

L'UTILIZZO DEL RADAR METEOROLOGICO DELLA REGIONE ABRUZZO PER FINALITÀ DI PROTEZIONE CIVILE

Errico PICCIOTTI (*), Emilio IANNARELLI (**), Alessandro CIMORONI (**),
Frank Silvio MARZANO (***)

(*) Himet s.r.l., L'Aquila, errico.picciotti@himet.it

(**) Centro Funzionale, Regione Abruzzo, centro.funzionale@regione.abruzzo.it

(***) DIE-CETEMPS, Università degli Studi dell'Aquila, marzano@die.uniroma1.it

Riassunto

Eventi meteorologici estremi, come ad esempio piogge violente o persistenti nel tempo, possono essere la causa di danni al territorio, con allagamenti ed esondazioni dei corsi d'acqua o causare fenomeni di dissesto idrogeologico, frane e smottamenti.

La possibilità di prevedere gli eventi meteorologici riveste una grande importanza in svariate attività umane, in quanto consente una corretta pianificazione delle stesse e permette inoltre di predisporre opportune misure per attenuare i danni.

L'attendibilità delle previsioni meteorologiche è progressivamente migliorata nel corso degli anni grazie alla conoscenza sempre più approfondita dei fenomeni meteorologici e alla possibilità di usare strumenti di rilevamento affidabili e strumenti di calcolo sempre più potenti.

Affinché le previsioni meteorologiche siano concretamente utilizzabili, con il massimo profitto, è necessario che vengano specificati l'istante e il luogo in cui si verificherà un determinato evento la sua probabile intensità e l'effetto al suolo.

Un notevole passo avanti in questa direzione è stato compiuto con l'introduzione del radar meteorologico.

Il radar meteorologico della Regione Abruzzo, sito a Monte Midia nei pressi di Tagliacozzo, rientra nel progetto della Protezione Civile Nazionale "Rete radar nazionale" che prevede il collocamento di 14 strutture simili in altrettanti punti dell'Italia Centrale e Meridionale. Lo scopo del progetto è quello di potenziare il sistema di monitoraggio e di fare un consistente salto di qualità nel settore delle previsioni meteo a brevissimo termine, portando alla creazione di un prodotto finale integrato e completo. Questo radar viene utilizzato per scopi di prevenzione del danno sia dalla Regione Abruzzo che da quelle limitrofe per l'ampio campo di copertura.

In questo lavoro verranno descritte alcune delle tecniche che vengono applicate al segnale radar sia per migliorare la stima della pioggia che la previsione di quello che accadrà nelle prossime ore, per migliorare il sistema di prevenzione contro i danni alla popolazione.

Abstract

Weather radar measurement of precipitation over mountainous terrain is of fundamental importance considering the sparseness of telemetered rain gauges in these remote areas. Some of these areas have a high frequency of large rainfall accumulations leading to catastrophic flood events. Early warning with the use of weather radar and distributed hydrologic modeling can help mitigate the high cost, in particular due to loss of life, associated with these flash flood hazards. Although modeling of the rainfall-runoff process is a problem in its own right, error in rainfall input is believed to be a major factor in flood simulation uncertainty. When rainfall data is based solely on

weather radar observations, which is the case for most of the remote mountainous watersheds, the uncertainty is high and cannot be ignored.

The orography of Central Italy is highly mountainous and its climatology is such that there is a predominance of low-to-moderate rainfall, having stratiform nature with high temporal persistence. Embedded convective rain may be also present mainly due to orographic effects (Marzano et al., 2004). During 2005 a new project for installing a C-band weather radar in Central Italy has been successfully accomplished.

The radar site is at the border between the Abruzzo and Lazio regions in Central Italy. Mt. Midia top height is at 1760 m and covering most Central Italy, including the Abruzzo inland and the urban area of Rome. The project, sponsored by the Italian Civil Protection Dept. (DPC), has been a synergic work, coordinated by the research center CETEMPS (L'Aquila, Italy) and the regional authorities (Civil Protection of the Abruzzo Region).

