

## **Utilizzo del sistema di telerilevamento aereo ASPIS per il monitoraggio della vegetazione in aree sensibili alla desertificazione.**

Borfecchia F. \*, Marcocchia S. \*\*\*, Della Rocca A. B. \*, Farneti A. \*, La Porta L. \*, Giordano L. \*\*, De Cecco L. \*, Martini L. \*, Belli C.°

ENEA CR-Casaccia, Via Anguillarese 301, 00060 S. Maria di Galeria (RM).

\*Progetto CLIMA Unità Osservazioni Aerospaziali della Terra e Sistemi Informativi Territoriali

\*\*Unità Biotecnologie Protezione della Salute e degli Ecosistemi, Gruppo Lotta alla Desertificazione

\*\*\*Terrasystem s.r.l. via Rosmini 1, 01100 Viterbo.

° Lab. Ecologia Forestale DiSAFRi- Univ. Degli Studi Della Tuscia - Viterbo

### **RIASSUNTO**

In questo lavoro si riportano i primi risultati dell'impiego del sistema aviotrasportato di telerilevamento ASPIS (Advanced SPectroscopic Imaging System), sviluppato dal Dip. DISAFRI dell'Università Degli Studi della Tuscia e dalla Terrasystem s.r.l. (Belli C., 2003) e basato su 4 camere CCD sulle quali è possibile montare filtri interferenziali per ottenere immagini multispettrali con componenti selezionabili da 0.4 a 1.1  $\mu$ , ed ampiezza di banda di minore di 10 nm. Il sistema ASPIS, 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. Nel seguito sono descritte le procedure sviluppate per il pre-processing geometrico e radiometrico dei dati acquisiti su aree d'interesse oggetto, nell'estate 2004, di campagne di misura a terra di vari parametri biofisici della vegetazione, impiegati nell'ambito del progetto RIADE (Ricerca Integrata per l'Applicazione di tecnologie e processi innovativi per la lotta alla DESertificazione) per la calibrazione del sensore.

In this paper are reported the first results obtained by means of the airborne remote sensing system ASPIS (Advanced SPectroscopic Imaging System), developed by Dep. DISAFRI of Tuscia University and Terrasystem s.r.l. (Belli C., 2003) and based on 4 CCD cameras on which it is possible to mount different interferential filters in order to obtain multispectral images within the spectral range from 0.4 to 1.1  $\mu$ , and bandwidth less than 10 nm. 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 applications field. Here are described the procedures developed for the geometric and radiometric pre-processing of the ASPIS data acquired, during the summer 2004, over the areas, in the South of Italy, on which ground measurements campaigns were in progress. Several vegetation biophysical parameters measurement acquired here have been used for ASPIS calibration activities within the

RIADE (Research Integrated for the Application of technologies and processes for DEsertification combat) Italian Project.

## INTRODUZIONE

Lo sviluppo di applicazioni utilizzanti tecniche di “Remote Sensing” da satellite, caratterizzate da un ampio range di scale spazio-temporali ed elevate sensibilità radiometriche e spettrali, supporta notevolmente le esigenze di monitoraggio dei fenomeni legati alla desertificazione, nondimeno esse presentano sovente necessità di rilievi di maggiore dettaglio, sincroni ai passaggi satellitari, finalizzati alla calibrazione dei dati multispettrali telerilevati a scala regionale e globale ed alla validazione estensiva degli algoritmi e modelli. Tali rilievi “locali”, effettuati solitamente da piattaforma aerea, sono altresì proficuamente impiegati anche per evidenziare effetti di desertificazione sulla vegetazione dovuti all’impatto antropico ed ai cambiamenti climatici ancora ad uno stadio iniziale (quali quelli presenti in aree ai confini di zone climatiche come il Meridione d’Italia) e per questo poco “visibili” a scale più grandi, ma sui quali è possibile intervenire efficacemente con misure di mitigazione nell’ambito di adeguate e tempestive politiche di sviluppo “sostenibile”. In questo ambito si riportano i primi risultati dell’impiego del sistema aviotrasportato di telerilevamento ASPIS (Advanced SPectroscopic Imaging System). Per il pre-processing geometrico e radiometrico dei dati acquisiti è stato diffusamente utilizzato il codice 6S (Second Satellite Simulation code in the Solar Spectrum) (Vermote E. F. et al, 1997). per la simulazione del segnale relativo alle bande ASPIS e la correzione degli effetti atmosferici. I dati di riflettanza estratti dalle immagini multispettrali così pre-processate sono stati utilizzati nella stima di vari parametri relativi alla vegetazione semi-naturale (LAI, Leaf Area Index) ed agricola ( RWC-Relative Water Content, FMC –Fuel Moisture Content,...) col supporto delle misure a terra.

