

SIMULAZIONE DELLA TEMPERATURA DI BRILLANZA DELLA SUPERFICIE TERRESTRE: VALIDAZIONI DI MODELLI APPLICATI ALLA CALIBRAZIONE DI SENSORI SATELLITARI

N. Pierdicca, P. Castracane, L. Pulvirenti

Dipartimento di Ingegneria Elettronica, Univ. di Roma "La Sapienza"
via Eudossiana 18, 00184 Roma
nazzareno.pierdicca@uniroma1.it, castracane@mail.die.uniroma1.it, pulvirenti@mail.die.uniroma1.it

B. Greco
European Space Agency/ESRIN
Via Galileo Galilei, 00044 Frascati
Bruno.Greco@esrin.esa.it

P. Ferrazzoli, L. Guerriero, G. Schiavon
Dipartimento di Informatica, Sistemi e Produzione, Univ. Di Roma Tor Vergata,
via del Politecnico 1, 00133 Roma
ferrazzoli@disp.uniroma2.it, guerriero@disp.uniroma2.it, schiavon@disp.uniroma2.it

P. Ciotti, F. S. Marzano
Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Univ. dell'Aquila
67040 Poggio di Roio, L'Aquila
p.ciotti@ing.univaq.it, f.marzano@ing.univaq.it

P. Basili, S. Bonafoni, V. Mattioli
Dipartimento di Ingegneria Elettronica e dell'Informazione, Univ. di Perugia
via Duranti 93 06125, Perugia
basili@istel.ing.unipg.it, bonafoni@istel.ing.unipg.it, mattioli@diei.unipg.it

Abstract

The Passive Calibration of the radar altimeter consists in characterising the receiver by observing natural surfaces with known emission in the so-called noise-sensing mode. The paper focuses on the general approach undertaken to simulate the brightness temperature at the top of the atmosphere observed by the Envisat Radar Altimeter (RA-2). It is based on emissivity models for land and sea as well as atmospheric radiation models supported by a continuous flow of on-line data used as model inputs

INTRODUZIONE

La simulazione mediante modelli elettromagnetici della temperatura di brillantezza osservata da un'antenna ed un ricevitore posti su satellite ha un ruolo fondamentale nel telerilevamento della superficie e dell'atmosfera stessa. Le applicazioni della radiometria, in particolare di quella a microonde, sono diverse (meteorologia, precipitazioni, temperatura, umidità, etc.) ed attualmente esistono diverse missioni satellitari che

trasportano radiometri a microonde utilizzabili a tali scopi (DMSP-SSM/I, TRMM-TMI, ERS-MWR, Envisat-MWR). Tali simulazioni possono anche trovare applicazione nell'ambito del telerilevamento radar. Questo aspetto è oggetto attualmente di una attività di ricerca nell'ambito di un progetto dell'Agenzia Spaziale Europea riguardante la calibrazione delle misure di coefficiente di retrodiffusione radar σ° del Radar Altimetro (RA-2) a bordo del satellite Envisat [1] [2]. RA-2 osserva la superficie con puntamento geodetico in banda S e Ku [1]. L'idea alla base di tale esperimento parte dalla considerazione che l'equazione radar, che deve essere invertita per ottenere valori calibrati di σ° , contiene parametri del sistema trasmittente solitamente noti con sufficiente accuratezza a partire dalla caratterizzazione a terra del radar, o comunque controllati con continuità. Le caratteristiche del sistema ricevente sono invece meno note e possono variare nel corso della missione. La ipotesi che si intende verificare nel corso della fase di *commissioning* (primi sei mesi) della missione Envisat, è la possibilità di caratterizzare il ricevitore del radar RA-2 operando lo strumento in modalità passiva al di sopra di zone geografiche in cui si sappia determinare la temperatura di brillanza con sufficiente accuratezza mediante modelli elettromagnetici, con il supporto di informazioni in *tempo-reale* riguardanti lo stato della superficie e dell'atmosfera [3] [4].

In questo lavoro mostriamo i risultati di un esperimento condotto con l'altimetro a bordo del satellite ERS-1 dell'ESA nel corso del mese di aprile 1997, che ha mostrato la validità del concetto. Presentiamo inoltre i risultati preliminari del progetto riguardante RA-2 di Envisat, ed in particolare le attività di messa a punto e validazione dei modelli elettromagnetici atti a simulare la temperatura di brillanza (T_B) alla sommità dell'atmosfera da confrontare con il segnale misurato da RA-2 su un certo numero di siti.

