

Calibrazione e classificazione radiometrica dei dati SAR della campagna AVIOSAR-90

Giovanni Alberti (1) e Salvatore Ponte (2)

(1) Consorzio per la Ricerca su Sistemi di Telerilevamento Avanzato (CO RI S T A),
P.le Tecchio 80, 80125 Napoli, Italy;

(2) Facolta' di Ingegneria, Universita' degli Studi di Napoli "Federico II", P.le Tecchio 80, 80125
Napoli, Italy;

RIASSUNTO

Questo lavoro descrive gli algoritmi e le metodologie utilizzate ed i primi risultati conseguiti nella calibrazione radiometrica "end-to-end" delle immagini SAR. I dati analizzati si riferiscono alla campagna AVIOSAR-90 sul sito di Matera compiuta utilizzando il SAR canadese SAR-580 del Canada Centre for Remote Sensing (CCRS). I risultati ottenuti sono in buon accordo con i valori forniti dalla letteratura corrente.

INTRODUZIONE

Uno dei piu' importanti aspetti verso la piena utilizzazione delle informazioni contenute nelle immagini SAR e' quello di poter realizzare un'analisi quantitativa del coefficiente di backscattering del terreno osservato direttamente dalle immagini processate. Un sostanziale progresso nella correzione delle distorsioni radiometriche introdotte dai sistemi SAR, e' stato effettuato negli ultimi anni e la sempre crescente importanza della calibrazione SAR ha portato alla formazione del SAR Calibration Working Group del Committee on Earth Observation Satellites (CEOS), che ha stabilito una terminologia per la calibrazione dei sistemi SAR ed ha compiuto un'esauritiva analisi dei requisiti applicativi (CEOS, 1989). In questo ambito le campagne di calibrazione da aereo rappresentano una utilissima sperimentazione per le future missioni spaziali e offrono una possibilita' irrinunciabile da parte della comunita' scientifica per provare ed affinare gli algoritmi e le metodologie di calibrazione.

LA CAMPAGNA AVIOSAR-90

Il sistema SAR utilizzato durante l'esperimento denominato AVIOSAR-90 e' un sistema multifrequenza (banda L, C ed X) e multipolarizzazione (HH, VV, HV e VH) messo a punto dal CCRS e montato a bordo del vettore aereo Convair 580, equipaggiato con sottosistemi ausiliari di navigazione e compensazione degli sbandamenti (Livingstone et al., 1988).

Il radar utilizza una regolazione di guadagno attraverso un sistema di STC, Sensitivity Time Control, per fare in modo che la dinamica del convertitore analogico-digitale (ADC) sia sufficiente e per ridurre le sistematiche variazioni di ampiezza del segnale lungo lo swath nell'immagine processata. La legge di guadagno applicata e' del tipo:

$$g_{STC} = g_0 \frac{R^3 \sin \theta}{g_{\alpha}(\theta) g_{\alpha}(\theta) \sigma^0(\theta) e^{-\alpha R}} \quad [1]$$

dove g_0 e' un fattore di normalizzazione, g_{α} , g_{α} sono le funzioni di guadagno dell'antenna in

trasmissione ed in ricezione, θ e' l'angolo di incidenza, R e' lo slant range, θ' e' l'angolo di offset dalla normale all'antenna, $\sigma^0(\theta)$ e' la legge di riflettanza del terreno, scelta tra un set di possibili classi memorizzate e α e' il coefficiente di attenuazione atmosferica.

L'analisi esposta nel presente lavoro e' stata focalizzata sulla calibrazione della banda C, polarizzazione VV, ottenuta comprimendo i dati acquisiti durante il volo del 23 Ottobre 1990 sul test site di Matera. La zona coinvolta nel presente esperimento di calibrazione, interessa un'area di circa 128 Km² ed ha la forma di una stretta fascia rettangolare. La morfologia dell'area presenta terreni prevalentemente pianeggianti, eccetto per due piccole aree collinose a Nord e a Sud di formazione argillosa e calcarenitica di origine pleistocenica. Contemporaneamente al volo e' stata condotta una campagna di verita' a terra che ha raccolto dati sulle caratteristiche biochimiche e geologiche della superficie. Essa e' stata finalizzata, relativamente a 50 aree campioni, all'individuazione dell'uso, della tessitura ed umidita' del suolo a due differenti profondita' ed al posizionamento di 38 corner reflector (CR) e due calibratori attivi (ARC), posizionandoli facendo attenzione a farli ricadere su zone quanto piu' possibili omogenee. I tre tipi di corner reflector utilizzati hanno una sezione radar (RCS) teorica rispettivamente di 30.3 dBm², 29.3 dBm² e 20.8 dBm², mentre quella nominale dei dispositivi ARC e', invece, di 56 dBm². I calibratori sono stati posizionati ad intervalli di 200 m e per ciascuno di essi sono note con elevata precisione le coordinate UTM, Universal Transverse Mercator, e la quota.