## SIMULAZIONI CON IL SISTEMA ASPIS

Il sensore ASPIS può acquisire nell’intervallo spettrale tra 0.4 a 1.1  $\mu$ , con bande tra il rosso (~680 nm.) e l’infrarosso vicino (~776 nm.), nella zona del *red edge*, particolarmente indicata per evidenziare situazioni di stress idrico e patologie della vegetazione, connesse a situazioni climatiche

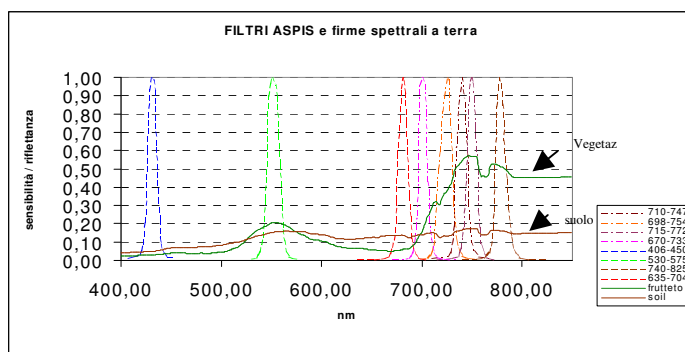


Fig. 1 - Curve -filtro bande di acquisizione ASPIS e riflettanza a terra misurata con ASD FieldSpecPro

e/o degrado dei suoli. Nel contesto delle attività del progetto, l’impiego del sensore aviotrasportato ASPIS è stato finalizzato ad un duplice obiettivo: da una parte, unitamente al sensore satellitare IKONOS, esso è servito all’ottimizzazione dello schema di campionamento a terra per rendere la calibrazione degli altri sensori a scale maggiori (Landsat, MODIS) più efficace; dall’altra si è mirato a testare nel contesto operativo e con le specifiche esigenze applicative una piattaforma innovativa e prototipale con ampia flessibilità

sia in termini di modalità operative che di configurazione strumentale. Nel grafico (Fig. 1) sono riportate le curve di sensibilità dei canali di acquisizione ASPIS unitamente alle firme spettrali in termini di riflettanza acquisite nell’estate 2004 a terra, tramite ASD FieldSpecPro per suolo nudo e vegetazione erbacea. In considerazione della possibilità di acquisire contemporaneamente con 4 CCD, i canali di acquisizione sono stati raggruppati in due configurazioni di 4 denominate NDVI (dall’indice spettrale omonimo utilizzato successivamente) ed RE, composte rispettivamente dalle bande verde, rossa, red\_edge1 e vicino infrarosso (Green, Red, RE1, NIR) e da quelle del *red edge* (RE1,RE2,RE3,RE4). Nella tabella successiva (Tab.1) sono riportati i dati ottenuti dalle simulazioni

tramite il codice 6S utilizzando le riflettanze a terra (suolo e vegetazione erbacea) misurate con lo spettroradiometro ASD e mediate sulle bande ASPIS. I parametri geometrici di altezza del sensore e visibilità sono stati derivati dai dati di volo e dal processo di ortocorrezione. Come si vede le

$\lambda$ -cent (nm)	FHWW	Den.	Ground		TOA			Ground IRR. ( $W/m^2 \cdot \mu$ )			TOA Sat. RAD ( $W/m^2 \cdot \mu \cdot sr$ )		
			$\rho$	L ( $W/m^2 \cdot \mu \cdot sr$ )	dir	atm	diff	env	atm.	env.	dir.		
550,79	6,51	Green	0,15	66,03	875,20	371,18	25,83	4,54	9,15	52,35			
680,65	4,77	Red	0,16	54,39	766,06	272,39	15,36	2,38	5,20	46,82			
700,4	3,74	RE1	0,17	52,73	708,24	247,49	14,59	2,09	4,85	45,79			
724,64	6,18	RE2	0,18	46,65	595,04	203,38	12,89	1,71	4,11	40,84			
739,87	6,20	RE3	0,21	60,77	662,87	223,80	16,00	1,80	5,25	53,71			
749,42	3,31	RE4	0,22	66,24	685,01	229,68	16,99	1,82	5,64	58,78			
777,00	4,78	NIR	0,22	63,27	648,76	213,65	15,65	1,62	5,16	56,50			

Tab. 1 Risultati della simulazione con 6S delle acquisizioni ASPIS del 15-7-04 su punti a terra di suolo visibilità 20 Km ( spessore ottico 0,2576 a 555 nm.)

simulazioni forniscono valori di radianza al sensore evidenziando vari contributi diretto (dir), dell'intorno (env.) e dell'atmosfera (atm), utilizzati successivamente per la stima dei coefficienti di calibrazione.

