TECNICHE INNOVATIVE DI "REMOTE SENSING" AEREO PER IL MONITORAGGIO DELLA VEGETAZIONE

Flavio FORFECCHIA (*), Luigi DE CECCO (*), Ludovica Giordano (**), Luigi LA PORTA (*), Sandro MARTINI (*)

ENEA CR-Casaccia, Via Anguillarese 301, 00060 S. Maria di Galeria (RM). (*) Dipartimento A.C.S. (Ambiente, Clima Globale e Sostenibilità), Unità Osservazioni Aerospaziali della Terra e Sistemi Informativi Territoriali (**) Dipartimento Biotecnologie, Agroindustria e protezione della Salute, Gruppo Lotta alla Desertificazione

Riassunto

In situazioni specifiche l'utilizzo di sensori spaziali satellitari attualmente disponibili risulta non ideale a causa di una copertura temporale e/o una discriminazione spaziale e spettrale non sufficienti alle specifiche finalità applicative allora può risultare opportuno introdurre l'utilizzo di tecniche di telerilevamento aereo. In quest'ambito, sono qui descritte alcune metodologie sviluppate per l'utilizzo integrato dell'innovativo sistema di telerilevamento aereo ASPIS (Advanced SPectroscopic Imaging System), nel monitoraggio di specifici parametri biofisici d'interesse per gli effetti dei cambiamenti climatici, della desertificazione e dell'impatto antropico, sulla vegetazione mediterranea semi-naturale ed agricola (cerealicoli e frutteti). Il sistema, integrato con GPS ed altra strumentazione (Camera termica FLIR, sensore multispettrale RGB DUNCAN, altimetro LASER ...) ed installato a bordo di piattaforma ultraleggera SKY ARROW 650 TC, è dotato di caratteristiche tecniche e di flessibilità innovative che insieme alla economicità di gestione ne fanno uno strumento dalle notevoli potenzialità in molti settori applicativi. In particolare, il sensore ASPIS, da cui prende il nome l'intero sistema, è basato su 4 camere CCD (Charge Coupled Device) che possono montare diversi filtri interferenziali per ottenere immagini multispettrali con componenti selezionabili da 0.4 a 1.1 µ, alta risoluzione radiometrica (14 bit) ed ampiezza di banda minore di 10 nm. I dati acquisiti tramite ASPIS su aree d'interesse del Sud-Italia oggetto, nel 2004 e 2005, di campagne di misura a terra di vari parametri biofisici della vegetazione, sono stati impiegati nell'ambito del progetto RIADE (Ricerca Integrata per l'Applicazione di tecnologie e processi innovativi per la lotta alla DEsertificazione) in modo integrato con quelli rilevati per mezzo di vari sensori satellitari (Landsat TM/ETM, IKONOS), per il monitoraggio estensivo di fenomeni di degrado della vegetazione legati a stress idrico (siccità, insufficiente irrigazione) e salinizzazione dei suoli (eccessivo emungimento della falda).

Abstract

Here are described some methodologies developed for ASPIS (Advanced SPectroscopic Imaging System) airborne remote sensing system integrated exploitation in monitoring of Mediterranean semi-natural and agricultural vegetation (cereals and fruits) biophysical parameters, sensible to climate changes, desertification and land degradation effects. The ASPIS System is integrated with GPS and other useful instrumentation (thermal camera FLIR, multispectral sensor RGB DUNCAN, LASER altimeter...) and installed on board of ultra-light aerial platform SKY ARROW 650 TC. This makes it a powerful instrument in terms of its technical characteristics, operation flexibility and management economisation with remarkable potentialities in a wide application fields. In particolar, the ASPIS sensor (after which the entire system is named) is based on 4 CCD cameras able to carry different interferential filters in order to obtain high radiometric resolution (14 bit)

multispectral images within the spectral range from 0.4 to 1.1 μ . and bandwidth less than 10 nm. The ASPIS multispectral data, acquired in the years 2004 and 2005 on areas, in the Southern of Italy, together with satellite images taken by means of various satellite sensors (Landsat TM/ETM, IKONOS) and with field measurements of vegetation biophysical parameters, were utilised in the framework of RIADE (Research Integrated for the Application of technologies and processes for Desertification combat) Project [2], in monitoring some vegetation degradation phenomena connected to water stress (drought, insufficient water supply,..) and soil salinisation (excessive deep water exploitation).

