

# **Telerilevamento satellitare ed aereo per lo studio degli effetti della desertificazione sulle colture.**

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. \*\*

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 sono descritte alcune metodologie sviluppate per valutare l'utilizzo integrato di rilievi effettuati con sensori satellitari ed aerei e calibrati tramite apposite campagne di misura a terra, per il monitoraggio di specifici parametri biofisici d'interesse per gli effetti della desertificazione sulla vegetazione agricola (cerealicoli e frutteti). Le campagne sono state effettuate su aree coltivate nel Sud d'Italia dove sono in corso processi di salinizzazione dei suoli, e possibilità di stress idrico derivante da insufficiente irrigazione. La rilevazione a terra di parametri biofisici su piantagioni di grano e frutteti, unitamente alle relative firme iperspettrali acquisite con radiometro portatile sull'intero range d'interesse, ha permesso l'analisi delle sensibilità delle varie bande spettrali dei sensori utilizzati (TM/ETM, IKONOS), in particolare dell'innovativo ASPIS (Advanced SPectroscopic Imaging System), installato su piattaforma ultraleggera. Oltre che dall'alta risoluzione radiometrica (14 bit) e spettrale (5-10 nm), ASPIS è caratterizzato dalla capacità di utilizzare bande selezionabili in un range che comprende lo spettro visibile e NIR (Near Infra Red). L'analisi, in una prima fase, è stata effettuata valutando il livello di correlazione tra le misure a terra dei parametri ed i corrispondenti indici spettrali derivati dai dati iperspettrali del radiometro. Tali risposte "a terra", dopo un adeguato preprocessing, sono state poi confrontate con quelle effettivamente ottenute elaborando i dati ripresi sulle aree d'interesse tramite i vari sensori a bordo delle piattaforme satellitari ed aeree. Dai risultati dello studio derivano anche utili indicazioni sugli intervalli spettrali da utilizzare per il monitoraggio, tramite telerilevamento aerospaziale, dei parametri biofisici relativi al contenuto idrico fogliare ed alla salinizzazione dei suoli legati a fenomeni di desertificazione.

## **ABSTRACT**

In this work are described some methodologies developed for evaluating the effectiveness of satellite and aircraft remotely sensed data, supported by field campaign, in monitoring specific agricultural vegetation (cereals and fruits) biophysical parameters, sensible to desertification effects. The field activities, have been carried out on agricultural areas, in the Southern Italy, affected by soil salinisation processes and water stress risk, arising from insufficient irrigation. The field measurements of crops and fruits specific biophysical parameters both with related hyperspectral signatures acquired through hand radiometer along the entire range of interest, allowed us to perform the sensibility analysis for all the acquisition bands of used sensors (TM/ETM, IKONOS), in particular of ASPIS (Advanced SPectroscopic Imaging System), on board of ultra-light aircraft. In addition to an high radiometric (14 bit) an spectral (5-10 nm) resolution, the ASPIS features include the capacity of programmable acquisition bands which cover the spectral range from visible to NIR (Near Infra Red). In the first phase, the analysis has been carried out by evaluating the correlation level between the parameters field measurements and the related spectral vegetation indexes, derived from hyperspectral radiometer data. These latter responses, after a suitable

preprocessing, have been compared with those obtained from remotely sensed data of each satellite and aircraft sensor over the areas of interest. The study outputs include also some useful indications about spectral intervals to use for monitoring, by means of remote sensing techniques, valuable parameters related to leaf water content and soils salinisation, connected to desertification phenomena.

## RILIEVI A TERRA ED AEROSPAZIALI

Per la messa a punto delle metodologie sono state selezionate varie aree di test in Italia meridionale sensibili ai fenomeni di degrado suddetti: 2 sulla costa Ionica della Basilicata, caratterizzate da vegetazione seminaturale ed agricola (in prevalenza frutteti), altre 3 in Puglia, sul lago di Lesina e nei pressi di Foggia e Manfredonia, coltivate a cerealicoli (grano, orzo). Su di esse sono state condotte campagne di misure a terra per acquisire misure puntuali di parametri biofisici della vegetazione sensibili agli effetti della desertificazione, unitamente alle relative firme iperspettrali contemporaneamente ai rilievi effettuati tramite sensori aviotrasportati e satellitari (IKONOS, TM/ETM). Nella figura 1 sono mostrate le 2 aree di studio della costa Ionica corrispondenti ai rettangoli tracciati in chiaro con relative etichette numeriche, mentre nella fig. 2 quelle pugliesi evidenziate con rettangoli in scuro tratteggiati.

