

4. TELERILEVAMENTO DELLA VEGETAZIONE CON IL SENSORE MIVIS

La vegetazione, può essere studiata con tecniche di rilevamento a terra e con sensori remoti. Nel passato, i dati raccolti a terra mediante misure puntiformi o areali e/o distribuite su transetti sono stati utilizzati anche per realizzare carte della vegetazione. In ambienti come le barene, nei quali i vari popolamenti vegetali si succedono nell'arco di pochi decimetri, o al massimo di pochi metri, la realizzazione, per via puntuale, di una carta della vegetazione capace di descrivere come effettivamente si distribuiscono le varie specie nello spazio, è pressoché impossibile. La descrizione in dettaglio delle variazioni spaziali, richiederebbe, infatti, campagne di rilevamento molto costose anche perché non sempre le diverse zone sono di facile accesso. Più efficienti sono le tecniche che si basano sul telerilevamento. La vegetazione infatti è facilmente riconoscibile su immagini remote perché i diversi popolamenti hanno comportamenti spettrali che producono vere e proprie "firme". Una curva di riflettanza tipica della vegetazione è riportata in *Fig.4.1*: si osserva che l'andamento di tale curva è regolato, nelle bande del visibile, vicino e medio infrarosso, rispettivamente dal contenuto e tipo di pigmenti fogliari, dalla struttura della foglia e dal contenuto in acqua. La frazione di energia riflessa nel campo del visibile è correlata alla presenza di pigmenti fogliari quali la clorofilla, la xantofilla e il carotene. La clorofilla in particolare, determina l'assorbimento nel blu (0,39 μm) e nel rosso (0,65 μm) e una riflessione dell'energia incidente pari all'8-15% nel verde. La struttura fogliare è responsabile del comportamento spettrale nelle bande dell'infrarosso vicino, tra 0,70 e 1,35 μm , provocando una riflessione molto elevata, nell'ordine del 30-70% dell'energia incidente. Nel dominio dell'infrarosso medio, tra 1,35 e 2,70 μm le proprietà spettrali della vegetazione dipendono strettamente dal contenuto in acqua della foglia. In condizioni di stress idrico si ha un innalzamento dei valori di radiazione riflessa, più accentuato in alcune bande di assorbimento.

La curva di riflettanza può variare in funzione di molti fattori quali il tipo di vegetazione e la sua densità, lo stadio fenologico, lo stato fito-sanitario, il contenuto di umidità, ecc. Dall'analisi dei comportamenti spettrali è possibile definire relazioni quantitative fra dati telerilevati e fenologia mediante algoritmi che si basano sul rapporto delle bande spettrali tipiche di assorbimento e riflessione.

