioggia forte
55	100	Pioggia molto forte
tra 55 e 75	-	Pioggia mista a grandine
75	-	Grandinata molto violenta

METODI DI PREVISIONE METEOROLOGICA

Il radar doppler è in grado di misurare, oltre che l'intensità, anche la velocità radiale della perturbazione. Viene sfruttato l'effetto Doppler, ossia lo shift di frequenza che subisce un'onda elettromagnetica quando incontra un ostacolo in movimento, la misura dello shift permette di risalire alla velocità radiale del bersaglio. Nella figura è riportata una mappa della velocità radiale della perturbazione già vista precedentemente, il suo movimento è da ovest verso est, infatti a sinistra del radar, che si trova al centro della figura, c'è una prevalenza di colori viola/blu quindi la perturbazione va verso il radar (toward) a destra invece abbiamo colori gialli/rossi che indicano un allontanamento dal radar (away). Da notare che per misure di velocità siamo costretti ad aumentare la PRF, infatti la velocità massima misurabile è pari a $0.25 \cdot (PRF \cdot \lambda)$ con λ lunghezza d'onda della radiazione incidente: con una PRF di 250 Hz abbiamo una V_{max} pari a 3.4 m/s assolutamente insufficiente, con 1180 Hz arriviamo a 16 m/s. In figura in realtà $V_{max} = 32$ m/s, infatti è possibile alzare ulteriormente la massima velocità misurabile mandando alternativamente due PRF diverse.

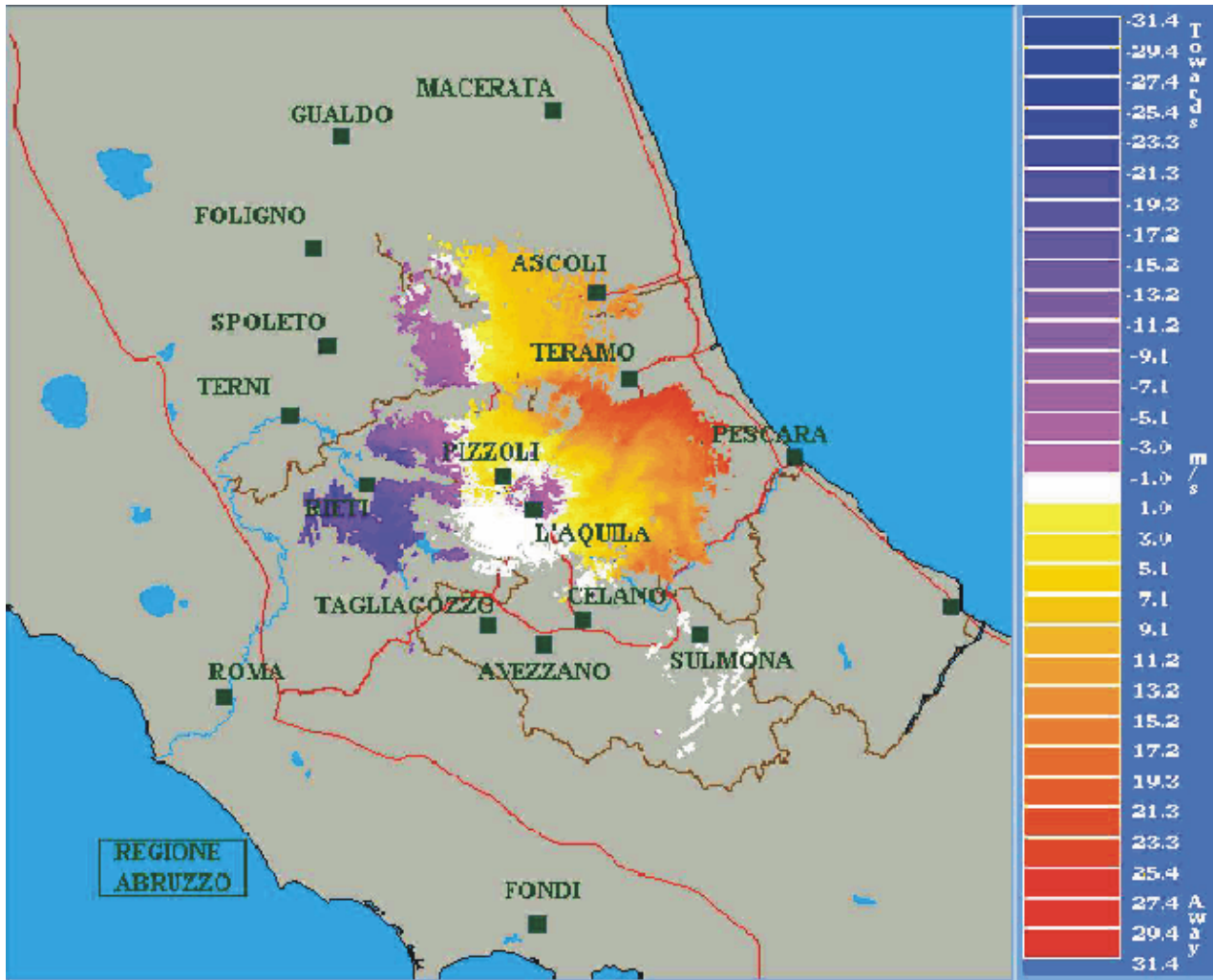


Fig. 10 Mappa radar. PPI VELOCITA' RANGE 120 Km 01/03/2000 ORE 17.30; PRF: 1180Hz, Elevazione: 6.5°, GateWidth: 250m, PulseWidth: 800ns, Samples: 64, Clutter Filter: Off, Gates : 480, Unfolding: 3/2.

Riferimenti Bibliografici

- Barry Chorley "Atmosphere, weather & climate" Ed. Routledge, Londra
- <http://apollo.lsc.vsc.edu/>
- <http://www.arpa.veneto.it/indice.htm>
- <http://www.ecmwf.int/charts/charts.html>
- <http://www.infomet.fcr.es/raob>
- <http://www.meteo.difesa.it/>
- <http://www.pstabruzzo.it/radar/sfond.html>
- <http://www.svt.es/meteosort/mapes.htm>
- Istituto Idrografico della Marina "Manuale dell'Ufficiale di Rotta"
- Kappenberger-Kerkmann "Il tempo in montagna" Ed. Zanichelli
- Sannino "Meteorologia Nautica" Ed. Italibri