

IL PLUVIOMETRO ELETTROMAGNETICO: VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI MEDIANTE SIMULAZIONI RADAR

C. Capsoni, M. D'Amico, M. Pinotti

Dipartimento di Elettronica e Informazione, Politecnico di Milano

Piazza L. da Vinci, 32 Milano 20133

e-mail: damico@elet.polimi.it

Abstract

The performance of a new technique for the quantitative estimation of average rain rate using microwave attenuation is investigated through simulations on a database of radar maps. It is found that differential attenuation (i.e. the difference of the attenuations measured at two different frequencies) is more robust against variations of the DSD.

Introduzione

L'estrema violenza dei recenti episodi alluvionali ha messo in luce l'importanza – ai fini della protezione civile e della gestione degli impianti di drenaggio - della misura in tempo reale della precipitazione caduta al suolo. Nelle aree urbane e nelle valli montane l'utilizzo di radar e/o pluviometri può risultare però difficile o non conveniente.

Il Progetto MANTISSA – finanziato dalla Comunità Europea nell'ambito del V programma quadro – si pone come obiettivo lo sviluppo ed il collaudo di una nuova tecnica per la misurazione della precipitazione; detta tecnica fa uso di link radio a microonde di bassissima potenza, operanti nella banda 10–30 GHz: l'obiettivo è quello di stimare l'intensità media di pioggia lungo il percorso del collegamento radio a partire dalla misura dell'attenuazione.

In questa memoria verranno presentati i risultati di uno studio preliminare volto a valutare l'efficacia della nuova tecnica proposta, mediante simulazioni effettuate su mappe bidimensionali di pioggia raccolte da un radar meteorologico.

L'algoritmo di simulazione

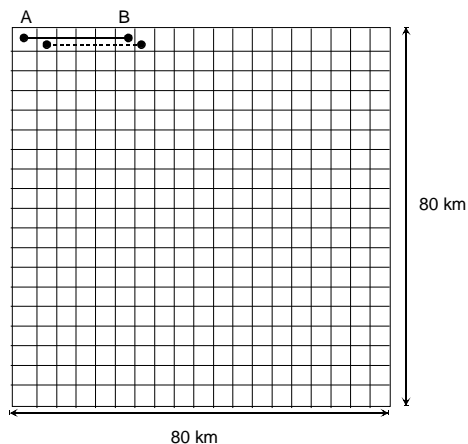


Figura 1

Il database utilizzato per le simulazioni è composto da 6678 mappe di precipitazione raccolte nel periodo febbraio-settembre 1989 dal radar meteorologico di Spino d'Adda (CR), relative a 25 eventi piovosi. La portata utile del radar supera i 150 km; per garantire una buona qualità del dato, la portata è stata limitata ad una finestra quadrata di 80 km di lato. La risoluzione delle mappe (convertite in formato cartesiano) è di $500 \times 500 \text{ m}^2$. La riflettività radar ($\text{mm}^6 \text{ m}^{-3}$) è stata convertita in intensità di pioggia R (mm h^{-1}) applicando la relazione standard $Z=200 R^{1.6}$, che

corrisponde alla distribuzione dei diametri di Marshall & Palmer [Mar48]. Questa relazione ha

μ	13.5GHz – (V)		24.1GHz (H)	
	k	α	k	α
-1	0.0281	1.1235	0.1268	1.0381
0	0.0248	1.1515	0.1157	1.0729
1	0.0227	1.1621	0.1104	1.0845
2	0.0213	1.1626	0.1079	1.0861
3	0.0205	1.1567	0.1069	1.0840

Tabella 1

la DSD selezionata utilizzano la relazione:

$$\gamma(R) = kR^\alpha \quad (1)$$

I coefficienti utilizzati per questo lavoro sono riportati in Tabella 1. L'attenuazione specifica viene quindi integrata lungo il percorso del link per ottenere l'attenuazione totale A_{tot} e quindi l'attenuazione media A :

$$A = \frac{A_{tot}}{L} = \frac{1}{L} \int_0^L \gamma(R(r)) dr = \frac{\Delta L}{N} \sum_{i=1}^N \gamma(R_i) \quad (2)$$

Nella eq. (2) R_i è il valore dell'intensità di pioggia relativa all'i-esimo pixel e ΔL è la dimensione (in km) del pixel; contestualmente viene valutata l'intensità di pioggia media \bar{R} “vera” sotto il link come

$$\bar{R} = \frac{1}{L} \int_0^L R(r) dr = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i \quad (3)$$

Calcolata l'attenuazione, il link radio viene rigidamente traslato sulla mappa di un pixel; le eq. (1), (2) e (3) sono ricalcolate per la nuova posizione, e la procedura viene reiterata per tutte le possibili posizioni del link sulla mappa radar e per tutte le mappe del database.

