

# APPROCCI FISICI ED EMPIRICI PER LA STIMA DI PRECIPITAZIONE DA MISURE DI RADOMETRI A MICROONDE SU SATELLITE

L. Pulvirenti, N. Pierdicca, G. d'Auria

Dipartimento di Ingegneria Elettronica, Università di Roma "La Sapienza"  
via Eudossiana 18 - 00184, Roma  
pulvirenti@mail.die.uniroma1.it, pierdicca@mail.die.uniroma1.it, dauria@mail.die.uniroma1.it

P. Ciotti, F.S. Marzano

Dip. di Ingegneria Elettrica – Centro di Eccellenza CETEMPS, Università dell'Aquila  
67040 Poggio di Roio, L'Aquila  
ciotti@ing.univaq.it, marzano@ing.univaq.it

P. Basili

Dipartimento di Ingegneria Elettronica e dell'Informazione, Università di Perugia  
via Duranti 93 06125, Perugia  
basili@diei.unipg.it

## Abstract

*A comparison between physical and empirical approaches to retrieve surface rain-rate from spaceborne microwave radiometric data is presented. The physical algorithm is based on a data set of simulated cloud structures and on a plane-parallel radiative transfer model to associate to each structure its microwave signature. The simulations train a Bayesian inversion scheme. The empirical approach is based on a training data set derived from coincident Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) data and the measurements obtained from a rain-gauge network placed along the river Tiber basin in Central Italy, during 9 years. Three empirical algorithms are proposed: a multivariate regression, a Neural Network technique, and the Maximum Likelihood method. The whole rain-rate database is divided in a training and test set for the purpose of comparing the performances of the various algorithms. The comparison is carried out at basin scale. Two algorithms available in literature are also included as benchmarks in the inter-comparison.*

## INTRODUZIONE

La radiometria a microonde da satellite rappresenta una tecnica molto utilizzata per la stima di vari parametri geofisici dell'atmosfera, tra cui la precipitazione prodotta da nube. Molti studi hanno evidenziato che una valutazione di tale parametro presenta parecchi problemi, soprattutto su terra, data lo scarso contrasto tra la temperatura di brillanza rilevata dal radiometro in situazioni di assenza di nube e quella in presenza di una nube non particolarmente estesa verticalmente (stratiforme). Per la stima di precipitazione da misure di radiometri a microonde su satellite possono essere seguiti due approcci: il primo fisico-statistico ed il secondo puramente empirico.

Il metodo fisico si basa sull'uso di un insieme di strutture verticali simulate di nube e di un modello elettromagnetico di trasferimento radiativo in atmosfera per associare all'insieme di profili di nube un insieme di temperature di brillanza simulate [1], [2].

Tale metodo considera il profilo verticale delle idrometeore costituenti la nube e delle variabili meteorologiche: temperatura (T), pressione (P) ed umidità relativa (Rh). Le prestazioni dipendono dall'accuratezza con cui sono valutati i parametri da inserire nella simulazione (T, P, Rh, emissività del terreno, altezza della nube) e l'implementazione può risultare complicata. L'approccio fisico può essere adottato se si ha a disposizione dati (informazioni a priori) mediante cui caratterizzare la geometria, la microfisica e la composizione dielettrica delle nubi (per es., pluviometri, radar meteorologici, misure in situ, osservazioni satellitari). Tale insieme deve essere sufficientemente esteso da rappresentare i vari tipi di precipitazione che avvengono nell'area d'interesse nelle diverse condizioni climatiche. In precedenti lavori è stato seguito l'approccio fisico utilizzando, per l'inversione delle misure radiometriche, il criterio *Bayesiano* della massima probabilità a posteriori (MAP) [1], [2].

Avendo attualmente a disposizione un insieme di misure pluviometriche, relative al bacino della valle del Tevere ed al periodo 1992-2000, accoppiate con i dati del radiometro spaziale *Special Sensor Microwave Imager* (SSM/I), si sono potuti sviluppare anche degli algoritmi empirici. In questo lavoro vengono proposte tre tecniche per la costruzione di tali algoritmi: una regressione multivariata, una rete neurale artificiale ed il criterio della massima verosimiglianza (ML).

Lo scopo del lavoro è confrontare le prestazioni dell'algoritmo fisico e di quelli empirici e verificare se l'utilizzo di un insieme di dati esteso, relativo ad un'area geografica limitata, migliora la capacità di rivelare la pioggia rispetto ad algoritmi di letteratura calibrati in zone geografiche diverse da quella di interesse. Il confronto è effettuato su scala di bacino, ossia calcolando la media della pioggia nell'area d'interesse, per superare problemi quali errori di geolocalizzazione del radiometro ed il fatto che si paragonano una misura areale istantanea (dato radiometrico) con una puntuale relativa ad un periodo di tempo (misura pluviometrica).