Introduzione

Le moderne tecnologie di osservazione satellitare forniscono ormai una fonte insostituibile di dati relativi alla superficie terrestre in grado di garantire informazioni estensive su variabili geofisiche e biofisiche caratterizzate dall'ampia copertura spaziale e dalla ripetitività nel tempo necessarie per il tempestivo ed efficace monitoraggio degli ecosistemi a scale globali, regionali e locali.

Ciò premesso va detto che se con l'avvento delle nuove tecnologie spaziali, per lo più legate ai satelliti, (alcuni dei quali prettamente dedicati al monitoraggio ambientale a varie scale), oggi è possibile affermare che i dati ambientali acquisiti a scala globale coprono molte delle necessità di cui sopra, oltretutto ad un costo sempre decrescente, rimangono tuttavia inadeguate la produzione e la reperibilità del dato telerilevato a scala locale, di dettaglio, con caratteristiche di flessibilità e tempestività nelle modalità di acquisizione. La necessità di questi ultimi può manifestarsi ad esempio al verificarsi di un evento catastrofico (alluvione, incendio) ma anche per l'identificazione ed il controllo dei processi ecologici allo stadio iniziale e/o meno evidente quali, ad esempio, quelli di degrado e stress della vegetazione, che unitamente alla notevole frammentazione sempre più spesso caratterizzano gli agro-ecosistemi della regione del bacino del Mediterraneo. In altre parole l'utilizzo di sensori spaziali satellitari attualmente disponibili talvolta risulta non ideale a causa di una copertura temporale (tempo che intercorre tra un'acquisizione e la successiva nella stessa area) e/o una discriminazione spaziale e spettrale non sufficienti alle specifiche finalità applicative.

In quest'ottica, può risultare opportuno introdurre rilevamenti da piattaforma aerea a scala di maggior dettaglio. Tali dati possono essere convenientemente utilizzati anche per realizzare una calibrazione intermedia, col supporto della quale procedere al processamento dei dati telerilevati satellitari, riducendo il numero (e quindi i costi) delle misure a terra altrimenti necessarie per una calibrazione diretta del dato da satellite.

Con questi presupposti, nell'ambito del progetto SADE (*Sensori Aerospaziali per il monitoraggio dei fenomeni di Desertificazione*), sviluppatosi in sinergia con le altre linee di ricerca del PON (MIUR 2002-2005) RIADE (*Ricerca Integrata per l'Applicazione di tecnologie e processi innovativi per la lotta alla DEsertificazione*), in collaborazione con l'Università della Tuscia[2], è stata avviata e condotta un'attività dedicata alla messa a punto di metodologie e strategie per l'utilizzo efficace del sensore aviotrasportato ASPIS (*Advanced SPectroscopic Imaging System*) [1]. L'obiettivo è stato da una parte sperimentare e mettere a punto questo sistema innovativo per telerilevamento aereo e dall'altra supportare una più efficace calibrazione dei rilievi satellitari (Ikonos e Landsat) impiegati in altre attività [2] del progetto RIADE, nello specifico contesto operativo relativo al monitoraggio della vegetazione semi-naturale ed agricola soggetta a stress abiotici di tipo idrico e/o salino.

Nel seguito sono descritte le procedure di correzione e di calibrazione sviluppate per i dati ASPIS, acquisiti in contemporanea a campagne di misura a terra di specifici parametri biofisici della vegetazione nel 2004 e 2005. Le aree d'interesse sono localizzate in Italia Meridionale (costa Ionica della Basilicata, aree di Foggia e Manfredonia), in zone dove la vegetazione è soggetta a fenomeni di stress sopra menzionati.