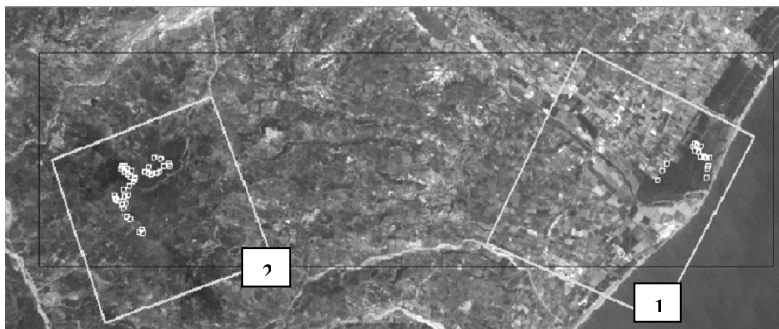


Fig. 1 – Aree di test della costa Ionica

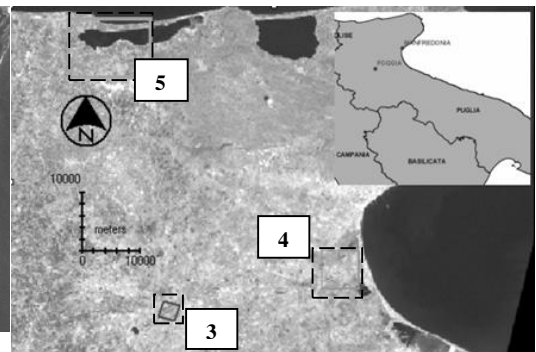


Fig. 2 – Aree di test Pugliesi

I parametri biofisici misurati in corrispondenza dei siti dove sono stati contemporaneamente acquisiti i dati iperspettrali tramite radiometro portatile sono:

1. l'RWC (Relative Water Content) ed FMC (Fuel Moisture Content), su campioni di foglie prelevati nelle aree coltivate a frutteti della costa Ionica (estate 2004) e di Foggia (primavera-estate 2005);
3. la conducibilità elettrica del suolo misurata in microsiemens al centimetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), nelle aree coltivate a cerealicoli di Manfredonia (campagna 2005) e Lesina (2004- e dati acquisiti dall'Università di Foggia);
4. la tessitura del suolo, nelle aree coltivate di Lesina e della costa Ionica.

Gli indici o parametri biofisici RWC ed FMC sono legati al contenuto d'acqua fogliare e definiti nel modo seguente:

$$\text{RWC} = \frac{(P_w - P_d)}{(P_s - P_d)};$$

$$\text{FMC} = \frac{(P_w - P_d)}{P_w},$$

con  $P_w$ , peso umido delle foglie,  $P_d$ , peso secco delle foglie (essiccazione in forno a  $80^\circ$  per 24 ore),  $P_s$  peso saturo, ottenuto per imbibizione ponendo le foglie in acqua distillata per 6 ore.

Mentre l'FMC è un indice di contenuto idrico, l'RWC è piuttosto una misura del deficit idrico della foglia rispetto a condizioni ottimali; inoltre la divisione per il valore massimo fornisce una sorta di normalizzazione tra le varie specie in modo da rendere confrontabili le misure di questo parametro.