## DATI DISPONIBILI E ALGORITMI DI STIMA

La base di dati pluviometrica è costituita dalle misure di una rete situata lungo il bacino del Tevere. Tali dati contengono la precipitazione cumulata campionata due volte l'ora con una risoluzione temporale di 0.2 mm. Il numero di pluviometri attivi varia da 46 nel 1992 ad 86 nel 1995. L'area geografica coperta è di circa 17000 km<sup>2</sup>.

Il radiometro SSM/I rileva la temperatura di brillanza ( $T_B$ ) a 19, 37 ed 85 GHz in polarizzazione verticale ed orizzontale ed a 22 GHz nella sola polarizzazione verticale. Si trova su un'orbita eliosincrona quasi polare ad 890 km di altezza ed acquisisce dati con un angolo di osservazione di 53.1° off-nadir. La risoluzione spaziale varia da 69x43 km a per i canali a 19 GHz, a 15x13 km ad 85 GHz.

Per accoppiare i dati pluviometrici a quelli radiometrici, per ogni passaggio SSM/I è stato identificato il pixel più vicino a ciascun pluviometro con una distanza massima di 7 km. Considerando il campionamento temporale dei pluviometri, può esserci una differenza di tempi massima di  $\pm 15$  minuti. Per evitare la contaminazione delle coste, sono stati scartati sia i pluviometri accoppiati con pixel SSM/I di costa, che quelli per cui la variazione annuale delle  $T_B$  a 19 GHz superava un intervallo atteso. La base di dati costituita da misure di precipitazione e  $T_B$  è stata divisa in un insieme di allenamento ed in uno di test per paragonare le prestazioni dei diversi algoritmi.

L'approccio fisico è basato sulle uscite del modello microfisico UW-NMS e sul metodo di Monte Carlo utilizzato per effettuare una generazione statistica di strutture verticali

nuvolose dalle uscite del modello [1]. L'insieme di profili verticali così ottenuto è stato diviso in 9 classi [2]. Ciascun profilo è stato suddiviso in 7 strati con ogni strato caratterizzato da densità delle idrometeore, pressione (P), temperatura (T), umidità relativa (Rh) e spessore. Per determinare gli andamenti verticali medi mensili di T, P, Rh e la quota della sommità della nube è stato utilizzato un insieme di radiosondaggi. La quota della sommità della nube ricavata da radiosondaggi è stata controllata per mezzo dei dati del radiometro METEOSAT [3]. A ciascuna nube simulata è stato associato un vettore di  $T_B$  simulate (alle frequenze SSM/I) tramite un modello elettromagnetico di trasferimento radiativo in atmosfera piano-parallelo. In tale modello sono state inserite delle mappe mensili di emissività del terreno ottenute da misure SSM/I in atmosfera non diffondente per le quali è stato quindi possibile invertire l'equazione del trasferimento radiativo [3]. Come criterio di stima è stato adottato il MAP che si basa sulla conoscenza a priori delle proprietà statistiche (media e covarianza) di ogni classe di nube. Tali proprietà sono state derivate dalle simulazioni. Dettagli sul criterio MAP si trovano in [1] e [2].

Il primo metodo empirico proposto è una regressione multivariata. Considerando una regressione di secondo grado l'espressione dello stimatore regressivo ( $R_{POL}$ ) è:

$$R_{POL} = a_0 + \sum_{k=1}^7 (a_{1k} T_{Bk} + a_{2k} T_{Bk}^2) \quad (1)$$

Nella (1)  $a_0$ ,  $a_{1k}$  ed  $a_{2k}$  sono coefficienti e  $T_{Bk}$  è la  $T_B$  del  $k$ -esimo canale del radiometro.

Per l'approccio mediante Rete Neurale è stata usata una struttura alimentata in avanti (*feed-forward*) con uno strato nascosto di 8 neuroni. Come algoritmo di addestramento è stato scelto il metodo di Levenberg-Marquardt.

Per il criterio ML è stata effettuata un'analisi a sub-intervalli (*binned*) dell'insieme di allenamento [4]. La dinamica dell'intensità di precipitazione  $R$  è stata divisa in intervalli  $R(i)$  di 1 mm/h; per ciascun intervallo sono state considerate le  $T_B$  alle frequenze 37 ed 85 GHz in polarizzazione verticale ad esso associate e ne è stata fatta la media. Detto  $\langle \mathbf{t}(i) \rangle$  il vettore delle  $T_B$  medie relativo all'intervallo  $i$ -esimo, il criterio ML prevede la minimizzazione, rispetto ad  $R(i)$ , della seguente funzione:

$$[\mathbf{t}_m - \langle \mathbf{t}(i) \rangle]^T \mathbf{C}_i^{-1} [\mathbf{t}_m - \langle \mathbf{t}(i) \rangle] + \ln(\det(\mathbf{C}_i)) \quad (2)$$

dove  $\mathbf{t}_m$  è il vettore delle  $T_B$  misurate e  $\mathbf{C}_i$  è la matrice di covarianza delle per l'intervallo  $i$ -esimo.