This paper investigates a multi-component radar rainfall estimation algorithm that includes optimum parameter estimation and error correction schemes associated with radar operation over mountainous terrain. Algorithm pre-processing steps include correction for terrain blocking, adjustment for rain attenuation, and interpolation of reflectivity data from polar radar coordinates to a fixed three-dimensional. Finally a nowcasting algorithm is discussed in order to forecast storm direction in the next hours..

The goal of this work is to improve the system monitoring and algorithm techniques in the field of weather forecasts for purposes of civil protection.

Il radar meteorologico

Il radar meteorologico permette di rilevare in tempo reale i fenomeni di precipitazione in atto, di misurare la velocità del vento e di fare previsioni per le prossime ore (nowcasting). Il suo impiego presenta sostanziali vantaggi rispetto a quanto si può ottenere con una rete di stazioni pluviometriche, il radar meteorologico offre infatti le seguenti opportunità:

- visione globale, in tempo reale, dei fenomeni di precipitazione in atto su un'area molto vasta;
- monitoraggio della precipitazione con continuità spaziale;
- elevata frequenza temporale dell'osservazione;
- analisi della precipitazione lungo sezioni verticali;
- osservazione dell'evoluzione del fenomeno.



Figura 1 – Il radar meteorologico di Monte Midia della Regione Abruzzo

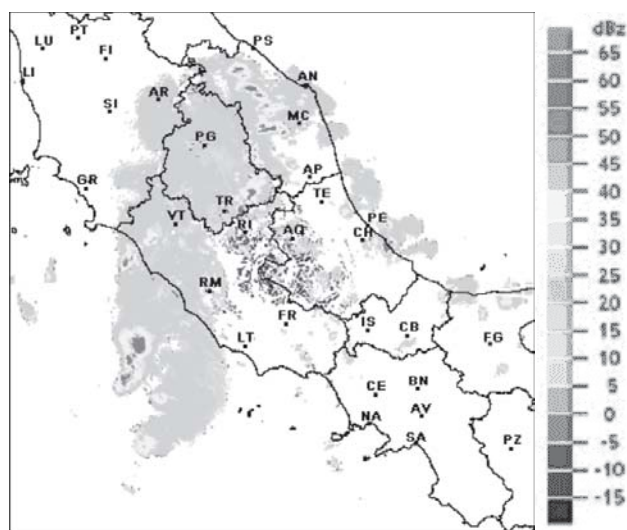


Figura 2 - Esempio di mappa dell'intensità della perturbazione acquisite dal radar di M. Midia

In definitiva il radar è uno strumento fondamentale per la previsione e la prevenzione del rischio idrogeologico in quanto i tempi che intercorrono tra l'osservazione dei precursori d'evento "classici" (misure idrometriche o pluviometriche) e gli effetti al suolo, sono minori di quelli richiesti per la definizione del relativo scenario d'evento e l'adozione delle misure per la messa in sicurezza della popolazione e dei beni. Conoscere in modo quantitativo i parametri atmosferici, in particolar modo l'intensità di precipitazione, la sua fase (acqua, neve, grandine), la tipologia dell'evento (convettivo o stratiforme), la dinamica spazio-temporale dell'evento, consente di stimare quali saranno i relativi effetti al suolo e le conseguenze per la popolazione e per la società più in generale.

Stima della precipitazione

Il principio di funzionamento di un radar può essere così schematizzato: vengono emessi di onde elettromagnetiche di elevata potenza nell'atmosfera lungo la direzione di puntamento dell'antenna che può variare sia in azimuth che in elevazione. I pacchetti di onde così emessi vengono assorbiti dalle idrometeore eventualmente presenti nell'atmosfera e re-irradiati in tutte le direzioni tra cui quella del radar. L'analisi del segnale di ritorno, che prende il nome di *riflettività* (indicata con la lettera *Z*), è effettuata nell'apparato ricevente del radar stesso e permette di ottenere *l'intensità della precipitazione*, mentre la direzione di puntamento dell'antenna e il tempo impiegato dal segnale nel percorso andata-ritorno consentono di localizzare le idrometeore in termini di direzione e distanza. Inoltre piccole variazioni nella frequenza dell'eco di ritorno permettono, attraverso l'effetto Doppler, di misurare la *velocità radiale* e quindi di stimare la direzione di *spostamento* dell'evento meteorologico, utilizzato per il nowcasting.