Viene così generata una lunga sequenza di coppie di A ed \bar{R} ; da A viene quindi ottenuta l'intensità media di pioggia stimata \hat{R} applicando la relazione “standard” $\hat{R} = cA^d$; in questo contesto “standard” vuol dire la relazione valida per la DSD di Marshall and Palmer. L'intensità di pioggia media stimata \hat{R} può essere infine confrontata con la “vera” \bar{R} .

Nel caso di link a doppia frequenza, \hat{R} viene valutata dall'attenuazione differenziale $\Delta A = A_1 - A_2$, dove A_1 è l'attenuazione media “misurata” alla frequenza più alta; in questo caso $\hat{R} = h(\Delta A)^g$. I coefficienti c , d , g e h sono riportati in Tabella 2.

Risultati

Per questo studio sono state considerate gocce di pioggia di forma sferoidale, con una distribuzione dei diametri di tipo gamma; la temperatura è stata assunta costante e pari a 10° C. Le frequenze selezionate sono 13.5 GHz (polarizzazione verticale) e 24.1 GHz

dimostrato di essere statisticamente valida per la pianura padana [Paw84].

Il link radio viene “collocato” sulla mappa radar (si veda la Figura 1); l'intensità di pioggia R viene convertita nell'attenuazione specifica γ alla frequenza di interesse e per la polarizzazione e

f= 13.5 GHz		f=24.1 GHz		Dual freq.	
c	d	c	d	g	h
0.8684	24.7919	0.9321	7.4649	0.9565	9.8694

Tabella 2

(polarizzazione orizzontale); questa combinazione di frequenze/polarizzazioni è quella che assicura la minima dispersione delle stime al variare del parametro

di forma μ della DSD [Hol01] nell'intervallo $(-1;3)$ [Hol01], rispettando l'allocatione del piano nazionale di ripartizione delle frequenze. La lunghezza L del link per le simulazioni qui presentate è di 3.6 km; i risultati comunque non dipendono in modo significativo da L .

Non sono riportati in questa sede (per ragioni di spazio) i risultati relativi ai link monofrequenza; si trova comunque una notevole sensibilità alle variazioni della DSD che normalmente, purtroppo, non è nota. In Figura 2 sono riportati i valori della intensità di pioggia media stimata \hat{R} in funzione della pioggia "vera" \bar{R} , utilizzando l'attenuazione differenziale. L'accordo che si trova è buono anche al variare della DSD, con la possibile eccezione della DSD gamma con $\mu=-1$.

Le curve di Figura 2 mostrano solo la relazione media esistente tra \hat{R} e \bar{R} , ma non danno informazioni circa la dispersione delle stime attorno al valor medio. Per investigare più approfonditamente questo aspetto, abbiamo suddiviso l'intensità di precipitazione in intervalli limitati. Come esempio, la Figura 3 mostra, per \bar{R} compresa nell'intervallo $(21.5; 25.1)$ mm/h, i valori di pioggia media stimata \hat{R} per diversi valori del parametro μ , e per diverse frequenze o combinazioni di frequenze (linee orizzontali). Le linee a tratto spesso indicano l'intervallo in cui cade il 95% dei campioni. Dalla Figura 3 si evince come la stima presenti una significativa dispersione attorno al valor medio, se viene utilizzata una sola frequenza; detto valor medio può essere inoltre polarizzato rispetto al valore effettivo. Utilizzando due frequenze (e quindi l'attenuazione differenziale) tale dispersione si riduce drasticamente, e così anche la polarizzazione. Questo risultato è confermato anche per altri intervalli di intensità di pioggia.

Conclusioni

I confronti tra intensità di pioggia media stimata \hat{R} (da un collegamento radio utilizzato come pluviometro elettromagnetico) e "vera" \bar{R} sono stati effettuati sia per link monofrequenza che per link bifrequenza.

