

CONFRONTO TRA CRITERI ED ALGORITMI PER LA STIMA DI PARAMETRI GEOFISICI DEL SUOLO NUDO CON MISURE SAR POLARIMETRICHE

N. Pierdicca , P. Castracane

Dipartimento di Ingegneria Elettronica, Univ. di Roma "La Sapienza"

via Eudossiana 18, 00184 Roma

nazzareno.pierdicca@uniroma1.it, castracane@mail.die.uniroma1.it

P. Ciotti,

Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Univ. dell'Aquila

67040 Poggio di Roio, L'Aquila

p.ciotti@ing.univaq.it

Abstract

The aim of the work is the estimation of bare soil geophysical parameters (i.e., standard deviation of roughness height s , length of correlation l and soil moisture m_v) using polarimetric SAR data. Two direct models have been implemented to simulate the radar measurements and have been introduced in an inversion scheme. The methods have been tested on simulated data where speckle effects and model errors were taken into account. A correlation between the roughness parameters, as it can be expected in real measures, has been imposed in the simulation in order to evaluate its effect on the estimation accuracy. Different inversion algorithms based on a Bayesian approach, developed with simple optimization-integration procedures, have been compared to neural networks. The comparison has assessed the accuracy achievable by different radar system configurations. Polarimetric data acquired during MAC Europe and SIR-C campaigns, over selected bare soil fields, has been processed to show preliminary estimation results.

INTRODUZIONE

Le misure di retrodiffusione radar sono sensibili ai parametri del suolo nudo (deviazione standard della rugosità s , lunghezza di correlazione l e umidità m_v), ma l'influenza concomitante dei tre parametri e di altri effetti non noti a priori (inclusi gli errori di misura) rende la loro determinazione ancora problematica. La disponibilità di misure radar multiparametro (diverse frequenze e polarizzazioni) è una condizione necessaria per una stima quantitativamente accurata. Mentre nel passato si è verificata solo in occasione di specifici esperimenti, l'insieme delle missioni previste nel prossimo futuro (Envisat, ALOS, RADARSAT) la realizzeranno almeno in parte. Questo lavoro riguarda le metodologie di inversione di modelli elettromagnetici di retrodiffusione da superfici rugose per stimare i parametri del suolo. Ci si riferisce a misure radar polarimetriche e a dati sia simulati che misurati nell'ambito delle campagne sperimentali MAC Europe e X-SAR/SIR-C.

Le misure SAR polarimetriche sono state simulate implementando due modelli diretti, il modello IEM (Integral Equation Model) [1] ed un modello semiempirico SEM [2]. I modelli forniscono un dataset $\{C; s, l, m_v\}$ di matrici di covarianza C associate ai parametri geofisici s, l, m_v che sono stati generati con distribuzione statistica uniforme. Il set di misure simulate $\{Z; s, l, m_v\}$ è stato creato, per dati a singolo look e multi-look, attraverso la tecnica descritta da Lee et al. [3]. Il set di training tiene pertanto conto delle differenze tra Z e C dovute alle fluttuazioni intrinseche delle misure radar. Un rumore additivo può

essere anche aggiunto alle misure simulate per considerare gli errori di calibrazione e/o del modello diretto in modo da valutarne gli effetti sull'accuratezza delle stime.

TECNICHE BAYESIANE PER L'INVERSIONE DEI MODELLI DIRETTI

Se indichiamo con \mathbf{x} il vettore complesso i cui elementi sono i tre termini indipendenti della matrice di scattering (s_{hh} , s_{vv} , s_{hv}), la stima della matrice di covarianza \mathbf{Z} effettuata da un radar polarimetro che media un numero n di campioni indipendenti è data dalla relazione:

$$\mathbf{A} = n\mathbf{Z} = \sum_{k=1}^n \mathbf{x}(k)\mathbf{x}(k)^+ \quad (1)$$

La matrice \mathbf{A} ha una distribuzione statistica di Wishart complessa. Per un suolo a cui è associabile una matrice di covarianza \mathbf{C} , le misure \mathbf{A} hanno la seguente densità di probabilità [3]:

$$p(\mathbf{A} | \mathbf{C}) = \frac{|\mathbf{A}|^{n-q} \exp[-\text{Tr}(\mathbf{C}^{-1}\mathbf{A})]}{K(n, q)|\mathbf{C}|^n} \quad (2)$$