Per ottenere osservazioni sempre più affidabili e dettagliate al dato radar vengono applicate tecniche di elaborazione del segnale ricevuto (*riflettività*) per trasformarlo nella quantità di interesse, *millimetri di pioggia* (indicata con la lettera *R*).

La Protezione Civile della Regione Abruzzo ha sviluppato un sistema di elaborazione del segnale radar al fine di stimare al meglio i campi superficiali di precipitazione.

Tale sistema, che può essere sintetizzato attraverso il diagramma a blocchi di *Figura 3*, adotta in sequenza una procedura per la correzione del ground clutter, un algoritmo per la correzione dell'attenuazione e uno per la ricostruzione dei profili verticali di riflettività. L'ultimo passo si rende necessario per la riduzione del problema del blocco del fascio radar, per poter riportare le misure fatte a quote elevate a terra.

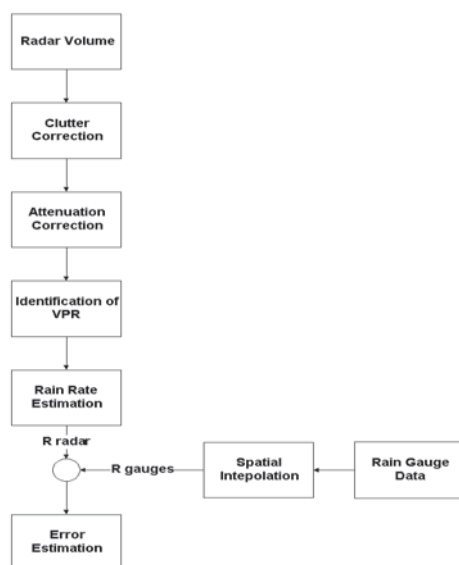


Figura 3 - Diagramma a blocchi che indica il sistema adottato per migliorare la stima della precipitazione

Successivamente si passa al calcolo del campo precipitativo a terra, a partire dai valori di riflettività più vicine al suolo. Il problema viene affrontato in letteratura utilizzando una relazione di inversione empirica del tipo $Z=a \cdot R^b$ [1] che tuttavia dipende da i due parametri (a, b) variabili nel corso dello stesso evento meteorologico.

La tecnica usata dalla Protezione Civile, prevede dopo il passaggio da Z (riflettività) a R (mm/h) tramite l'equazione [1] la correzione del campo di pioggia così trovato attraverso la comparazione con le misure pluviometriche. Più di 100 pluviometri sono disponibili nell'area di copertura del radar.

Ovviamente la diversa tipologia delle informazioni (distribuzione puntuale delle misure pluviometriche e continua di quelle radar) impone l'interpolazione dei dati radar e pluviometrici su uno stesso grigliato cartesiano, costituito nel nostro caso da 480x480 punti con risoluzione spaziale di un chilometro.

L'espressione che consente di passare dal valore pioggia non corretto R a quello corretto \hat{R} è del tipo [2]:

$$\hat{R}(i, j, t) = F \cdot R(i, j, t) \quad [2]$$

dove F è una funzione ottenuta con il confronto spazio temporale tra la misura pluviometrica e la stima radar, in ogni punto del grigliato (i,j). La espressione trovata è funzione della distanza dal radar (r), e viene calcolata tramite la regressione lineare [3].

$$F(r) = a_e e^{b_e r(i,j)} \quad [3]$$

Assumendo che le misure pluviometriche costituiscano il valore "vero", si è proceduto con la verifica sull'efficacia del metodo di stima della precipitazione valutando l'errore tramite il bias di campo medio (MFB) e l'errore frazionale standard (FSE) per vari eventi di pioggia stratiforme.

$$FSE = \left\langle \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_i^G - R_i^R)^2}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i^G} \right\rangle_{tempo} \quad MFB = \left\langle \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i^R}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i^G} \right\rangle_{tempo} \quad [4]$$

Nelle formule adottate per il calcolo della MFB e FSE, R^G ed R^R sono rispettivamente la pioggia misurata dal pluviometro e quella stimata dal radar in un generico punto del grigliato(i,j), N è il numero di punti in cui in un certo istante sono disponibili sia misure radar che pluviometriche. I valori così ottenuti vengono anche mediati nel tempo, per tutta la durata dell'evento.