## CAMPAGNA DI RILIEVI 2004

Le campagne di misura a terra dell'estate 2004, condotte su aree precedentemente individuate sulla costa Ionica della Basilicata (Italia Meridionale) hanno avuto l'obiettivo di effettuare misurazioni di:

1. LAI (*Leaf Area Index*), in aree a vegetazione semi-naturale;
2. indici di contenuto d'acqua foliare RWC (*Relative Water Index*) ed FMC (*Fuel Moisture Content*) di colture agricole, tipicamente frutteti e cerealicoli, in condizioni diverse di irrigazione;
3. riflettanza (firme spettrali) su vegetazione e suoli, impiegata anche nelle operazioni di calibrazione e correzione atmosferica dei dati telerilevati.

Gli indici LAI, RWC e FMC, sono importanti indicatori correlati allo sviluppo della vegetazione, alle sue interazioni con l'atmosfera e gli andamenti climatici ed agli stress idrici ed abiotici in generale.

Per le misure di LAI è stato impiegato un Licor LAI-2000 *Plant Canopy Analyzer* con un opportuno

Sistema di acquisizione	Formato Immagini	Numero Bande	Numero Immagini (13/07/2004)		Numero Immagini (15/07/2004)		
			Pantano	Monte Coppolo	Pantano	RE	Monte Coppolo
ASPIS	BIL	4	17	184	122	108	48

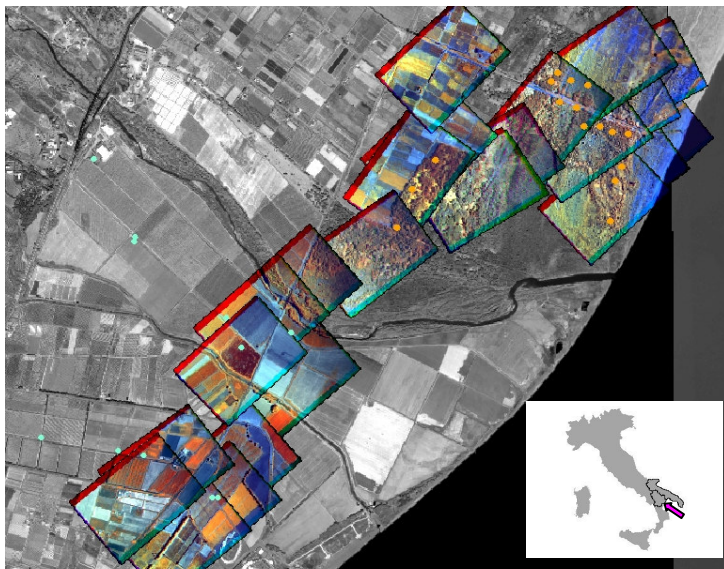
Tab. 2 - Frames ASPIS acquisiti nella campagna del Luglio 2004

protocollo e schema di campionamento comprendente due aree a vegetazione naturale, l'una costiera, nel comune di Policoro (MT), alla foce del Sinni, denominata Pantano, l'altra nel comune di

Rotondella (MT), più all'interno ricadente prevalentemente sull'altura detta Monte Coppolo, alcuni punti di campionamento (*plot*) sono stati posizionati su colture agricole, tipicamente frutteti, nei pressi del bosco di Pantano, sui quali sono state effettuate misure di riflettanza (su terreno, vegetazione interfilare e foglie) e prelievi fogliari per la stima del contenuto idrico per mezzo degli indici RWC ed FMC. In definitiva, gran parte dei plot e dei rilievi ASPIS (Tab. 2) ricade su due aree, la cui superficie somma complessivamente a circa 70 Km<sup>2</sup>.