CALIBRAZIONE PASSIVA DEL RADAR ALTIMETRO: ESPERIMENTO ERS-1

Nel corso di un esperimento svoltosi nell'aprile del 1997, l'altimetro (in banda Ku) a bordo di ERS-1 ha acquisito dati in modalità passiva (*noise-listen mode*) in contemporanea alle misure del radiometro bicanale (23 e 37 GHz) posto sullo stesso satellite nel corso di due orbite (si veda la Figura 1, a sinistra). Sono inoltre stati acquisiti i dati del radiometro SSM/I a bordo delle piattaforme spaziale DMSP e selezionati nelle posizioni geografiche sorvolate da ERS [3]. Naturalmente, esisteva un certo intervallo temporale tra le misure di ERS e DMSP (normalmente maggiore alle basse latitudini) che deve essere considerato come sorgente di errore nei risultati dell'esperimento. In modalità *noise-listen* i dati in uscita del ricevitore dell'altimetro sono proporzionali alla temperatura d'antenna (ammesso che il ricevitore abbia un comportamento lineare), ovvero alla temperatura apparente al lobo principale dell'antenna, proveniente dallo scenario osservato (atmosfera e, a seconda della posizione orbitale, oceano, ghiacci marini, terre emerse). La pendenza e l'intercetta di tale legge lineare rappresentano proprio il guadagno e il rumore del ricevitore che vogliamo stimare secondo l'approccio di *calibrazione passiva* (come descritto in precedenza). In assenza di dati di riferimento che permettessero di usare modelli elettromagnetici della T_B apparente all'altimetro, essa è stata ricavata dai dati disponibili a differenti frequenze dai radiometri a microonde lungo la traccia delle due orbite. E' stata usata una tecnica elementare di estrapolazione delle T_B in banda Ku a partire dalle misure di MWR e SSM/I

(19, 22 e 37 GHz) che ha condotto al grafico di Figura 1 (a destra) [4]. Esso mostra la relazione lineare cercata, ma anche una notevole dispersione dei punti dovuta a due fattori. Il primo è l'errore nella determinazione della T_B insito nel metodo elementare usato e nella possibile differenza temporale tra i dati. La seconda è dovuta alla limitata banda dell'altimetro che determina una notevole fluttuazione statistica del segnale di uscita in modalità passiva. L'esperimento mostra che la caratterizzazione del ricevitore dell'altimetro può essere effettuata alla condizione che si abbia un numero di punti sufficientemente elevato (come nell'esperimento mostrato) e assenza di errori sistematici nel calcolo di T_B .

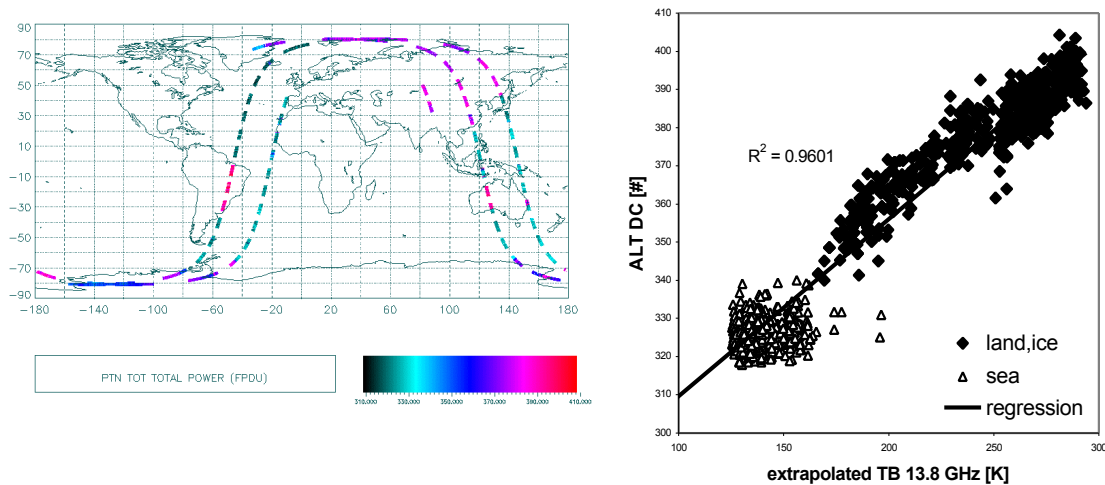


Figura 1. Esperimento di acquisizione dei dati del radiometro e dell'altimetro in modalità passiva (*noise-listen mode*) nel corso di due orbite ERS-1 (a sinistra) e grafico dei conteggi numerici dell'altimetro in funzione della T_B in banda Ku ricavata da dati ERS-MWR e SSM/I con un modello di scalamento in frequenza.

VALIDAZIONE DI MODELLI DI SIMULAZIONE SU TERRA

La calibrazione di RA-2 richiede, accanto alle tecniche di scalamento in frequenza già sperimentate, l'uso di modelli accurati della T_B in banda S e Ku che tengano conto dello stato di atmosfera e superficie al momento del sorvolo Envisat. Per questo motivo vengono acquisiti dati di riferimento tra i quali radiosondaggi e dati di analisi dell'ECMWF che contengono profili di variabili meteorologiche atti a calcolare la trasmittanza e la temperatura media radiativa dell'atmosfera, oltre a temperatura della superficie, velocità del vento ed altre informazioni atte a caratterizzare l'emissività della superficie di oceani o di terre emerse.

