

## **Caratterizzazione del dato WorldView-2 su aree d'interesse naturalistico**

Maria Adamo, Cristina Tarantino, Francesco P. Lovergine, Guido Pasquariello, Palma Blonda

ISSIA – CNR, Via Amendola 122/D-O, Bari, Italy, Tel. +390805929437, Fax +390805929460, [adamo@ba.issia.cnr.it](mailto:adamo@ba.issia.cnr.it)

### **Riassunto**

Il presente lavoro descrive i risultati dell'analisi di un'immagine Worldview-2 concessa dalla DigitalGlobe nell'ambito della sua "8-bands Research Challenge". L'intento è stato quello di stimare il contributo apportato dalle nuove bande spettrali in dotazione al nuovo sensore Worldview-2 rispetto a quelle tradizionali di cui sono dotati i sensori ad altissima risoluzione spaziale in commercio (ad es. Quickbird e GeoEye-1) per applicazioni mirate alla produzione di mappe tematiche di copertura del suolo.

Lo studio è stato articolato in due parti. Nella prima parte l'immagine è stata utilizzata per individuare le differenti classi di copertura del suolo mediante l'applicazione di un algoritmo di segmentazione non supervisionata e con l'aiuto di una mappa di uso del suolo tipo *Corine Land Cover* prodotta alla scala 1:10.000. I profili spettrali di ciascuna classe sono stati confrontati con gli spettri ottenuti mediante un'acquisizione del sensore iperspettrale MIVIS.

Nella seconda parte è stata applicata una procedura di classificazione supervisionata per produrre una mappa di copertura del suolo sfruttando le 8 bande del sensore con le seguenti configurazioni in input: R, G, B, NIR ovvero il set delle 4 bande tradizionali disponibili sui sensori ad altissima risoluzione spaziale in commercio; R, G, B, NIR + ciascuna delle 4 bande aggiuntive; l'intero set delle 8 bande di cui è dotato il sensore Worldview-2.

L'accuratezza della mappa risultante è stata stimata utilizzando un dataset di campi di test selezionati in maniera casuale sull'immagine considerata. La scena investigata è caratterizzata da una notevole diversità di tematismi essenzialmente naturali: paludi, coltivi vegetati e non, boschi e cespuglieti, con diverso contenuto di umidità. I risultati dell'analisi si prestano a molteplici considerazioni: sebbene le bande siano alquanto correlate tra loro, l'aggiunta d'informazione spettrale consente di aumentare la capacità di discriminazione di alcuni specifici tematismi.

### **Abstract**

The work describes the results of the analysis of a Worldview-2 image granted by DigitalGlobe in its "8-bands Research Challenge". The aim of the work was the study of the performance of the new add on spectral bands offered by the Worldview-2 sensor respect to the traditional spectral bands of other very high spatial resolution commercial sensors (i.e. Quickbird, GeoEye-1) for the extraction of land cover thematic maps. The study was developed in two parts. In the first part the image was used to investigate among the different land cover classes applying an unsupervised algorithm for the clustering and using an available land use map, Corine-like, at a 1:10000 scale. The spectral profiles for each class were compared with those acquired by the hyperspectral MIVIS sensor.

In the second part a supervised classification algorithm was applied in order to produce a land cover map using the 8 bands of the sensor with different input configurations to the classifier: R, G, B, NIR that are the 4 traditional bands available in other very high spectral resolution commercial sensors; R, G, B, NIR + each of the 4 add on bands; the whole spectral set of 8 bands of Worldview-2 sensor.

The accuracy of the resulting map was estimated using a test set randomly selected on the image. The scene is characterized by different, essentially natural, classes: marshlands, arable land with or without vegetation, woods or shrublands, with different moisture content. The results of the analysis offer many considerations: even though the spectral bands are quite correlated each other, the amount of spectral information can increase the discrimination capability of some specific ground classes.

### L'immagine Worldview-2

Il dataset analizzato consiste in un'immagine Worldview-2 acquisita su un'area di 100 km<sup>2</sup> il 13 Giugno 2010 alle ore 09:48 UTC. Il frame acquisito include la zona SIC denominata "Oasi Naturale del Lago Salso". Il sito scelto si rivela particolarmente significativo per la presenza di una zona umida tra le più importanti del sud dell'Italia. In Figura 1 è rappresentata la composizione RGB, nel visibile, dell'immagine.