La stima degli indici RWC ed FMC è stata effettuata tramite analisi in laboratorio su prelievi fogliari in punti ricadenti su aree agricole a diversa copertura (essenzialmente frutteti), ed in contemporanea con il rilievo effettuato tramite il sensore aviotrasportato ASPIS. Le firme spettrali sono state rilevate tramite spettrometro portatile ASD FieldSpecPRO. Tutte le misure sono state

georiferite tramite GPS differenziale ed acquisite per quanto possibile in corrispondenza dei passaggi satellitari (Landsat, IKONOS), in considerazione delle loro caratteristiche di copertura spazio-temporale



La risoluzione spaziale (IFOV) delle immagini acquisite, con altezza di volo di circa 1400 m, è intorno al m. Le dimensioni delle immagini grezze di 512x768 (linee per colonne) ottenute con un FOV (Field Of View) di circa 38° danno luogo ad una copertura a terra che non supera 0.5 Km<sup>2</sup>.

La campagna di rilevamenti aerei ha avuto una durata di 4 giorni a partire dal 12 Luglio 2004, con due giorni utili per i rilievi (13-15) effettuati sempre intorno alle ore 10.00 di mattina.

Fig. 2 –Area Pantano- pancromatica IKONOS in sovrapposizione a falsi colori RE - ASPIS ortocorrette e punti di misura a terra (in arancio e celeste)

## PREPROCESSING

Nel presente lavoro sono riportati i risultati della prima fase delle elaborazioni riguardanti l'area di Pantano (Fig. 2). A differenza dei sensori per telerilevamento comunemente utilizzati, ASPIS acquisisce le immagini nelle 4 bande selezionate attraverso differenti ottiche delle relative camere CCD, con conseguenti problemi di sovrapposizione per la ricostruzione del file multispettale. Nell'ottica di valutare i parametri di assetto, in assenza di un sistema inerziale, si è deciso di mettere a punto una procedura di ortocorrezione che mediante un processo di triangolazione garantisca la sovrapposibilità delle componenti corrette unitamente alla stima dei parametri ed altitudine per ognuna di esse. Al fine di assicurare la compatibilità e sovrapposibilità delle immagini ASPIS ortocorrette con le altre mappe del progetto, è stata adottata la proiezione cartografica UTM ed i relativi parametri (Sferoide: International 1909, Datum: European 1950, Zona UTM: 33 Nord).

Delle immagini acquisite nel luglio 2004 sulle aree di studio sono state processate prioritariamente quelle nelle quali ricadevano i punti di misura a terra; ciò ha richiesto un'analisi e selezione preliminare del materiale digitale acquisito effettuate con il supporto dei dati del sistema GPS di bordo. Con un numero medio di 7 punti di controllo, GCP (Ground Control Point), per blocco opportunamente distribuiti si è pervenuti a triangolazioni soddisfacenti con RMSE (errore quadratico medio sui GCP) mediamente dell'ordine del m.

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. In mancanza di coefficienti (gain ed offset) "preflight", la calibrazione delle immagini ASPIS, ovvero la stima del gain e dell'offset per la conversione dei Digital Number in radianza al sensore, ha richiesto la messa a punto di una metodologia che ha comportato anche la valutazione del contributo additivo di rumore atmosferico (path radiance) e l'utilizzo di misure di riflettanza a terra, tenendo conto degli effetti di riflettanza bidirezionale (BRDF) tipici di un sensore ad alta apertura (Field Of View, FOV, di 38°) come ASPIS.

A partire dalla nota relazione che lega la radianza al sensore (TOA) al Digital Number è possibile definire un sistema di due equazioni a due incognite, da cui, noti  $DN_{i\lambda}$ ,  $DN_{p\lambda}$ ,  $L_{i\lambda}$  e  $L_{p\lambda}$ , ricavare gain e offset:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{p\lambda} = \text{gain}_{\lambda} DN_{p\lambda} + \text{offset}_{\lambda} \\ L_{i\lambda} = \text{gain}_{\lambda} DN_{i\lambda} + \text{offset}_{\lambda} \end{array} \right\} \quad 4 \quad \text{eq. 1}$$