La Figura 2 rappresenta i risultati di una validazione effettuata mediante confronto delle uscite dei modelli con i dati dei radiometri satellitari SSM/I e TMI raccolti sui siti in cui si intende operare la calibrazione di RA-2. I siti selezionati sono alcune aree di oceano, il deserto del Sahara, la foresta dell'Amazzonia e un'area dell'Antartide. Si tratta di regioni in cui le simulazioni si ritiene siano più affidabili, oppure i valori di T_B variabili su un

intervallo il più possibile ampio per stimare meglio pendenza ed intercetta della curva rappresentata in Figura 1.

Alcuni risultati per i siti su terre emerse sono riportati nella Figura 2. Al momento gli unici dati in *tempo reale* usati sono stati quelli di temperatura e radiosondaggi. La figura mostra risultati incoraggianti dei modelli di superficie e di atmosfera, d'altronde già messi a punto in passato dagli autori nel corso di esperimenti sia con radiometri che con radar. L'utilizzo dei dati ECMWF dovrebbe ulteriormente migliorare i risultati, specialmente per quanto riguarda trasmittanza e temperatura radiativa dell'atmosfera nei diversi pixel dei radiometri considerati. Attualmente l'incertezza delle simulazioni presentate si aggira sui 4 K a 10 GHz e 5 K a 19 GHz.

L'attività di calibrazione di RA-2 vera e propria è prevista con la disponibilità dei dati Envisat il cui lancio è avvenuto con successo all'inizio del mese di marzo.

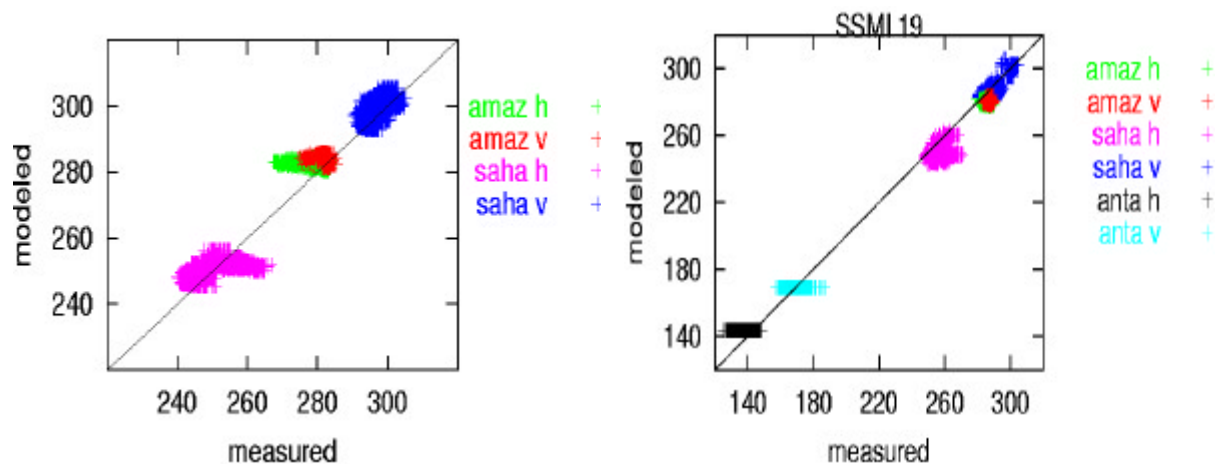


Figura 2. T_B simulate con un modello di trasferimento radiativo in funzione di quelle misurate dal sensore TMI (10 GHz) (a sinistra) e SSM/I (19 GHz) (a destra) per entrambe le polarizzazioni e diversi tipi di *sfondo* terrestre (Amazzonia, Sahara, Antartide). Sono comprese acquisizioni dei radiometri per diverse stagioni nel corso dell'anno 2000.

RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è finanziato dall'ESA (Contratto N 15925/02/NL/SF).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] "ENVISAT-1 Mission & System Summary", ESA/Matra-Marconi Space, Daimler-Benz Aerospace, Thomson CSF
- [2] M. C. Robinson Editor, "ENVISAT Calibration and Validation Plan", Esa doc. PO-PL-ESA-GS-1092, 2000
- [3] B. Greco, A. Martini, N. Pierdicca, P. Ciotti, "A novel approach for absolute backscatter calibration of spaceborne altimeters" *Proceedings IGARSS 2000, IEEE 2000 International*, pp. 2191-2193 vol.5, 2000.
- [4] B. Greco, P. Castracane, N. Pierdicca, A. Martini, P. Ciotti, F.S. Marzano, "A Preliminary Evaluation of the Absolute Backscatter Calibration of the ERS-1 Altimeter using a passive technique", *Proceedings IGARSS 2001*, Sidney, 9-13 July 2000, IEEE 0-7803-7033/01.