Riassumendo i risultati è possibile affermare che:

- 1) le stime dipendono sensibilmente dalla DSD nel caso di link monofrequenza a 13.5 GHz; la dispersione si riduce nel caso di link monofrequenza a 24 GHz;
- 2) le stime migliorano sensibilmente se è disponibile l'attenuazione differenziale;
- 3) in caso di forti precipitazioni il link a 24 GHz, se di una certa lunghezza, può essere fuori servizio; in questo caso è possibile continuare utilizzare il link a 13.5 GHz per effettuare stime di R .

In sintesi, la tecnica sembra promettente; restano da valutare le problematiche legate alla misura e l'impatto di fenomeni propagativi quali multipath, variazioni dei livelli di assorbimento dei gas atmosferici, ecc.

Bibliografia

- [Hol01] A.R. Holt, private communication, 2001.
- [Mar48] J.S. Marshall., and W.M. Palmer, “The Distribution of Raindrops with Size”, Journal of Meteorology, Vol. 5, pp. 165-166, 1948.
- [Paw84] A. Pawlina Bonati, “Some Features of Ground Rain Patterns Measured by Radar in North Italy”, Radio Science, Vol. 19, No. 3, pp.855-861, 1984.

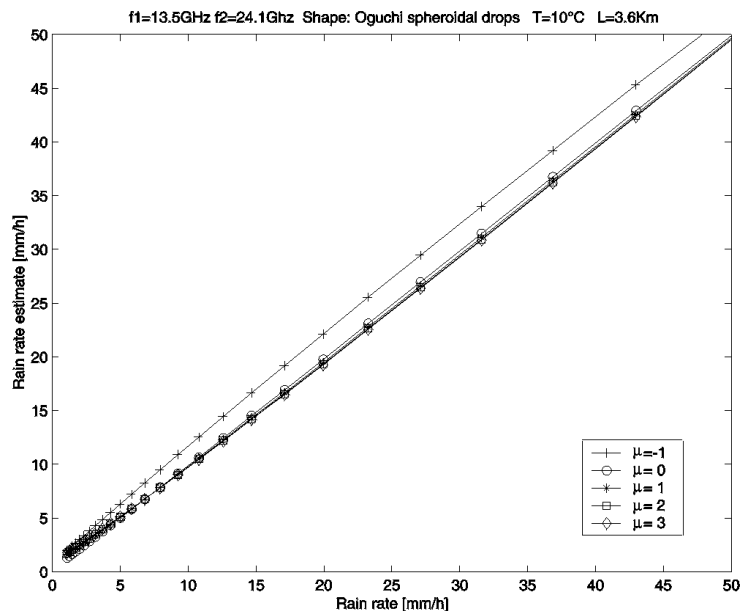


Figura 2

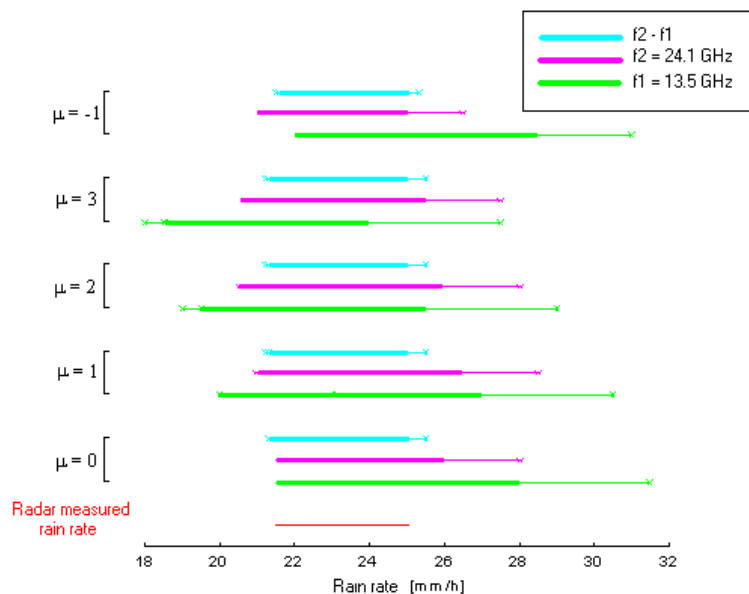


Figura 3