Pertanto è possibile facilmente ricavare le espressioni che corrispondono a due criteri di stima dei parametri del suolo secondo l'approccio Bayesiano. Se indichiamo con \mathbf{Q} il vettore contenente i tre parametri da stimare, il criterio di Massima Probabilità a Posteriori (MAP) corrisponde a massimizzare la probabilità $p(\mathbf{Q}|\mathbf{Z})$ del parametro condizionato alla misura \mathbf{Z} . Applicando il teorema di Bayes e calcolando il logaritmo, tale criterio corrisponde a minimizzare la seguente distanza rispetto a s , l , m_v :

$$d(\mathbf{Z}; m_v, s, l) = n[\ln|\mathbf{C}_Q| + \text{Tr}(\mathbf{C}_Q^{-1}\mathbf{Z})] - \ln[p(\mathbf{T})] \quad (3)$$

Se invece vogliamo minimizzare la varianza dell'errore di stima, è noto dalla teoria Bayesiana che dobbiamo ricavare il valore atteso di $p(\mathbf{Q}|\mathbf{Z})$. Di nuovo, con semplici passaggi, si ricava la seguente espressione per un generico elemento $q(i)$ ($i=1, 2, 3$) di \mathbf{Q} :

$$\hat{q}(i) = \frac{\int q(i) \cdot \exp[-d(\mathbf{Z}; \mathbf{T})] \cdot d^3\mathbf{T}}{\int \exp[-d(\mathbf{Z}; \mathbf{T})] \cdot d^3\mathbf{T}} \quad (4)$$

La probabilità a priori del parametro $p(\mathbf{Q})=p(s, l, m_v)$ non è generalmente disponibile, a meno di qualche informazione sui valori estremi. Se i tre parametri sono indipendenti statisticamente si può allora assumere $p(s, l, m_v)$ sia il prodotto di tre funzioni rettangolari. Assumendo che l'umidità del suolo sia un parametro indipendente, i parametri di rugosità s ed l possono talvolta essere considerati statisticamente dipendenti. Recenti analisi hanno mostrato che essi dipendono dalla lunghezza e dalla risoluzione dei profilometri utilizzati

per le misure a terra [4]. Tale informazione a priori è gestibile nell'approccio Bayesiano assumendo che la probabilità congiunta diventi:

$$p(s, l, m_v) = p(m_v) \cdot p(s) \cdot p(l|s) \quad (5)$$

dove m_v e s sono ancora generati indipendenti e con densità di probabilità rettangolare, mentre l è generato considerando la sua correlazione con s .

RISULTATI E CONCLUSIONI

I criteri prima illustrati, implementati con semplici procedure di ottimizzazione ed integrazione, insieme alla nota tecnica di regressione lineare multivariata e all'uso delle reti neurali (NN), sono stati oggetto di un confronto sia utilizzando le misure simulate che un certo numero di dati sperimentali. Le stime sono state confrontate con i valori veri (simulati o misurati) in base al bias e alla deviazione standard dell'errore (ovvero a tale quantità normalizzata alla deviazione standard dei parametri nel dataset simulato). Evidentemente tale parametro di qualità tende a far preferire i criteri che minimizzano la varianza dell'errore di stima. Ci limitiamo ad illustrare alcuni dei risultati ottenuti.

Le reti neurali forniscono i risultati migliori usando le simulazioni, mentre la regressione polinomiale (5° grado) fornisce i risultati meno accurati. Con l'introduzione di una informazione a priori riguardante una correlazione lineare tra s ed l le stime dei parametri ottenute con i criteri MAP e MV diventano paragonabili a quelle delle NN. Le analisi hanno inoltre fornito informazioni sulle migliori configurazioni del sistema radar per la stima dei parametri del suolo nudo. La banda L, dal confronto con le altre singole frequenze, risulta la più idonea. Angoli di incidenza bassi, in particolare 20°, forniscono stime più accurate per s ed l , ma la loro accuratezza è ridotta, in modo più sensibile rispetto ad angoli maggiori, quando si introduce l'errore additivo di modello/calibrazione. Livelli di accuratezza accettabili si ottengono con analisi multifrequenza e con misure mediate su un'area sufficientemente estesa.