Dai risultati della *Figura 4* risulta evidente come, con l'utilizzo della tecnica di correzione pluviometrica, la stima in millimetri orari migliora nettamente.

	CON F (calibrazione)	NO Cal. (senza calibrazione)
MRB	0.858	0.315
FSE	0.353	0.937

Figura 4 –Indice di errore prima e dopo l'uso della calibrazione, tramite MRB (valore ottimale uguale a uno) e FSE (valore ottimale uguale a zero)

Nowcasting

Il termine *nowcasting* è usato per enfatizzare il carattere estremamente breve della natura di questa previsione. L'intervallo temporale considerato varia, generalmente, da 10 minuti a 90 minuti.

Il fine ultimo è quello di produrre previsioni di fenomeni convettivi ad alto impatto come forti temporali, grandine e venti con un anticipo sufficiente e con una specificità spaziale in grado, attraverso azioni opportune, di mitigare i possibili danni. L'idea di fondo, quindi, è che il *nowcasting* sia uno strumento di fondamentale importanza nella gestione e nella prevenzione dei rischi.

Per previsioni a brevissimo termine i servizi meteorologici nazionali tendono a sviluppare e ad utilizzare metodi automatici non numerici che analizzano le caratteristiche del tempo all'istante attuale e predicono l'evoluzione di fenomeni già iniziati, basandosi fortemente sulle osservazioni, determinanti diventano le osservazioni da radar.

La tecnica di *nowcasting*, sviluppata dalla Protezione Civile della Regione Abruzzo, è impostata su due passaggi fondamentali: l'identificazione e il tracciamento dell'evento. L'aumento di complessità del metodo utilizzato è proporzionale al numero di parametri aggiunti a questo semplice schema. Si analizzano una serie di campi di riflettività radar per identificare aree precipitanti e tracciare strutture coerenti da un'immagine a quella seguente. Il sistema, quindi, estrapola il moto delle singole strutture identificate in maniera lineare per prevedere la loro posizione futura.

Nella *Figura 5* si può notare un confronto tra la pioggia prevista per le ore successive (zona inferiore - Predicted) e quello che poi è realmente accaduto (zona superiore - Observed).