METODOLOGIE DI CALIBRAZIONE

La metodologia di calibrazione utilizzata in questo contesto e' essenzialmente descritta in Ulander et al. (1991). Il modello di sistema SAR utilizzato nella nostra analisi e' raffigurato in fig.1, dove (x,y) rappresenta la coppia di coordinate slant range e azimuth e $g(x,y)$, l'immagine finale processata. Essa si puo' calcolare come:

$$g(x,y) = (f * s * h * z)_{\{x,y\}} + (n * h * z)_{\{x,y\}} \quad [2]$$

dove * denota la convoluzione, $f(x,y)$ e' la riflettivita' del terreno, $s(x,y)$ e' la risposta impulsiva del radar, $h(x,y)$ e' dovuto al tipo di processing effettuato e $z(x,y)$ e' un generico filtro passa-basso che realizza il multi-look nel dominio del tempo. Il termine $n(x,y)$ rappresenta il rumore Gaussiano supposto additivo e a media zero ed include tutte le cause di rumore lungo il percorso del segnale.

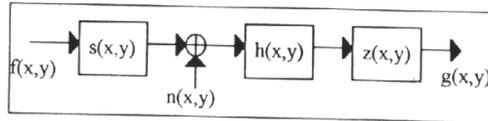


Fig.1 - Modello del sistema SAR

Se consideriamo un punto scatteratore con una sezione radar σ posto ad una distanza R_p ed un'area A_u uniforme posta alla distanza R_u si puo' dimostrare che:

$$\overline{\sigma^0} = \frac{\sigma_{gu}^0}{e_{gp} A_u} \left[\frac{g(\theta'_p)}{g(\theta'_u)} \right]^2 \left(\frac{R_u}{R_p} \right)^3 \sin \theta_u \frac{g_{STCp}}{g_{STCu}} e^{-\alpha(R_p - R_u)} \quad [3]$$

dove $\overline{\sigma^0}$ e' la media spaziale del coefficiente di backscattering effettuata sull'intera area, $g(\theta'_p)$, $g(\theta'_u)$ sono i guadagni di antenna, θ_p e θ_u sono gli angoli di incidenza relativi al target puntiforme di riferimento e all'area uniforme rispettivamente. Il fattore di correzione g_{STCp}/g_{STCu} compensa i

differenti guadagni in ricezione dovuti alle differenti distanze R_u e R_p , e α e' il coefficiente di attenuazione atmosferica. La dipendenza da R^3 nell'equazione [3] deriva dalla valutazione della [2] con l'approssimazione della fase stazionaria, assumendo la traiettoria rettilinea, la velocita' costante, i pattern delle antenne fattorizzabili in azimuth e range e trascurando l'effetto della range migration.

Attraverso la relazione [3] si puo' calibrare radiometricamente i dati compressi pixel per pixel, misurando i termini non noti direttamente sull'immagine. In particolare il termine E_{gp} puo' essere misurato dai corner reflector utilizzando algoritmi empirici che si basano su metodi di integrazione, che risultano essere piu' robusti rispetto ai fenomeni di non perfetta focalizzazione, non essendo influenzati dalla risoluzione in azimuth o in range o dal grado di coerenza della scena (Gray et al 1990).

CALIBRAZIONE RADIOMETRICA

I dati sono stati compressi utilizzando un algoritmo range-doppler e si e' misurato il termine E_{gp} per i 13 corner reflector da 95 cm, appositamente progettati per la banda C. I risultati di tale misura sono riassunti in tab.1, mentre la fig.2 mostra un esempio dell'immagine compressa ottenuta. A questo punto si e' in grado di calibrare l'intera immagine, in accordo con l'equazione [3]. Per fare cio' si sono fissati i valori di ϑ_p , E_{gp} scegliendo il corner reflector per il quale le misure dell'energia del punto scatteratore e del contributo del clutter+rumore presentavano la minima deviazione standard (rispettivamente, 0.014 dB e 0.34 dB, CR num. 2), sapendo che questa precisione di misura e' una delle principali cause che influenzano la stima finale di E_{gp} (Ulander, 1991).