Le uscite del modello di inversione sono state comparate con i dati polarimetrici del sensore AIRSAR (JPL/NASA) usato durante la missione MAC Europe e con i dati SIR-C acquisiti sulla regione di test di Montespertoli, Firenze. Tre bande (P,L,C) erano disponibili dall'AIRSAR e due (L,C) dal SIR-C più la banda X a singola polarizzazione. Alcuni campi di suolo nudo, caratterizzati da lavorazioni agricole differenti e quindi diverse rugosità, sono stati presi in considerazione per l'esperimento. Le simulazioni del SEM riproducono discretamente le misure di backscattering sulle superfici selezionate come mostrato in figura 1. Si osservano dei *bias* su ogni canale (frequenza/polarizzazione) dell'ordine di +1.5/2.4 dB per le misure MAC e -2.7/2.3 dB per le misure SIR-C. Le simulazioni IEM danno risultati meno comparabili con le misure, probabilmente a causa della loro maggiore sensibilità al parametro l , le cui misure a terra sono affette da notevoli incertezze. Le stime dei parametri geofisici ottenuti con il criterio di minima varianza e in base al modello diretto SEM sono presentate in figura 1. I valori stimati presentano un buon accordo con quelli misurati, s ed l sono leggermente sovrastimati rispetto ai loro valori misurati a terra. Si precisa che i *bias* prima citati sono stati rimossi, ma i risultati in presenza di *bias* non peggiorano sensibilmente per s e m_v .

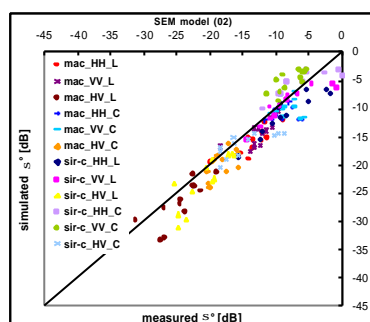


Figura 1. Confronto tra coefficienti di retrodiffusione simulati mediante il modello SEM rispetto a quelli misurati nel corso degli esperimento MAC Europe e SIR-C su tre campi di suolo nudo con rugosità controllata e nelle diverse frequenze e polarizzazioni (non è presente la banda P in quanto fuori dei limiti di applicabilità del modello)

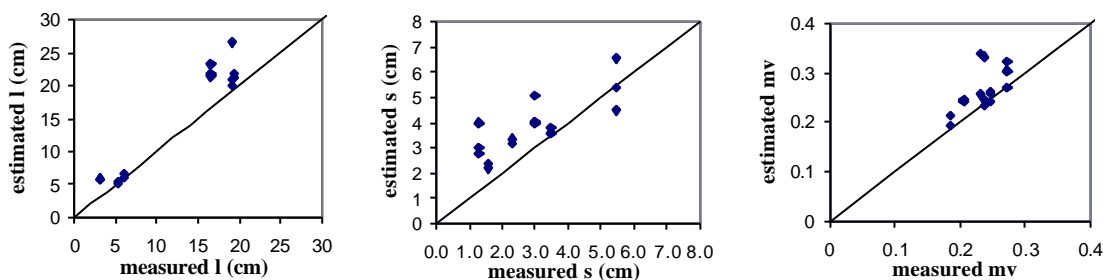


Figura 2. Scatterplot dei parametrici stimati con il criterio MV in funzione delle misure a terra per le campagne MAC a SIR-C (bande L e C)

RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] C. Y Hsieh, A. K. Fung, G. Nesti, A. J. Sieber, and P. Coppo, "A further study of the IEM surface scattering model" *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing* 35, N 4 pp. 901-909, 1997.
- [2] Y. Oh, K. Sarabandi, and F. T. Ulaby, "An empirical model and an inversion technique for radar scattering from bare soil surfaces", *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing* 30, pp. 370-381, 1992.
- [3] J. S. Lee, M. R. Grunes, and R. Kwok, "Classification of multi-look polarimetric SAR imagery based on complex Wishart distribution", *Int. J. of Remote Sensing* 15, pp 2299-2311, 1994.
- [4] M.W.J Davidson, T.Le Toan, F. Mattia, G. Satalino, T. Manninen and M. Borgeaud, "On the characterization of agricultural soil roughness for radar remote sensing studies", *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing* 38, pp. 630-640, 2000.