Le missioni per l'acquisizione di dati telerilevati, tramite sensori aviotrasportati, sono state effettuate in contemporanea ai rilievi a terra e nei periodi dal 13 al 15 luglio 2004, sulle aree della costa Ionica, e dal 26 al 27 aprile 2005 sulle aree pugliesi. La tabella (Tab. 1) riporta le

caratteristiche geometriche ed i parametri di volo con cui sono stati effettuati i rilievi aerei. Nella missione 2004 (e successivamente nel 2005) il sistema ASPIS è stato utilizzato per acquisire immagini multispettrali secondo due diverse configurazioni del sensore, denominate rispettivamente NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e RE (Red Edge). Nella prima i 4 canali selezionati tramite filtri sono stati: Green, Red, RE1, NIR, mentre la seconda comprendeva 4 canali pressoché contigui (RE1, RE2, RE3, RE4) nel range del “red edge” compreso tra il Red e il NIR. Sull’area pugliese del lago di Lesina non sono stati effettuati rilievi aerei ma sono stati utilizzati solo immagini multispettrali Landsat TM. Oltre a quest’ultimo sensore ed alle riprese ASPIS, per la campagna 2004 sulle 2 zone d’interesse della costa Ionica, sono stati acquisiti dati multispettrali e pancromatici IKONOS, mentre nel 2005, per le aree pugliesi con le riprese ASPIS, sono stati utilizzati solo i dati TM.

Sistema	Area di studio	Data di acquisizione	Quota di volo	Quota di volo	Altezza di volo	Risoluzione geometrica
			ft slm	m slm	m	m
ASPIS	Pantano	13/07/2004	4000	1219.2	1205.0	0.90
ASPIS	Monte Coppolo	13/07/2004	5500	1676.4	1242.0	0.93
ASPIS	Pantano	15/07/2004	4500	1371.6	1358.0	1.02
ASPIS	Monte Coppolo	15/07/2004	5500	1676.4	1242.0	0.93
ASPIS	Manfredonia	27/04/2005	4500	1371.6	1369.6	1.03
ASPIS	Foggia	27/04/2005	4500	1371.6	1291.6	0.97
ASPIS	Foggia	28/04/2005	4500	1371.6	1291.6	0.97

Tab. 1 – Voli per rilievi ASPIS su aree di test

## SIMULAZIONI ED ANALISI DATI

Lo spettroradiometro ASD FieldspecPro utilizzato, è uno strumento portatile in grado di misurare in modo passivo la radianza/riflettanza in strettissime bande spettrali (1, 2 nm), su uno spettro ampio, includente i range del visibile, NIR e SWIR. Ad ogni oggetto ripreso è possibile così associare uno

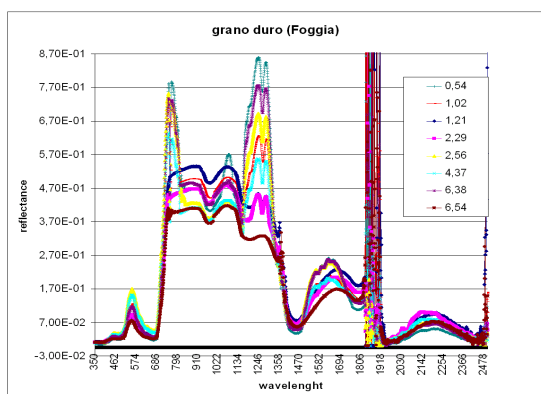


Fig. 3 – Firme iperspettrali di grano su suoli affetti da salinizzazione

spettro quasi continuo (firma iperspettrale) che può essere usato per caratterizzare efficacemente le risposte spettrali delle varie coperture della superficie terrestre, in particolare la vegetazione.

Le ragioni legate all’utilizzo di misure spettroradiometriche in campo sono molteplici. Per esempio, i valori misurati a terra utilizzando l’illuminazione solare incidente sul target che generalmente risulta maggiormente omogenea rispetto alla scala dell’immagine telerilevata, possono essere utilizzati per la conversione dei valori di radianza al sensore (satellitare o aereo) di un’immagine in valori di riflettanza a terra, connessi alle proprietà ottiche

degli oggetti legate ai parametri biofisici da stimare ed indipendenti dall’illuminazione solare e dall’atmosfera. In questo lavoro l’utilizzo dello strumento, in particolare, è stato finalizzato all’esecuzione di misure in campo sulla vegetazione agricola. La figura 3 mostra alcune firme

iperspettrali acquisite nel maggio 2004 su grano nei pressi del lago di Lesina, in suoli a diversa conducibilità (riportata in  $\mu\text{S}/\text{cm}$  in legenda), dopo preelaborazione.