Ai fini del confronto statistico, come algoritmi di letteratura sono stati considerati quello NOAA, descritto in [4], ed quello 2C, descritto in [5].

## ANALISI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Le prestazioni dei vari algoritmi sono state valutate a livello di medie sull'area di interesse (scala di bacino). I risultati sono riassunti in Tabella I. Si può notare che lo stimatore con rete neurale e quello con regressione forniscono dei buoni risultati, sia come correlazione che come errore quadratico medio (RMS). Le prestazioni degli algoritmi di letteratura sono anch'esse buone dal punto di vista della correlazione, ma l'errore RMS è più alto (superiore a 0.6 mm/h). L'algoritmo di massima verosimiglianza è quello che fornisce i risultati peggiori.

Tabella I. Analisi statistica dei risultati sul bacino del Tevere (1992-2000)

	Correlazione	Errore quadratico medio di stima
Regressione polinomiale ( $R_{POL}$ )	0.72	0.54
Rete Neurale (Rnn)	0.76	0.49
Massima Verosimiglianza (Rml)	0.64	0.84
MAP con approccio fisico (Rmap)	0.70	0.59
NOAA	0.69	0.67
2C	0.70	0.63

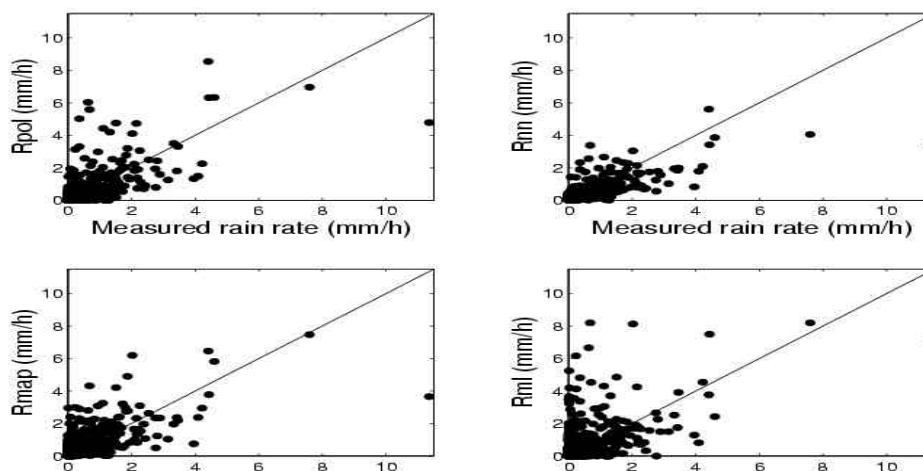


Fig. 1. Diagrammi di correlazione dei vari algoritmi empirici sul bacino del Tevere.

Il confronto misure-stime è illustrato, per gli algoritmi proposti, in Fig. 1 dalla quale si evince che rete neurale (Rnn) e stimatore regressivo (Rpol) presentano la tendenza a sottostimare le piogge alte. Con pioggia alta si comportano bene sia l'algoritmo fisico (Rmap) che quello di massima verosimiglianza (Rml), i quali tendono, però, (soprattutto ML) a sovrastimare le precipitazioni poco intense. L'approccio fisico pur dando risultati leggermente peggiori rispetto alla rete neurale, presenta il notevole vantaggio di essere di facile estensione essendo reperibili facilmente dati meteorologici in zone diverse da quella di calibrazione.

*Ringraziamenti:* tale lavoro è stato finanziato da ASI, MIUR e EU.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] N. Pierdicca, F.S. Marzano, G. d'Auria, Basili P., P. Ciotti, and A. Mugnai, "Precipitation retrieval from spaceborne microwave radiometers using maximum a posteriori probability estimation," *IEEE Trans. Geosci. and Rem. Sens.*, vol. 34, pp. 831-846, 1996.
- [2] G. d'Auria, F.S. Marzano, N. Pierdicca, R. Pinna Nossai, P. Basili and P. Ciotti, "Remotely sensing cloud properties from microwave radiometric observations by using a modeled cloud data base," *Radio Science*, vol. 33, pp. 369-392, 1998.
- [3] L. Pulvirenti, P. Castracane, G. d'Auria, N. Pierdicca, and F.S. Marzano, "A physical-statistical approach to match spaceborne microwave radiometric retrieval of rainfall to Mediterranean climatology", *Proc. of IGARSS-2001*, Sydney (AU), 9-13 July, 2001.
- [4] R. Ferraro and G.F. Marks, "The development of SSM/I rain-rate retrieval algorithms using ground-based radar measurements," *J. Atmos. and Oceanic Technology*, vol. 12, pp. 755-77, 1995.
- [5] M. Conner and G.W. Petty, "Validation and intercomparison of SSM/I rain rate retrieval methods over the Continental United States," *J. Appl. Meteor.*, vol. 37, pp. 679-700, 1998.