La rilevazione a terra di parametri biofisici specifici, quali il contenuto idrico fogliare, il contenuto salino dei suoli e l'indice di area fogliare (LAI), unitamente alle riflettanze (iper)spettrali acquisite con radiometro portatile ASD FieldSpecPro, sulle associazioni vegetali d'interesse, ha permesso

altresì la calibrazione e la correzione atmosferica delle varie bande spettrali di ASPIS e dei relativi indici al fine del loro utilizzo per la stima dei vari parametri biofisici della vegetazione.

Il sistema ASPIS

Il sistema ASPIS nato come sistema di telerilevamento aereo dalla collaborazione fra il Consorzio per le Ricerche Alimentari (CO.RI.AL) di Foggia, la DTA di Pisa, il CNR IBIMET, l'OPTEC di Milano e il Dipartimento di Scienze Forestali dell'Università della Tuscia [1] ed attualmente gestito dalla Terrasystem s.r.l., si caratterizza per l'economicità e la flessibilità nell'utilizzo notevoli. Il sensore principale, da cui prende il nome l'intero sistema, è basato su 4 camere digitali indipendenti a CCD, ognuna con la propria ottica e con filtri intercambiabili che permettono di selezionare le bande di acquisizione nello spettro del visibile e vicino infrarosso (NIR) sino a 1.1 μ , in funzione delle necessità della missione. La risoluzione spettrale, di circa 5-7 nm., e radiometrica di 14 bit, rendono le caratteristiche del sensore paragonabili a quelle dei sistemi di telerilevamento iperspettrali, dalla gestione notevolmente più pesante ed impegnativa. Oltre agli usuali componenti nel visibile (RGB) e NIR l'apparato è, per esempio, in grado di riprendere con 4 bande in



Fig. 1 - Risposte spettrali dei canali ASPIS e riflettanze (firme) iperspettrali di suolo(soil) e foglie (frutteto) rilevate nel 2004 tramite radiometro portatile ASD.

corrispondenza della zona spettrale cosiddetta red edge (Fig. 1, Fig.11), collocata tra il "red" e NIR, (da circa 700 a 750 nm), range spettrale in cui la vegetazione presenta un incremento notevole della riflettanza che risulta particolarmente sensibile al genere di fattori di stress abiotico sopra citati (stress idrico e/o salino). Inoltre la sua piattaforma, un aereo certificato SKY ARROW 650 TC biposto, a metà strada tra un ultraleggero ed un aereo standard, ha un'autonomia di volo di 3.5 ore, consente l'utilizzo di aereopiste e non vincola l'impiego del velivolo alle

onerose procedure tipiche degli aeroporti. Il sistema dispone anche di un ricevitore GPS integrato, in grado di acquisire punti di riferimento sui quali è stata impostata la rotta e la successiva correzione geometrica nel preprocessing delle immagini riprese. Cosiderando la possibilità di operare contemporaneamente con 4 canali su 8 disponibili nei rilievi APIS si è operato con due configurazioni spettrali denominate rispettivamente NDVI (dall'indice spettrale omonimo) ed RE. La prima comprende i canali (Fig. 1) Green, Red, RE1, NIR mentre la seconda quelli nell'intervallo *red edge* (RE1,RE2,RE3,RE4).

Preprocessing

Le immagini multispettrali acquisite mediante telerilevamento da aereo e da satellite necessitano solitamente di processi di elaborazione preliminari *(pre-processing)* al fine di un loro utilizzo per analisi quantitative degli oggetti ripresi. Esse infatti in generale sono affette da distorsioni di tipo geometrico e da effetti indesiderati di tipo radiometrico, generati dall'influenza della geometria di osservazione/illuminazione e dallo strato di atmosfera interposto tra il sensore e la scena investigata. Le distorsioni di tipo geometrico derivano invece dalla geometria di acquisizione, dalle variazioni di assetto e velocità della piattaforma durante l'acquisizione, dalla rotazione terrestre, dalla variabilità dell'andamento altimetrico del terreno. A differenza dei sensori per telerilevamento comunemente utilizzati, ASPIS acquisisce le immagini nelle 4 bande selezionate attraverso le differenti ottiche delle relative camere CCD, con conseguenti problemi di sovrapposizione per la ricostruzione del file multi spettrale.