Dal grafico (Fig. 3) si nota la tipica firma spettrale della vegetazione con variazioni evidenti nei range del verde (575 nm.), del NIR (da 680 a 1450 nm.) e del SWIR (da 2000 a 2600 nm.); gli andamenti fuori range ( $>1$ ) della riflettanza in corrispondenza dei valori di lunghezze d'onda di circa 1850 e 2500 nm si riferiscono, ad intervalli non affidabili corrispondenti alle zone di transizione tra un sensore e l'altro del radiometro.

Ovviamente tali variazioni sono dovute a fattori diversi mentre il nostro obiettivo è d'individuare quelle connesse alla differente salinità dei suoli che ne determina la conducibilità elettrica. Quindi per la valutazione della sensibilità delle varie frequenze utilizzate, sulla base di un modello lineare è stata calcolata la correlazione tra i valori di conducibilità rilevati dai campioni di terreno ed i corrispondenti dati di riflettanza nelle varie lunghezze d'onda, acquisiti tramite radiometro su grano nei punti corrispondenti ai prelievi.

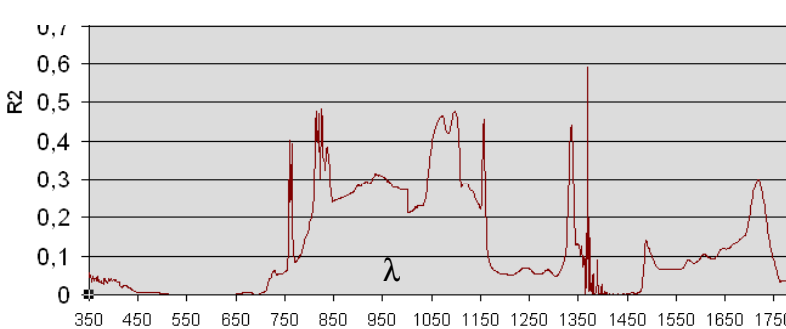


Fig. 4 – Correlazione ( $R^2$ ) tra riflettanza iperspettrale di grano e conducibilità dei relativi suoli affetti da salinizzazione

La figura 4 riporta l'andamento della correlazione, in termini del coefficiente  $R^2$ , tra i valori della conduttività del suolo e della relativa riflettanza iperspettrale. Escludendo i range d'inaffidabilità dei dati dovuti alla diversa sensibilità dei rilevatori dell'ASD (~1800 nm.) si nota che valori di correlazione massimi locali superiori a 0.3 si raggiungono in vari intervalli spettrali: 760-765 nm, 820-825 nm, 1075-1100 nm, 1155-1160 nm, 1330-1340 nm. La larghezza di tali picchi in termini di FWHM (Full Width Half Maximum) può essere considerata una misura della loro discriminabilità spettrale, o meglio della risoluzione spettrale necessaria per la loro discriminazione ottimale. Cosicché tali picchi dal valore di FWHM intorno ai 10-20 nm., risultano alla portata di un sensore aviotrasportato dalle caratteristiche spettrali simili a quelle dell'ASPIS, con larghezza di banda di circa 10 nm., mentre sono difficilmente rivelabili dai sistemi satellitari multispettrali a media-alta risoluzione (geometrica) utilizzati per il monitoraggio terrestre (SPOT, Landsat, Ikonos) aventi larghezza (risoluzione) spettrale delle bande di circa 50-100 nm. Spesso al fine di minimizzare gli effetti di rumore introdotti dall'atmosfera e dalla topografia, i dati di riflettanza acquisiti dai sensori per telerilevamento, dopo il preprocessing, sono combinati sotto forma di indici spettrali consistenti in varie espressioni algebriche dei valori di