Fig.2 - Immagine non calibrata, in coordinate slant range ed azimuth. I corner reflector appaiono come dei punti luminosi nella zona centrale.

CR #	SNR [dB]	SCR [dB]	$\sqrt{\text{var}\{e_{gp}\}}$ [dB]	Clutter s. d. [dB]
1	18.52	11.70	0.414	0.018
2	22.95	13.25	0.337	0.014
3	19.20	13.94	0.342	0.017
4	15.94	13.65	0.417	0.027
5	18.07	10.08	0.506	0.017
7	17.40	13.14	0.431	0.015
9	15.93	19.47	0.621	0.118
10	17.16	14.33	0.362	0.017
11	19.70	12.92	0.354	0.018
12	20.78	12.29	0.382	0.014
13	23.79	12.56	0.343	0.013
14	18.82	12.95	0.360	0.028
15	18.99	9.73	0.523	0.017

Tab.1 - Misure effettuate sui corner reflector

Sull'immagine calibrata si e' effettuata un'analisi statistica dei valori di σ_{db}^0 per alcune delle 38 aree campione centrate su ogni corner reflector correlando i risultati ottenuti con i dati forniti dalla campagna di verita' a terra. Per aumentare l'affidabilita' della stima sono stati applicati degli algoritmi di clustering automatici in maniera iterativa in modo da generare la firma spettrale della classe piu' forte ed eliminare quella piu' debole. L'ultima colonna in tab.1 mostra la risoluzione radiometrica, ρ_{rad} , di ogni area test con la classe "purificata", calcolata come $10\log[1 + \mu/\sigma_{\mu}]$.

dove μ e σ_μ sono rispettivamente la media e la deviazione standard di ogni classe. Successivamente si sono calcolati gli istogrammi delle zone calibrate e in fig 3 sono mostrati degli esempi di questi istogrammi per due aree dopo il processo di purificazione delle classi. Le medie e le deviazioni standard di σ^0 per tutte le classi purificate sono state paragonate con i valori dati dalla letteratura per la categoria superficie rocciosa. Questa categoria include differenti classi, e fra queste sono state scelte quella dei suoli a media rugosita' e quella delle superfici con residui di raccolto. Per queste classi risultano dalla letteratura dei valori di -17.5 ± 4.0 dB per σ^0 a 60° di angolo di inclinazione che sono in buon accordo con i nostri risultati.

CONCLUSIONI E PROSSIMI SVILUPPI

Durante questo lavoro di ricerca si sono messi a punto le metodologie e gli algoritmi per una corretta calibrazione end-to-end delle immagini SAR applicando il tutto alla banda C-VV del SAR580 relativamente alle immagini ottenute dai dati della campagna di calibrazione del 1990. I risultati ottenuti sono in buon accordo con i valori forniti dalla letteratura corrente. La metodologia esposta in questa sede richiede ulteriori approfondimenti al fine di includere gli errori dovuti al movimento della piattaforma ed una conoscenza migliore del pattern dell'antenna soprattutto in direzione range al fine di effettuare una calibrazione migliore su ampi swath. Dal punto di vista applicativo, bisogna estendere l'analisi effettuata anche alla banda X e alle altre polarizzazioni per avere dei dati comparativi dell'influenza della frequenza e della polarizzazione sulla risposta del terreno alle microonde. Ulteriori sforzi sono necessari per meglio correlare i dati ottenuti con quelli della campagna di verita' a terra al fine di analizzare la dipendenza di σ^0 da parametri quali la rugosita' superficiale, l'umidita' del suolo ecc. ed affinare le attuali conoscenze circa le firme spettrali delle varie classi alle microonde.

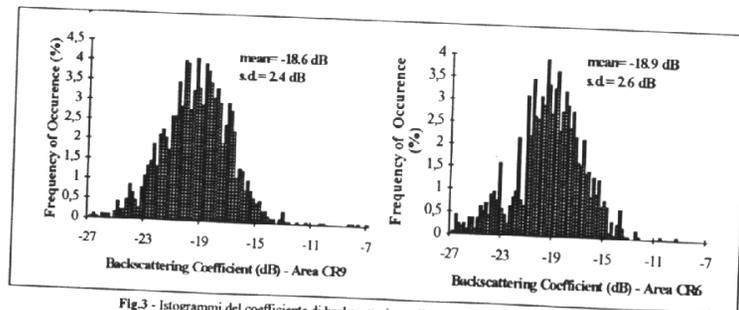


Fig.3 - Istogrammi del coefficiente di backscattering sulle aree campioni di due differenti classi