Fig. 2 – Ripresa ASPIS a 4 bande non georiferita dell'area agricola di Pantano acquisita il 13 luglio 2004. Banda 0: red edge (701 nm); banda 1: green (550 nm); banda 2: red (680 nm); banda 3: near infrared (780 nm).

Nella figura (Fig. 2) sono riportate ad esempio le 4 componenti spettrali grezze relative ad un'immagine acquista nel luglio 2004 sull'area agricola nei pressi del bosco Pantano. Come si vede, le immagini differiscono oltre che per le tonalità di grigio derivanti dai diversi canali selezionati anche per caratteristiche geometriche (rotazione e copertura a terra) dovute al differente assetto delle camere CCD. Al fine di valutare i parametri angolari che definiscono tale assetto, in assenza di un sistema inerziale si è deciso di mettere a punto una procedura di ortocorrezione con un processo di triangolazione che garantisse la sovrapponibilità delle 4 componenti corrette. Al fine di assicurare la compatibilità e sovrapponibilità delle immagini ASPIS ortocorrette con le altre informazioni cartografiche del progetto (Fig. 4) è stata

adottata la proiezione cartografica UTM ed i relativi parametri (Sferoide: International1909, Datum: European1950, Zona UTM: 33 Nord). Le immagini, per le operazioni di triangolazione, sono state trattate geometricamente come un blocco di 4 componenti. Con un numero medio di 7 punti di controllo a terra (GCP - Ground Control Points) per blocco, opportunamente distribuiti si è pervenuti a triangolazioni soddisfacenti con RMSE (errore quadratico medio sui GCP) mediamente



Fig. 3 – Immagine ASPIS a falsi-colori ortocorretta dell'area di Pantano (sinistra) con zone boschive ed appezzamenti agricoli e relative distribuzioni degli angoli di vista, zenit (basso-destra) ed azimut (alto destra), della componente green.

dell'ordine del m. Ciò è stato ottenuto utilizzando software commerciale specifico che ha permesso di tener conto anche delle distorsioni introdotte dalle ottiche delle CCD attraverso procedure sviluppate "ad hoc". Di ciascuna immagine relativa a ciascuna banda utilizzata sono stati ottenuti i parametri di assetto del volo (X₀, Y₀, Z₀ del centro di prospettiva; ω , rotazione intorno all'asse X, φ , rotazione intorno all'asse Y, K, rotazione intorno all'asse Z. Tali dati sono necessari per ricostruire la geometria del processo di acquisizione delle bande delle diverse immagini, in particolare per la stima dei loro angoli di vista (zenit ed azimut) di ogni pixel derivanti dal FOV (38°) delle camere. In Fig. 3, a titolo di esempio è riportata a falsi colori un'immagine ortocorretta (sinistra) dell'area di Pantano e le relative distribuzioni dello zenit (destra- basso) ed azimut (destra-alto) di vista per la componente verde. In

Fig. 4 sono riportate alcune delle immagini ASPIS ortocorrette in sovrapposizione ad una ortoimmagine IKONOS pancromatica della stessa area (Pantano).

Il pre-processing radiometrico delle immagini ASPIS è consistito nella calibrazione e nella attenuazione degli effetti di rumore introdotti dall'atmosfera, tramite l'utilizzo del codice di simulazione atmosferica 6S e di misure di riflettanza a terra, effettuate per mezzo del radiometro iperspettrale portatile ASD FieldSpecPro.



Fig. 4 –Area Pantano- pancromatica IKONOS in sovrapposizione a falsi colori RE -ASPIS ortocorrette e punti di misura a terra (in arancio e celeste)