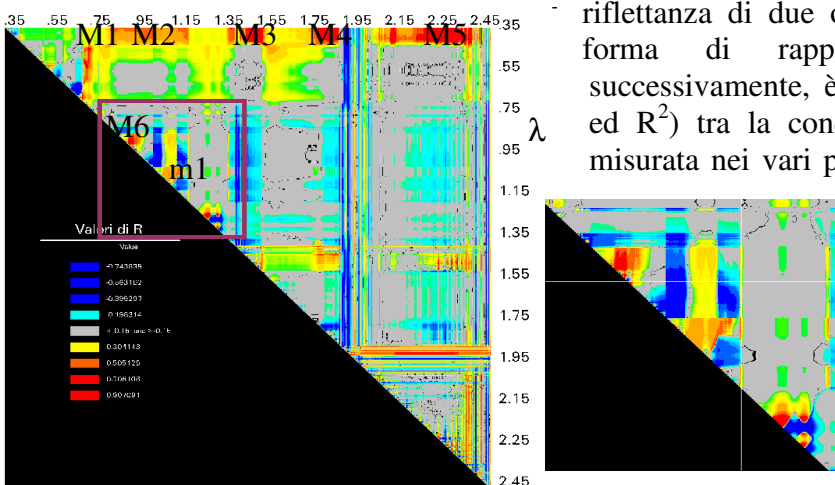


Fig. 5 – Coefficiente di correlazione (R) tra indice spettrale, ottenuto da rilievi tramite radiometro ASD FieldspecPro su grano dell'area del lago di Lesina (Puglia) e relativa conducibilità su suoli soggetti a salinizzazione (con particolare ingrandito a fianco)

riflettanza di due o più bande, frequentemente sotto forma di rapporti. In quest'ottica quindi, successivamente, è stata calcolata la correlazione ( $R$  ed  $R^2$ ) tra la conducibilità elettrica (salinizzazione) misurata nei vari punti e le relative combinazioni dei valori di riflettanza nelle 2 bande sotto forma di rapporto ( $B_n/B_m$ ) e rapporto normalizzato ( $(B_n - B_m)/(B_n + B_m)$  con  $B$ ).

In figura 5 è riportata la distribuzione dei massimi ( $M_x$ ) e minimi ( $m_x$ ) (evidenziati tramite sogliatura) dei valori del

coefficiente di correlazione (R), tra il rapporto della riflettanza nelle varie coppie di bande

iperspettrali ed i corrispondenti valori di conducibilità elettrica dei suoli. Poiché la distribuzione risulta simmetrica rispetto alla diagonale nelle Fig. 5 4 7 sono riportate solo le parti superiori delle matrici sotto forma di mappe tematiche in cui le tonalità etichettate Mx indicano i massimi locali mentre quelle con mx i minimi.

Si ottiene distribuzioni notevolmente simili se si considerano i rapporti normalizzati di bande. Per queste combinazioni di 2 bande sotto forma di rapporti aumentano i valori assoluti della correlazione rispetto alle singole frequenze. I massimi locali in fig 5 corrispondono a range intorno a (1450, 400 nm.), (1780, 400 nm.), (2280, 400 nm.) e di ampiezza 60-80 nm.. Come si nota, altri massimi locali sono disposti all'angolo in alto a sinistra del grafico, in corrispondenza dell'area del "Red Edge": (720, 490 nm.); e lungo la diagonale: (1030, 950 nm.), (1295, 1235 nm.). Da ciò appare evidente la necessità di avere bande di acquisizione dei sensori remoti collocate nelle zone spettrali SWIR (Short-Wave Infra Red), Visibile (UV, Blu), "Red Edge" (720-770 nm.).