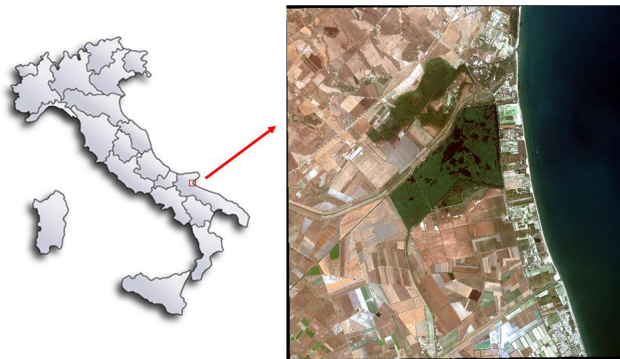


Figura 1 – Composizione RGB dell'immagine Worldview-2.

L'immagine è stata calibrata e trasformata in riflettanza al TOA (Top of the Atmosphere) per ottenere profili spettrali delle classi a terra indipendenti dalla geometria d'illuminazione in modo da poter eseguire confronti con le immagini iperspettrali acquisite sul sito. In aggiunta alle 4 bande multispettrali di cui sono dotati i sensori ad altissima risoluzione spaziale (BLUE, GREEN, RED e NIR) il sensore Worldview-2 è dotato di altre 4 bande aggiuntive: la banda denominata COASTAL (400-450 nm), la banda YELLOW (585-625 nm), la banda in corrispondenza del RED EDGE (705-745 nm) e una seconda banda nel NIR (NIR2, 860-1040 nm).

In letteratura sono presenti molti lavori in cui è stata esplorata la possibilità di usare le nuove bande del sensore in differenti campi di applicazione (Bramante et al., 2010, Ozdemir, Karnieli, 2011, Borel, 2010). Inoltre è stata evidenziata l'alta correlazione fra alcune bande. In particolare tra la COASTAL e la banda nel BLUE e tra le due bande nel NIR le cui informazioni potrebbero rivelarsi pertanto ridondanti e poco utili (Peroni et al., 2010).

### Selezione e caratterizzazione delle classi

Per la selezione delle classi su cui effettuare l'analisi è stata utilizzata come verità a terra una mappa di *land use* del 2006 prodotta nella tassonomia CORINE e ad una scala 1:10000. Originariamente sulla mappa erano presenti 40 classi tematiche delle quali sono state selezionate solo quelle esclusivamente di *land cover*. Successivamente è stata applicata sull'immagine telerilevata una procedura di segmentazione non supervisionata al fine di riconoscere un certo numero di classi spettralmente differenti.

E' stato utilizzato l'algoritmo "K-Means" applicato sulle 8 bande dell'immagine Worldview-2 con un numero massimo di iterazioni pari a 50 e una soglia dell'1% come criterio di convergenza.

A completamento di questo step sono state così selezionate 20 classi. Dal confronto di questi risultati con l'informazione di *ground truth*, alcune delle classi originarie sono state separate in più classi mentre per altre è stato effettuato un *merging* sino ad ottenere una serie di 18 classi distinte di *land cover* su cui eseguire lo studio di caratterizzazione.

Nella Tabella 1 sono schematizzate le classi scelte, raggruppate in 4 principali macro-classi: ACQUA, SUOLI, VEGETAZIONE e SUPERFICI ARTIFICIALI.

Le classi appartenenti a quest'ultima macro-classe non sono state considerate nell'analisi seguente in quanto caratterizzate da una presenza poco significativa sulla scena.