Analisi dati

Per l'analisi dei dati effettivi acquisiti durante ASPIS, le opportunamente campagne ed preprocessati come più sopra descritto, sono state estratte dalle immagini le firme spettrali (riflettanze nelle varie bande) utilizzate per il calcolo dei vari indici spettrali in corrispondenza dei punti di misura a terra del LAI e degli indici di contenuto idrico fogliare [3] RWC (Relative Water Content), FMC (Feuel Moisture Content) (Fig. 4). Sono nel seguito descritti alcuni risultati ottenuti dai rilievi ASPIS del luglio 2004 su alcune aree agricole di test, utilizzando l'usuale indice spettrale di NDVI=(NIRvegetazione red)/(NIR+red) unitamente al **REIP** (Red Edge Inflection Point),

basato sull'andamento della derivata della riflettanza (punto di flesso) della vegetazione in zona *red edge* [4]. Sulle stessa area a titolo d'esempio è stata calcolata una distribuzione di LAI utilizzando i dati ASPIS nelle 2 configurazioni a 4 canali suddette ed una metodologia d'inversione dei modelli PROSPECT-SAIL (Fig. 6) basata su reti neuronali. In Fig. 5 sono riportate le immagini corrette (geometricamente e radiometricamente) in falso colore (la vegetazione è nelle tonalità del rosso) delle riprese ASPIS di aree agricole a pescheti della costa Ionica relative a due giorni diversi, nelle stesse condizioni d'illuminazione. La prima, a sinistra, è stata acquisita il 13-7-2004, mentre la seconda è stata rilevata due giorni dopo, il 15-7-2004, a seguito di vari eventi piovosi sulla zona in data 14-7-2004. Dopo la pioggia, con l'aumento di umidità dei terreni, risulta un incremento dell'NDVI delle relative colture dovuto prevalentemente alla riduzione di riflettanza nel visibile (in particolare nel *red*), con l'eccezione di quelle che risultavano sufficientemente irrigate già prima della pioggia.



Fig. 5 - ASPIS (NIR, Green, Red) prima (sinsitra) e dopo (destra) eventi piovosi

Allo scopo di evidenziare queste caratteristiche nella risposta spettrale, in Fig. 6 sono riportate le distribuzioni di indice spettrale NDVI prima e dopo la pioggia (prime 2 mappe a sinistra in alto), una mappa delle differenze di NDVI (in basso a sinistra), nonché una mappa dell'indice REIP (in basso a destra). Si nota che per le colture sufficientemente irrigate, ripor-

tate nella mappa con colori verde-azzurro (ad esempio nel punto C1), le differenze di NDVI si mantengono relativamente basse mentre tendono ad aumentare per quelle con irrigazione

inesistente o insufficiente (nelle tonalità violetto-rosso, per esempio il punto A1 ricadente in un pescheto) potenzialmente soggette a stress-idrico. Tale situazione è confermata anche dalla mappa di REIP (Fig. 6, in basso al centro), calcolata dalle riprese ASPIS (in configurazione RE) del 13-7-



2004 utilizzando un modello regressivo ottenuto per la distribuzione di RWC basato su misure a terra [3], che risulta in buon accordo con quella relativa alle differenze di NDVI, con l'eccezione dell'appezzamento indicato con B1 in Fig. 6, probabilmente occupato da colture particolari dalle limitate esigenze idriche.

Bibliografia

- 1. Belli C., 2003. L' Advanced SPectroscopic Imaging System (ASPIS). Un nuovo sistema digitale di telerilevamento aereo per lo studio delle risorse agricolo forestali. Tesi di Dottorato di Ricerca in Ecologia Forestale XV Ciclo. DISAFRI, Università degli Studi della Tuscia.
- Giordano L., Borfecchia F., De Cecco L., Trotta C., Iannetta M. (2005) A multiple sensors study for vegetation monitoring in Mediterranean areas. Proceedings of the 1st Conference on Remote Sensing and Geoinformation Processing in the Assessment and Monitoring of Land Degradation and Desertification, September 7th to 9th, Trier (Germany).
- Borfecchia F., Della Rocca A. B., De Cecco L., Giordano L., Farneti A., Marcoccia S., La Porta L., Martini S., Belli C., De Vita P. (2006) - *Il telerilevamento satellitare ed aereo per lo* studio degli effetti della desertificazione sulle colture. 10^a Conferenza Nazionale ASITA, 14-17 Novembre 2006 Fiera di Bolzano, Bolzano – Italy
- 4. Horler, D.H.N., Dockray, M., Barber, J., 1983. *The red edge of plant leaf reflectance*. Int. J. Remote Sens. 4, 273–288.