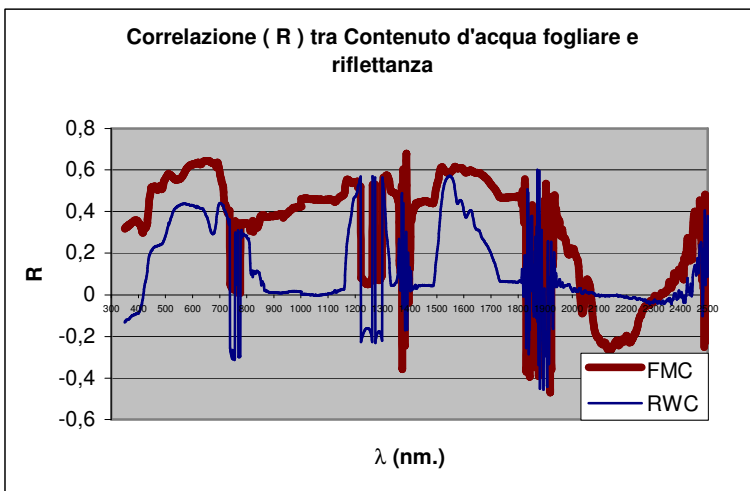


Fig. 6 – Correlazione ( R ) tra riflettanza iperspettrale e contenuto d'acqua fogliare di fruttiferi

Nel grafico (Fig. 6) è visualizzata la distribuzione del coefficiente di correlazione R calcolato tra i valori di riflettanza rilevati tramite radiometro e quelli degli indici FMC (linea più spessa) ed RWC, valutati in laboratorio sui prelievi fogliari corrispondenti ai punti di misura a terra, georeferenziati in precedenza con sistema GPS differenziale. I valori massimi assoluti di R calcolati per l'FMC con questo set di misure si

attestano intorno a 0.6-0.65 e risultano maggiori di quelli calcolati per l'RWC.

Nel grafico si evidenzia un andamento di R, con un massimi locali ampi (~ 100 nm.) per l'FMC intorno a circa 700 nm. ed al SWIR a circa 1700 nm. Valori negativi significativi di R sono localizzati intorno a 400 nm. per RWC, e 2100 nm, con ampiezza maggiore per FMC.

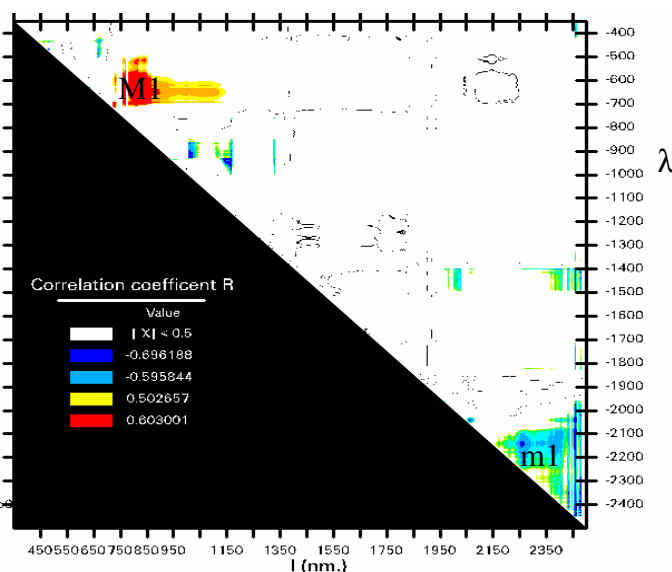


Fig. 7 – Correlazione ( R ) tra indice spettrale e contenuto d'acqua (RWC) fogliare di fruttiferi

Dalla figura 7, che riporta i massimi ed i minimi locali della correlazione tra indice iperspettrale e contenuto d'acqua fogliare (FMC) di fruttiferi della costa Ionica, si evince con maggior accuratezza la presenza del massimo (M1) nella zona del "red edge" (720-780 nm.) con caratteristiche di estensione di circa 50 nm.

Per la valutazione dell'efficienza dei sensori satellitari ed aerei utilizzati, i dati rilevati a terra tramite radiometro sono stati combinati con le curve di sensibilità corrispondenti alle bande di acquisizione dei vari sensori, in modo da simulare le specifiche risposte "a terra" escludendo effetti di rumore atmosferico, disomogeneità nell'illuminazione e nella copertura ed anisotropia nella riflettanza (BRDF) delle superfici.