MACRO-CLASSI	N°	CLASSI	TRAINING pixels (TOT.21948)	TEST pixels (TOT.26428)
ACQUA	1	MARE 1 (massima profondità)	1365	1270
	2	MARE 2 (media profondità)	938	1845
	3	MARE 3 (zona costiera)	2009	2067
	4	FIUMI	1322	2012
	5	PALUDI	1924	1991
SUOLI	6	TERRENI NUDI 1 (marrone scuro)	1224	1245
	7	TERRENI NUDI 2 (marrone chiaro)	1104	1409
	8	TERRENI NUDI 3 (arancione)	1483	1646
	9	TERRENI NUDI 4 (marrone chiarissimo)	1316	1198
	10	SABBIA	857	730
VEGETAZIONE	11	CAMPI VEGETATI 1 (verde intenso)	1250	918
	12	AREA PALUDOSA VEGETATA 1 (verde scuro)	1272	537
	13	VEGETAZIONE NON ALBERATA	1031	3252
	14	FORESTE	561	1693
	15	CAMPI VEGETATI 2 (verde chiaro)	1302	742
	16	AREA PALUDOSA VEGETATA 2 (verde meno scuro)	1154	748
SUPERFICI ARTIFICIALI	17	STRUTTURE ARTIFICIALI	984	1521
	18	CAMPI VEGETATI CON TELONI	852	1265

Tabella 1 – Selezione delle classi sull'immagine.

### Analisi spettrale delle classi

La caratterizzazione spettrale delle classi selezionate è stata effettuata con l'ausilio di un dataset di immagini iperspettrali acquisite dal sensore aviotrasportato MIVIS. In particolare è stata utilizzata un'immagine acquisita il giorno 25 Maggio 2009 alle ore 06:18 UTC.

Il MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) è un sistema a scansione costituito da quattro spettrometri che acquisiscono simultaneamente la radiazione proveniente dalla superficie terrestre nel visibile (20 bande tra 0,441 e 0,819  $\mu\text{m}$ ), nel vicino infrarosso (8 bande tra 1,145 e 1,54  $\mu\text{m}$ ), nell'infrarosso medio (64 bande tra 1,992 e 2,474  $\mu\text{m}$ ) e nell'infrarosso termico (10 bande tra 8,34 e 12,42  $\mu\text{m}$ ) per un totale di 102 canali. Dall'applicazione della calibrazione radiometrica nei canali 1 – 92, a ciascun pixel è associato il valore di radianza espressa in  $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{nm}$  mentre per le bande nell'infrarosso termico (canali 93-102) i valori nei pixel sono convertiti in temperatura di brillantezza al sensore espressa in  $^{\circ}\text{C}$ . Il sensore è dotato di una buona risoluzione radiometrica (12 bits) e spaziale. Essendo, infatti, un sensore aviotrasportato ad una quota di volo di 1.5 Km, possiede un pixel di dimensione 3 m x 3 m al nadir.

L'immagine in radianza MIVIS è stata convertita in riflettanza al TOA per rendere anche tale dato indipendente dalla geometria di acquisizione.

Il confronto dei profili spettrali derivati dall'immagine MIVIS con quelli relativi all'immagine Worldview-2 è da considerarsi esclusivamente qualitativo in quanto non è nota la qualità con cui il dato iperspettrale sia stato calibrato durante la fase di pre-processamento. Inoltre, poiché non è stato applicato alcun algoritmo di sottrazione del contributo atmosferico su entrambe le immagini, quest'ultimo contribuirà in maniera differente ai valori di riflettanza sulle due immagini a causa della differente data in cui le immagini sono acquisite e della differente quota di volo a cui hanno acquisito i due sensori. Si è scelto di non applicare sulle immagini alcun algoritmo di rimozione degli effetti atmosferici poiché l'applicazione di una procedura di correzione sull'immagine necessita della conoscenza di informazioni ancillari che raramente sono disponibili se non con un bias temporale e spaziale rispetto all'immagine telerilevata; inoltre, per l'applicazione di una procedura di classificazione supervisionata su un frame spazialmente ridotto, come quello disponibile, non è necessario rimuovere questo contributo, ipotizzando in prima approssimazione, in condizioni di cielo sereno, la presenza di una atmosfera pressoché uniforme su tutto il frame (Baraldi, 2009).

L'analisi spettrale delle classi è stata eseguita selezionando alcune regioni rappresentative per le 18 classi che non presentassero significativi cambiamenti nelle due immagini dovute all'intervallo temporale di un anno intercorso tra esse. Nonostante tale gap temporale poiché le due immagini sono state acquisite entrambe in primavera è possibile ritenere valida, con buona approssimazione, che la gran parte delle classi di vegetazione sia caratterizzata dallo stesso stato fenologico.