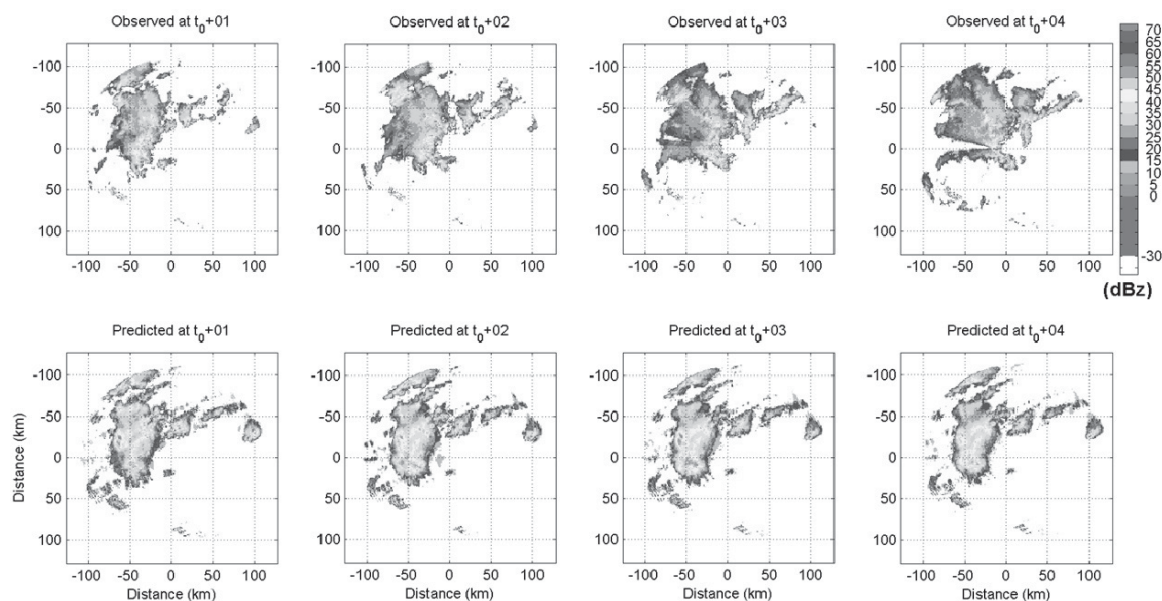


Figura 5 – Nowcasting: confronto tra la pioggia prevista (Predicted) per le ore successive (+1, +2, +3 e +4) e quella realmente caduta (Observed)

Conclusioni

Grazie alle metodologie sviluppate, la Protezione Civile della Regione Abruzzo ha reso più efficace l'utilizzo dello strumento radar sia per quanto riguarda la stima della precipitazione al suolo che per effettuare previsioni per le prossime ore (*nowcasting*). Questa tecnica è assai importante nel caso di fenomeni convettivi intensi.

In futuro la possibilità di utilizzare una strumentazione diversificata, rete di stazioni da terra e una rete di radar meteorologici, consentirà di realizzare uno studio completo dell'evento. Il tutto permetterà di formulare previsioni sempre più attendibili.

Riferimenti bibliografici

- Delrieu G, Andrieu H, e Creutin J.D. (1999), "Quantification of Path-Integrated Attenuation for X and C-Band Weather Radar Systems Operating in Mediterranean Heavy Rainfall", *Journal of Applied Meteorology*, 39, 840-850
- Gabella M, Notarpietro R. (April 2004), "Improving operational measurement of precipitation using radar in mountainous terrain- Part I: Methods", *IEEE Geosci. Rem. Sens.*, vol. 1, n. 2
- Germann U. e Joss J. (1999), "Operational measurement of precipitation in mountainous terrain", in *Advanced Applications of weather radar*, P. Meischner, Ed. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, vol.13, 1025-1043
- Maki M, Park S.G. e Bringi V.N (2005), "Effect on natural in rain drop size distributions on rain rate estimations of 3 cm wavelength polarimetric radar", *Journal Meteorological Society of Japan*, Vol.83, No 5, 871-893
- Marzano F.S, Picciotti E. e Vulpiani G. (2004), "Rain field and reflectivity vertical profile reconstruction from C-band radar volumetric data", *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens.*, vol. 42, n. 4, 1033-1046
- Picciotti E, Montopoli M, Gallese B, Cimoroni A, Ferrauto G, Ronzitti L, Mancini G, Volpi A, Sabatini F, Bernardini L. e Marzano F.S. (2006), "Rainfall mapping in complex orography from C-band radar at Mt. Midia in Central Italy: data synergy and adaptive algorithms", *Proceeding of ERAD 2006*, 341-344
- Picciotti E, Gallese B, Cimoroni A, Montopoli M, Telleschi A, Volpi A, Consalvi F, Cinque G. e Marzano F.S. (2008), "C-band radar precipitation measurements in mountainous region: comparison with raingauge fields and X-band radar data", *Proceeding of ERAD 2008*
- Serrar S, Delrieu G, Creutin J.D. e Uijlenhoet R. (2000), *Mountain reference technique*, "The use of mountain returns to calibrate weather radars operating at attenuating wavelengths", *J. Geoph. Res.*, 105, 2281-2290
- Steiner M, Smith J.A, Burges S.J, Alonso C.V. e Darden R.W. (1999), "Effect of bias adjustment and rain gauge data quality control on radar rainfall estimation", *Water Resources Research*, 35 (8), 2487-2503
- Steiner M, Houze R.A. e Yuter S.E. (1995), "Climatological Characterization of Three-Dimensional Storm Structure from Operational Radar and Rain Gauge Data", *J. Appl. Meteor.*, 34