Per i vari sensori utilizzati è così stato possibile stimare direttamente il grado di correlazione ( $R^2$ ) sia a livello della singola banda che di indici spettrali per i vari parametri biofisici d'interesse ed in particolare per le variazioni di riflettanza connesse al contenuto d'acqua fogliare sotto forma di RWC ed FMC. Successivamente la valutazione del grado di correlazione è stata effettuata sui valori di riflettanza derivati dai vari sensori satellitari ed ASPIS, debitamente preprocessati. Sono state riportate ad esempio tali analisi effettuate per le piantagioni di agrumi (Tab. 2, 3). In Tab. 3 sono

VI	TM		IK		ASP	
	RWC	FMC	RWC	FMC	RWC	FMC
NDVI	0,339	0,997		0,352		0,784
BVI		0,908		0,221		0,379
GVI						0,38
NDVRE1						0,911
NIR/RED	0,497	0,965		0,215		0,821
RE4/RE1						0,862
NDWI1		0,531				
NDWI2	0,28	0,445				

Tab. 2 – Correlazione ( $R^2$ ) tra indici spettrali simulati e indici di contenuto d'acqua fogliare (RWC,FMC) di agrumeti.

riportati i valori calcolati per vari passaggi Landsat TM/ETM (26-5, 21-7, 30-8), per 2 aggregazioni (3x3 ed 8x8) di dati IKONOS acquisiti il 30-7 e per ASPIS.

Come si vede dal confronto delle due tabelle, in generale, la correlazione degli indici IKONOS appare leggermente più bassa di quella relativa a TM/ETM, sia per i valori simulati che per quelli rilevati dai sensori remoti relativi allo stesso periodo (Lds\_ETM\_21\_7). In Tab.3 i valori TM/ETM sono massimi per il passaggio del 26-5 e diminuiscono generalmente per i due successivi.

Per i dati IKONOS l'aggregazione a livello della risoluzione Landsat (8x8) porta ad un peggioramento della correlazione come previsto. I valori di  $R^2$  relativi all'usuale NDVI, per l'FMC, passando dalle simulazioni a terra ai valori rilevati diminuiscono notevolmente, indicando ancora un impatto notevole dei vari effetti di noise (Atmosfera, BDRF,...). Contrariamente alle simulazioni (Tab.2) gli indici ASPIS (NDVI) e TM(GVI, BVI), calcolati da dati telerilevati (Tab.3), risultano significativamente correlati all'RWC. Limitatamente al periodo di massimo sviluppo vegetativo (passaggio TM del 26-5), risultano sensibili al contenuto d'acqua gli indici (NDWI1-2), costruiti con rilievi nelle bande SWIR (Short Wave Infra Red) di cui è dotato il TM. Significativamente sensibili appaiono infine gli indici costruiti con rilievi nell'intervallo del "red edge" (720-780 nm) effettuati tramite il sensore ASPIS (NDVRE1, RE4/RE1, MF'RE, quest'ultimo connesso alla derivata nell'intervallo). I risultati preliminari ottenuti dimostrano che queste metodologie, inclusi i rilievi aerei con sensori avanzati, sono proficuamente utilizzabili anche a supporto della progettazione di eventuali futuri sensori satellitari in grado di rilevare effetti di stress idrico e salinizzazione su cerealicoli e fruttiferi.

VI	Lds_TM_26_5		Lds_ETM_21_7		Lds_TM_30_8		IKONOS		IKONOS 8x8		ASPIS°	
	RWC	FMC	RWC	FMC	RWC	FMC	RWC	FMC	RWC	FMC	RWC	FMC
NDVI		0,629		0,464	0,377	0,385		0,404			0,696	
GVI	0,748						0,511		0,491	0,398		0,472
BVI	0,691		0,471						0,47			
NDWI1		0,641		0,588	0,587	0,475						
NDWI2		0,599										
NDVRE1												0,932
MF'RE												0,763

Tab. 3 – Correlazione ( $R^2$ ) tra indici spettrali da dati telerilevati preelaborati e indici di contenuto d'acqua fogliare (RWC,FMC) di agrumeti.