In Figura 2 è riportato il subset dell'acquisizione MIVIS corrispondente all'immagine Worldview-2.



*Figura 2 – Immagine MIVIS acquisita il 25 Maggio 2009 alle 06:18 UTC.*

In Figura 3 sono riportati i profili spettrali per le classi di ACQUA relativi alle immagini Worldview-2 (a) e MIVIS (b).

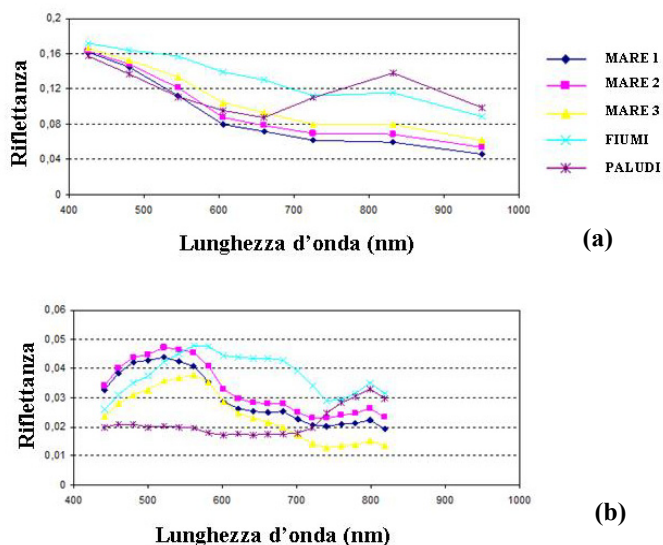


Figura 3 – Spettri Worldview-2 (a) e MIVIS (b) per le classi di ACQUA.

I profili spettrali acquisiti dal sensore Worldview-2 presentano un contributo dell'atmosfera, nel range delle lunghezze d'onda più corte, dovuto allo scattering di Rayleigh mentre prevale l'assorbimento dei gas nel range delle lunghezze d'onda più lunghe (in particolare nella banda del NIR2). Quest'ultimo contributo influisce significativamente anche sui profili MIVIS.

Le classi MARE 1, MARE 2 e MARE 3 sono relative a 3 zone marine corrispondenti, rispettivamente, a tre livelli decrescenti di profondità di fondale e di vicinanza alla costa.

Gli spettri delle tre differenti classi tendono a convergere in corrispondenza della banda COASTAL. Questo comportamento è giustificato dalla presenza predominante del contributo atmosferico rispetto a quello proveniente dalla superficie. Si può inoltre osservare un incremento nei livelli di riflettanza per regioni sempre più prossime alla linea di costa a causa del contributo crescente dei sedimenti sospesi (Stramski et al., 2004).

Il trend degli spettri MIVIS non è indicativo in quanto fortemente dominato dal *sun glint* che in maniera crescente, in direzione ovest-est, interessa la porzione di mare sull'immagine.

Le classi MARE 3 e FIUMI presentano un profilo spettrale simile, evidenziato dalla maggiore risoluzione spettrale del MIVIS, e caratteristico di corpi d'acqua in prossimità di apporti fluviali e di zone costiere.

Le regioni etichettate come PALUDI sono relative ad una serie di corpi d'acqua appartenenti alle zone umide dell'Oasi Naturale del Lago Salso. Sotto lo strato d'acqua superficiale, di profondità variabile a seconda della stagione, vi è uno strato di vegetazione, le cui estremità possono affiorare sulla superficie, influenzando la risposta spettrale della classe.

In Figura 4 sono rappresentati i profili spettrali relativi alle immagini Worldview-2 (a) e MIVIS (b) per le classi di VEGETAZIONE.