dove  $L_{t\lambda}$  è la radianza del target nella banda spettrale  $\lambda$  intesa come somma della radianza propria del punto(pixel) e della radianza dell'intorno,  $DN_{t\lambda}$  è il Digital Number del target nella banda  $\lambda$ ,  $DN_{p\lambda}$  è il Digital Number corrispondente alla *path radiance* nella banda  $\lambda$ . Individuati i punti di misura a terra ASD FieldSpecPro sulle immagini ASPIS ortocorrette tramite le relative coordinate, sono stati estratti i corrispondenti  $DN_{t\lambda}$ , come media su un'intorno 3x3 pixel di quello di riferimento. Le relative coordinate angolari (zenit ed azimut) sono state derivate dalle rispettive posizioni nelle immagini con i parametri ottenuti dal processo di ortocorrezione. Alcuni di questi punti sono stati scelti su più immagini in modo da fornire dati multiangolari con cui si è proceduto all'inversione del modello per il calcolo degli effetti di riflettanza bidirezionale (BRDF). Per gli effetti BRDF è stato adottato un modello lineare semi-empirico, il modello di Walthall (Walthall et alii, 1985), costituito da una combinazione dei cosiddetti *kernels* (funzioni standard delle coordinate angolari) pesati con i rispettivi parametri determinati tramite regressione con i dati derivati dalle differenti immagini dello stesso punto. L'inversione del modello è stata effettuata sui DN depurati preventivamente per il contributo della *path radiance*.  $L_{t\lambda}$  e  $L_{p\lambda}$ , nell'eq.1 sono state calcolate per mezzo del codice 6S (Tab. 1), per ogni banda ASPIS caratterizzata dalla propria curva di sensibilità (Fig.1.), è stata simulata la radianza al sensore nell'ipotesi di ripresa nadirale nelle stesse condizioni geometriche (del sole, sensore, target) e radiometriche (modelli di atmosfera/aerosol e riflettanza a

	Green	Red	RE1	NIR
$\lambda$ -cent	550,79	680,65	700,4	777
Radianza	4,537	2,375	2,100	1,608
$DN_{\lambda p}$	3632,960	2067,910	2709,320	3033,180
N. aree	45	62	73	

Tab. 3 – Valori di DN corrispondenti alla path radiance calcolati per le varie bande ASPIS della configurazione NDVI

terra del target ottenuta dalle misure a terra con ASD FieldSpecPro mediate su curve-filtro ASPIS) Il codice 6S ha fornito, nelle condizioni geometriche specificate, il valore della radianza totale (in  $W/m^2 sr \mu$ ) e delle sue

componenti: path radiance, radianza propria del punto (pixel), radianza dell'intorno. Nell'ipotesi di terreno omogeneo, la radianza intrinseca del suolo nudo e la radianza dell'intorno sono state sommate per il calcolo di  $L_{t\lambda}$  nell'eq. 1. In mancanza di dati meteo sincroni ai passaggi aerei per la stima della *path radiance* (Tab.3) in termini di  $DN_{p\lambda}$  nelle diverse bande ASPIS, è stato adottato il metodo della regressione/intersezione (RIM) di Crippen (1987), di tipo *image-based* che non richiede la presenza di un canale nel medio infrarosso in cui la *path radiance* è pressoché nulla. Nella tabella seguente (Tab.4) sono riportati i coefficienti di calibrazione stimati con la procedura sopra descritta per le bande ASPIS della configurazione NDVI.

Green		Red		RE1		NIR	
gain	offset	gain	offset	gain	offset	gain	offset
0.04090	-144.051	0.01240	-23.267	0.02501	-65.676	0.02087	-61.674

Tab. 4 – Gain e offset ricavati per le bande ASPIS della configurazione NDVI.

## INDICI SPETTRALI E PARAMETRI BIOFISICI

Successivamente, è stata effettuata sulle immagini ASPIS preprocessate l'estrazione delle firme spettrali, espresse in riflettanza, nei punti di misura a terra dell'indice di area fogliare LAI, RWC, FMC (Fig. 2). La procedura usata per l'estrazione delle firme spettrali dalle immagini ortocorrette ASPIS restituisce il valore medio dell'insieme 3x3 di *pixel* dell'immagine relativo al *pixel* centrale corrispondente ai punti di misura a terra. Uno stesso punto di misura può ricadere su più immagini ASPIS a causa della parziale sovrapposizione di queste (Fig. 2). Ai punti, quindi, sono state attribuite tante firme spettrali quante sono le immagini su cui essi ricadono utilizzate poi per la