BIBLIOGRAFIA

- CEOS, 1989, "CEOS SAR Data Products Format Standard, Revision 2.0."
 GRAY, et al., 1990, "Synthetic Aperture Radar Calibration Using Reference Reflectors", IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing, 31, 374-383.
 LIVINGSTONE, et al., 1988, "CCRS C/X Airborne Synthetic Aperture Radar: An R And D Tool For The ERS-1 Time Frame", IEEE AES Magazine, 3, 11-20.
 ULANDER, et al., 1991, "Absolute Radiometric Calibration of the CCRS SAR", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 29, 922-933.
 ULANDER, L. M. H., 1991, "Accuracy of Using Point Targets for SAR Calibration", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 27, 139-148.

INTEGRAZIONE DI DATI TELERILEVATI E SERIE SPAZIO-TEMPORALI PER L' ANALISI DELLA CONGIUNTURA AGRICOLA

Giampiero GENOVESE

Telespazio SpA, Osservazione della Terra, Via Tiburtina, 965 00156 - Roma
Centro Comune di Ricerca, Istituto delle Applicazioni del Telerilevamento
Agriculture Information System (M.A.R.S.), tp 440, 21020 Ispra (VA)

RIASSUNTO

Lo scopo della presente nota è quello di illustrare la metodologia posta alla base di un esercizio di integrazione di dati che presentano una diversa natura spazio-temporale. Lo scopo principale dell' integrazione è quello di fornire previsioni di produzione agricola su tutto il territorio europeo, attraverso una previsione della resa ed una stima della variazione delle superfici investite.

L' argomento viene affrontato in un' ottica operativa, segnalando i possibili approfondimenti teorici.

INTRODUZIONE

L' unità A.I.S., Agriculture Information System, (progetto M.A.R.S. - Monitoring Agriculture with Remote Sensing), al Centro Comune di Ricerca dell' Unione Europea, ha iniziato, nel 1993 ed in via sperimentale, un esercizio di integrazione dati volto al monitoraggio ed al controllo dell' andamento della stagione agricola con lo scopo principale di fornire, attraverso un bollettino statistico chiamato Y.S.P.R.A, Yield Surface Production Report on Agriculture, previsioni di resa e stime di superficie, per le principali colture di interesse europeo. Questo nell' ambito delle attività di supporto tecnico alla Commissione delle Comunità Europee (Direzione Generale dell' Agricoltura ed EUROSTAT) così' come previsto per l' Istituto per le Applicazioni del Telerilevamento del quale l' AIS è parte.

Per poter soddisfare l' esigenza dei gestori del territorio riguardo la conoscenza dell' assetto e degli sviluppi della stagione agricola, si è dovuto procedere ad una integrazione, di dati telerilevati e di diversa natura spazio temporale. Infatti i risultati richiesti devono avere la caratteristica di essere esaustivi, cioè in grado di coprire completamente il territorio europeo, omogenei, cioè ottenuti su tutto il territorio con la stessa metodologia, obiettivi, cioè il più possibile indipendenti da valutazioni soggettive, ed ottenibili in qualsiasi momento dell' anno.

CARATTERISTICHE DELLA METODOLOGIA

Scomponendo tipicamente il flusso informativo di processo di elaborazione dei dati in 'entrata', 'trasformazione', 'uscita', si può pensare ad una integrazione di dati in modi diversi:

- a) un' integrazione a priori, cioè in fase di entrata dei dati,
- b) un' integrazione a posteriori, cioè in fase di uscita delle informazioni,
- c) un' integrazione mista.

Per ognuno di questi tipi si può inoltre pensare ad una trasformazione dei dati che si basi su di una modellizzazione ed automatizzazione più o meno intensa dell' analisi, in contropartita ad una trasformazione basata essenzialmente sulla esperienza e sulla valutazione umana. Il tipo di analisi attuata all' AIS è, attualmente, di tipo (b) con una forte componente basata sull' esperienza umana.



Fig. 1 - Stampa dell'immagine relativa alla zona di Felettis finalizzata alla valutazione della qualità delle correzioni geometriche effettuate: R: CH5 (STR A), G: CH3 (STR B), B: CH2 (STR A) (autorizzazione SMA n° 632 del 25/7/91).