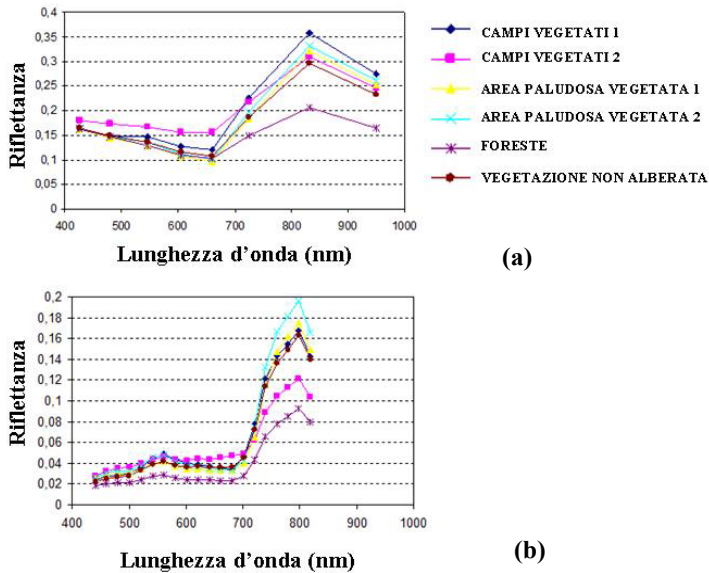


Figura 4 – Spettri Worldview-2 (a) e MIVIS (b) per le classi di VEGETAZIONE.

Gli spettri MIVIS per le sei classi presentano il trend tipico della vegetazione con variazioni tra le classi prevalentemente in termini di slope del profilo spettrale tra il RED e il NIR dovuto alla specie presente a terra e allo stato di salute della pianta (Govender e al., 2007).

I profili Worldview-2, per effetto del contributo atmosferico, non presentano nel range del visibile il tipico trend caratterizzante la vegetazione che invece diventa riconoscibile per le lunghezze d'onda appartenenti al range tra la banda del RED e del NIR1. Escludendo alcuni casi che possono essere giustificati considerando la differenza temporale tra le due acquisizioni, vi è un buon accordo tra i profili spettrali acquisiti dai due sensori.

In Figura 5 sono riportati i profili spettrali Worldview-2 (a) e MIVIS (b) per le classi di SUOLO.

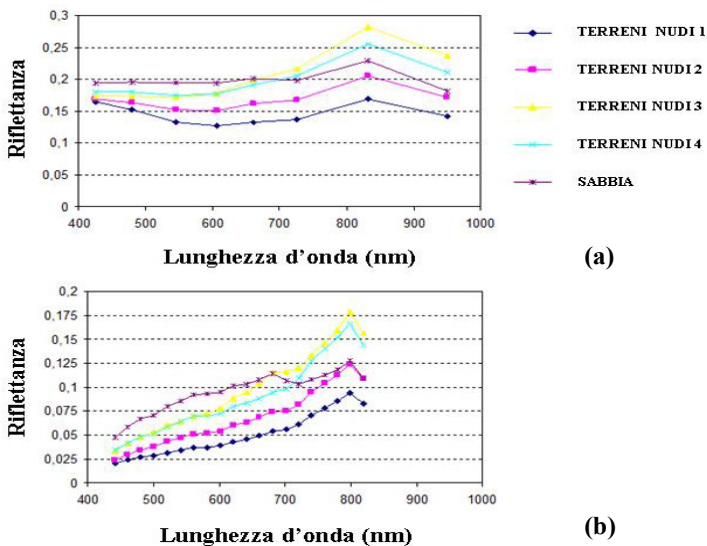


Figura 5 – Spettri Worldview-2 (a) e MIVIS (b) per le classi di SUOLO.

Le classi TERRENI NUDI 1, TERRENI NUDI 2, TERRENI NUDI 3 e TERRENI NUDI 4 sono caratterizzate da una firma spettrale simile nella forma, ma avente un livello medio di riflettanza crescente. Questo comportamento può essere probabilmente attribuito ad un differente contenuto di umidità dei suoli (Bowers et al., 1965).

### Classificazione del dato Worldview-2: analisi del contributo delle 8 bande spettrali

Per la classificazione supervisionata del dato Worldview-2 è stato utilizzato l'algoritmo statistico *Maximum Likelihood* (ML).