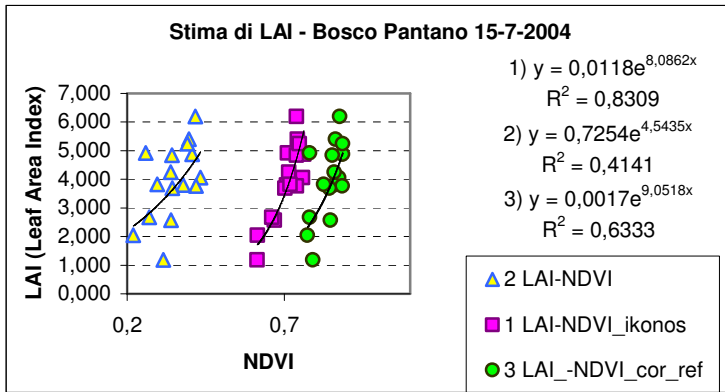


Fig. 3 – Stima di LAI da dati ASPIS ed IKONOS

LAI (Fig. 3, curva 2) , mentre se il calcolo del NDVI si effettua a partire dai dati di riflettanza ottenuti dal preprocessing, la correlazione diventa maggiormente significativa ( $R^2= 0.6333$ ,  $p=0.0001$ , curva 3) e si avvicina a quella dei dati IKONOS ( $R^2= 0.83$ ), riportati sullo stesso grafico (curva 1). In Fig. 4 è riportato l'andamento dell'RWC e dello spostamento del REIP ( *Red Edge Inflection Point*), calcolato a partire dai dati ASPIS RE preprocessati per i punti a terra dove sono stati effettuati i prelievi fogliari su frutteti in

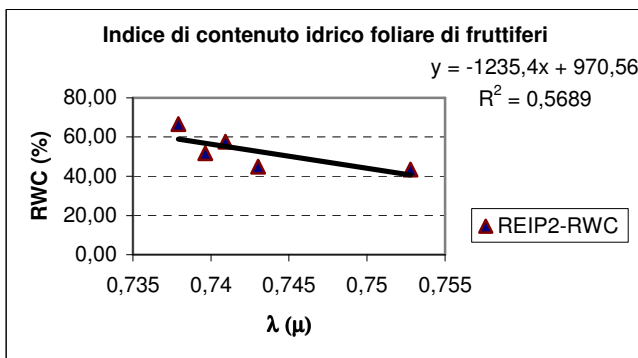


Fig. 4 – Stima dell'RWC dalla posizione del REIP

conclusione, da questi risultati preliminari il sistema ASPIS conferma le sue potenzialità anche per la valutazione di alcuni importanti parametri biofisici della vegetazione per la stima degli effetti legati ai fenomeni di desertificazione. Le procedure di preprocessing qui descritte sono risultate efficaci nel migliorare le capacità predittive dei dati telerilevati da tale sistema ma richiedono ulteriori sforzi per una loro sistematizzazione, ingegnerizzazione ed utilizzo operativo.

## BIBLIOGRAFIA

Walthall C. L., Norman J. M., Welles J. M., Campbell G., Blad B. L. (1985) – *Simple equation to approximate the bi-directional reflectance from vegetative canopies and bare soil surfaces*. Applied Optics, 24(3), 383-387.

Crippen R. E. (1987) – *The regression intersection method of adjusting image data for band ratioing*. International Journal of Remote Sensing, 8(2), 137-155.

VERMOTE E.F., TANRE D., DEUZE J.L., HERMAN M., MORCRETTE J.J., 1997 – *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview*. Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 35 (3): 675-686.

Dawson T.P., Curran P.J. (1998) – *A new technique for interpolating the reflectance red edge position*. International Journal of Remote Sensing, 19(11), 2133-2139.

Belli C., 2003. *L' Advanced SPectroscopic Imaging System (ASPIS). Un nuovo sistema digitale di telerilevamento aereo per lo studio delle risorse agricole - forestali*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Ecologia Forestale XV Ciclo. DISAFRI, Università degli Studi della Tuscia.

stima degli effetti di BRDF dovuti ai differenti angoli di vista (zenit ed azimut). In Fig. 3, è stato calcolato un primo set di valori di NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) corrispondenti punti di misura del LAI utilizzando le firme spettrali in DN mediate sui valori dello stesso punto estratti dalle varie immagini ASPIS) ortocorrette in cui esso ricadeva (ma non corrette radiometricamente). Tali valori presentano bassa correlazione ( $R^2= 0.41$ ) con le misure di

stati effettuati i prelievi fogliari su frutteti in aree irrigate, sui quali successivamente è stato calcolato il RWC , indice del contenuto di umidità normalizzato per specie. Per il calcolo del REIP è stato utilizzato il metodo LIM (Lagrangian Interpolation Method ) (T.P. Dawson & P. J Curran, 1998). Come si vede tale indice spettrale appare correlato negativamente al RWC, sebbene l'esiguo numero dei punti di misura, dovuto alla

perdita di alcune immagini per inconvenienti tecnici, richieda ulteriori indagini. In