Per ciascuna delle 18 classi (Tabella 1) riconosciute sulla scena attraverso l'applicazione dell'algoritmo di segmentazione, la mappa di verità a terra e caratterizzate spettralmente con il dato iperspettrale MIVIS, è stata effettuata una selezione random di aree campione sull'immagine per il training (TR) e il test (TE) dell'algoritmo.

Per valutare l'accuratezza dell'algoritmo sull'insieme delle classi selezionate è stato utilizzato il parametro di *Overall Accuracy* espresso in percentuale (OA%) con la stima del relativo intervallo di confidenza ( $\delta$ ) con una significatività al 95% (Baraldi et al., 2006).

Per la valutazione dell'accuratezza della classificazione di ciascuna classe è stato considerato il parametro di *Mapping Accuracy* espresso in percentuale (MA%) (Congalton et al., 1999). Quest'ultimo è definito come:

$$MA\% = \frac{\text{pixels}_{\text{correctlyclassified}}}{\text{pixels}_{\text{correctlyclassified}} + \text{pixels}_{\text{omission}} + \text{pixels}_{\text{commission}}} * 100 \quad [1]$$

dove:

$\text{pixels}_{\text{omission}}$  è il numero dei pixel assegnati alle altre classi presenti lungo la riga, relativa alla classe considerata, della matrice di confusione;

$\text{pixels}_{\text{commission}}$  è il numero di pixel assegnati alle altre classi presenti lungo la colonna, relativa alla classe considerata, della matrice di confusione.

L'algoritmo di ML è stato applicato considerando in input le 4 bande spettrali standard (R, G, B, NIR) dell'immagine Worldview-2 e successivamente aggiungendo come 5ª banda ciascuna delle restanti. Infine l'algoritmo è stato applicato alla totalità delle 8 bande acquisite dal sensore.

La Tabella 2 riporta i valori di OA% e relativo  $\delta$ , in training e test, per le diverse configurazioni in input al classificatore.

Input	OA_TR%	$\pm\delta$ _TR%	OA_TE%	$\pm\delta$ _TE%
4 BANDE	98.63	0.15	75.31	0.52
4 BANDE + COASTAL	99.60	0.08	78.09	0.50
4 BANDE + YELLOW	98.62	0.15	77.96	0.50
4 BANDE + RED EDGE	98.87	0.14	79.00	0.49
4 BANDE + NIR2	98.94	0.13	78.92	0.49
8 BANDE	99.71*	0.07	85.50*	0.42

Tabella 2 – OA% risultante dalla classificazione con ML per le diverse configurazioni in input.

L'incremento del numero di bande utilizzate ha l'effetto, sia per il TR che per il TE, di aumentare l'OA% per l'aumento di informazione fornita in input al classificatore. Si osserva un miglioramento del 10% nell'OA% sui dati di test con l'utilizzo delle 8 bande rispetto alla configurazione a 4 bande.

Ciò si traduce in una migliore propensione alla generalizzazione da parte dell'algorithmo quando siano utilizzate anche le informazioni provenienti dalle bande addizionali.

Il simbolo dell'asterisco denota nella tabella il miglior risultato ottenuto sia per i dati di training che di test.

L'analisi è stata ripetuta per ciascuna classe al fine di valutare il contributo che ognuna delle 4 bande aggiuntive può offrire per la caratterizzazione della specifica macro-classe.

In Tabella 3 sono schematizzati i risultati in termini di MA% ottenuti per le classi appartenenti alla macro-classe ACQUA.

Input	MARE 1 (massima profondità)	MARE 2 (media profondità)	MARE 3 (costiero)	FIUMI	PALUDI
4 BANDE	83.33	66.84	70.27	55.81	81.86
4 BANDE + COASTAL	80.41	66.39	72.48	65.53*	83.92
4 BANDE + YELLOW	86.68	84.97*	90.11*	59.01	81.81
4 BANDE + RED EDGE	96.28	77.83	76.87	62.80	84.13
4 BANDE + NIR2	99.52*	72.47	63.35	59.00	93.51*
8 BANDE	100**	91.70**	90.63**	82.88**	99.04**

Tabella 3 – MA% in test per le classi appartenenti alla macro-classe ACQUA.

Il valore migliore di MA% è stato ottenuto utilizzando l'intero set di 8 bande disponibili (indicato con due asterischi nelle Tabelle 3-4-5) con un miglioramento, in media, del 20% rispetto all'utilizzo delle 4 bande standard.

In particolare, analizzando il contributo di ciascuna banda per ogni singola classe si può osservare che (le configurazioni di input con le migliori performance sono contrassegnate con un asterisco nelle Tabelle 3-4-5):

- tranne nel caso della banda COASTAL, la discriminazione della classe MARE 1 migliora con l'utilizzo della configurazione a 5 bande. In particolare, l'utilizzo della banda del NIR2 innalza di circa il 16% il valore di MA%;
- per la classe PALUDI si ottiene il miglior risultato con l'utilizzo della banda NIR2. Ciò può essere spiegato considerando che, come altrove detto, questa classe presenta un profilo spettrale in parte dominato dalla vegetazione;
- la discriminazione delle classe MARE 2 e MARE 3 migliora notevolmente (del 20% circa) utilizzando la banda YELLOW che sembra quindi adatta al riconoscimento delle classi caratterizzate da un maggiore contributo delle sostanze otticamente attive presenti nel corpo d'acqua.

Nella Tabella 4 sono schematizzati i risultati ottenuti per le classi appartenenti alla macro-classe VEGETAZIONE.



<b>Input</b>	<b>CAMPI VEGETATI 1</b>	<b>CAMPI VEGETATI 2</b>	<b>AREA PALUDOSA VEGETATA 1</b>	<b>AREA PALUDOSA VEGETATA 2</b>	<b>VEGETAZIONE NON ARBOREA</b>	<b>FORESTE</b>
4 BANDE	70.91	55.20	93.69	90.42	60.50	93.50
4 BANDE + COASTAL	75.89	86.48*	95.89*	92.90*	74.88*	95.80*
4 BANDE + YELLOW	74.07	53.30	95.20	92.49	60.97	94.69
4 BANDE + RED EDGE	85.25*	56.90	95.20	92.96	68.27	95.64*
4 BANDE + NIR2	75.02	60.96	92.86	90.79	69.68	94.88
8 BANDE	92.08**	89.83**	96.93**	95.38**	90.84**	97.02**

*Tabella 4 – MA% in test per le classi appartenenti alla macro-classe VEGETAZIONE.*

Il miglior valore di MA% è stato ottenuto con la configurazione a 8 bande con un incremento variabile a seconda della classe nel range 3-35%.

Nella Tab. 5 sono schematizzati i risultati ottenuti per le classi appartenenti alla macro-classe SUOLI.

<b>Input</b>	<b>TERRENI NUDI 1</b>	<b>TERRENI NUDI 2</b>	<b>TERRENI NUDI 3</b>	<b>TERRENI NUDI 4</b>	<b>SABBIA</b>
4 BANDE	80.84	38.62	48.72	55.20	39.10
4 BANDE + COASTAL	75.05	38.08	49.48	58.74	41.40*
4 BANDE + YELLOW	81.31*	50.53*	48.51	56.31	39.07
4 BANDE + RED EDGE	78.71	49.78	55.96*	60.28	40.71
4 BANDE + NIR2	80.55	50.17	55.99*	65.01**	39.16
8 BANDE	86.15**	57.67**	61.17**	64.10	44.24**

*Tabella 5 – MA% in test per le classi appartenenti alla macro-classe SUOLI.*

Anche in questo caso la configurazione a 8 bande è quella che produce i migliori risultati in termini di MA% mostrando un miglioramento in media pari a circa il 10% rispetto alla configurazione a 4 bande. In generale le classi appartenenti a questa macro-classe presentano i più bassi valori di MA%.

## **Conclusioni**

Il lavoro descrive l'attività sperimentale svolta per analizzare il contributo fornito dalle bande spettrali aggiuntive (COASTAL, YELLOW, RED EDGE e NIR2) del nuovo sensore ad altissima risoluzione spaziale Worldview-2 per la produzione di mappe di copertura del suolo. Innanzitutto è stata eseguita un'analisi non supervisionata dell'immagine per individuare le differenti firme spettrali (classi) presenti nella scena, in seguito mediante un algoritmo statistico di classificazione

supervisionata è stata prodotta una mappa di copertura del suolo considerando in input al classificatore differenti combinazioni delle bande spettrali disponibili in modo da stimare il contributo di ognuna. L'analisi ha mostrato che le 8 bande spettrali, sebbene correlate tra loro, risultano estremamente utili per migliorare la discriminazione tra sotto-classi corrispondenti alla stessa macro-classe di copertura del suolo. Ciò attesta la capacità del nuovo sensore nell'investigare la diversità presente nei suoli nonostante l'apparente omogeneità nelle convenzionali mappe di copertura del suolo. Dalla classificazione supervisionata è possibile rilevare cambiamenti nella batimetria utilizzando la banda COASTAL; inoltre le bande nelle lunghezze d'onda più corte sembrano essere significative per il riconoscimento di pattern misti di acqua e terreno. La banda YELLOW sembra rilevare la presenza di detriti o la composizione del terreno caratterizzata da un certo grado di "giallosità". Infine le bande RED EDGE e NIR2 appaiono utili per la discriminazione di siti caratterizzati da un mix di acqua e vegetazione. Nel complesso l'accuratezza tematica cresce di circa il 10% con l'uso delle 8 bande rispetto alle 4 bande tradizionali comuni ad altri sensori ad altissima risoluzione spaziale in commercio.

### **Ringraziamenti**

Questo lavoro è stato svolto nell'ambito del progetto RIVONA (Flight Risks Mitigation and Nowcasting at Airport) finanziato dalla Regione Puglia, POFESR 2007-2013.

Si ringrazia la DigitalGlobe per aver messo a disposizione l'immagine Worldview-2 utilizzata.

Si ringrazia Planetek Italia s.r.l. per aver fornito i dati del sensore iperspettrale MIVIS.

### **Bibliografia**

- Baraldi A., Puzzolo V., Blonda P., Bruzzone L., Tarantino C. (2006), "Automatic Spectral Rule-based Preliminary Mapping of Calibrated Landsat TM and ETM+ Images", *IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing*, 44(9)
- Baraldi A. (2009), "Impact of radiometric calibration and specifications of spaceborne optical imaging sensors on the development of operational automatic remote sensing image understanding systems", *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2(2)
- Borel C. C. (2010), "Vegetative canopy parameter retrieval using 8-band data", In: *DigitalGlobe 8-Band Research Challenge 2010*, [www.digitalglobe.com/downloads/8bc/borel\\_8band\\_paper\\_12\\_14\\_10.pdf](http://www.digitalglobe.com/downloads/8bc/borel_8band_paper_12_14_10.pdf)
- Bowers S.A. & Hanks A.J. (1965), "Reflection of radiant energy from soil", *Soil Science*, 100-130
- Bramante J. F., Raju D. K. & Tsai Min S. (2010), "Derivation of bathymetry from multispectral imagery in the highly turbid waters of Singapore's south islands: A comparative study", In: *DigitalGlobe 8-Band Research Challenge 2010*, [www.digitalglobe.com/downloads/8bc/8band\\_Challenge\\_TMSI.pdf](http://www.digitalglobe.com/downloads/8bc/8band_Challenge_TMSI.pdf)
- Congalton R. & Green K. (1999), *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*, CRC/Lewis Press, Boca Raton
- Govender M., Chetty K. & Bulcock H. (2007), "A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies", *Water SA*, 33(2): 1-8
- Ozdemir I., Karnieli A. (2011), "Predicting forest structural parameters using the image texture derived from WorldView-2 multispectral imagery in a dryland forest, Israel", *Int. Journal of Appl. Earth Observation and Geoinformation*, 13(5): 701-710
- Peroni G., Gachelin J.P., Saint-Pol M., Legoff V., Fontanot F. & Sannier C. (2010). "New spectral data available for the controls in agriculture (CWRS) and for vegetation monitoring", *Proc. Of the 16<sup>th</sup> GeoCAP Annual Conference*
- Stramski D., Wozniak S. B. & Flatau P. J. (2004), "Optical properties of Asian mineral dust suspended in seawater", *Limnol. Oceanogr*