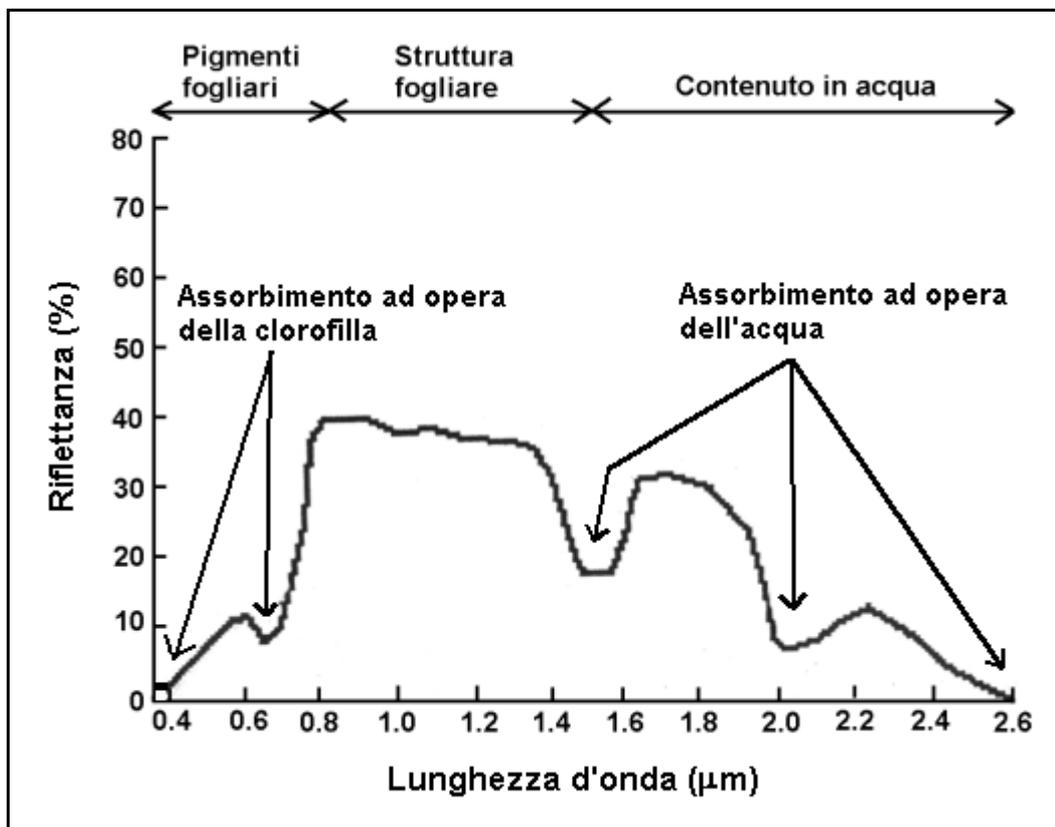


Fig.4.1 – Firma spettrale tipo della vegetazione.

Gli strumenti tipici impiegati per lo studio della vegetazione sono le camere fotografiche con pellicola all'infrarosso falso colore, gli scanner multi- e iperspettrali operanti nel visibile e vicino infrarosso e più raramente gli strumenti a microonde, ancora poco impiegati sia per il loro costo elevato, sia per l'attuale difficoltà di interpretazione dei dati (Lechi, 1999).

La scelta del sensore deve avvenire solo dopo aver chiarito il significato e le motivazioni del monitoraggio e le caratteristiche del bersaglio da rilevare. Nel caso attuale l'obiettivo era di riconoscere e valutare l'abbondanza della vegetazione di barena, cosicché si sono affrontati i seguenti problemi:

- la copertura vegetale non è uniforme e sono possibili interferenze del suolo;

- la composizione floristica della vegetazione varia nello spazio dando luogo a diverse comunità vegetali. Inoltre all'interno di una stessa comunità le proporzioni di ogni singola specie possono pesare diversamente;
- esiste un'elevata variabilità temporale e spaziale delle condizioni di umidità del suolo il quale, in base alle condizioni di marea ed alla topografia della superficie di barena, può essere emerso o completamente sommerso e questo interferisce con la risposta del sensore;
- il territorio è solcato da una fitta rete di ghebi e canali la cui larghezza varia dai metri ai centimetri e può presentare estese superfici d'acqua (chiari).

In base alle caratteristiche del bersaglio elencate, la risoluzione alla quale studiare il sistema deve essere al massimo di qualche metro, mentre il tempo che si può impiegare per acquisire i dati deve essere dell'ordine delle decine di minuti, onde limitare le variazioni di quota dell'acqua dovute alle maree.

Sicuramente i dispositivi a scansione multi- e iperspettrali, montati su piattaforme aeree, offrono il vantaggio di alte risoluzioni geometriche ed elevata velocità nell'acquisire i dati.

Da studi di letteratura (Donoghue e Shennan, 1987; Dale et al., 1986), risulta che i dati multispettrali (pochi canali, in numero inferiore a dieci) consentano di discriminare in modo grossolano tra i vari popolamenti di vegetazione alofila, senza garantire un effettivo riconoscimento delle varie specie. Al contrario i dati iperspettrali (decine di canali) sono in grado di migliorare il riconoscimento anche in zone umide costiere (Bajjouk et al., 1996; Eastwood et al., 1997; Smith et al., 1998).

4.1 Il sensore MIVIS

Il sensore iperspettrale utilizzato nel presente lavoro è il MIVIS (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*) prodotto dalla ditta statunitense Daedalus e, dal 1994, di proprietà del consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR).

Il MIVIS (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*) è un sistema a scansione che opera con un'elevata risoluzione spaziale e spettrale. È uno strumento modulare, costituito da quattro spettrometri che riprendono simultaneamente la radiazione proveniente dalla superficie terrestre nel visibile (20 bande tra 0,43 e 0,83 μm), nell'infrarosso vicino (8 bande tra

1,15 e 1,55 μm), nell'infrarosso medio (64 bande tra 2,0 e 2,5 μm) e nell'infrarosso termico (10 bande tra 8,2 e 12,7 μm) per un totale di 102 canali (Tab.4.I).

La scelta dei canali è stata fatta per soddisfare esigenze di ricerca in applicazioni di botanica, di agraria, di geologia, di pedologia, di idrologia, di oceanografia, ecc.

Tab.4.I – Caratteristiche degli spettrometri MIVIS (Bianchi et al., 1995).

SPETTROMETRO	BANDE	LIMITE INFERIORE (nm)	LIMITE SUPERIORE (nm)	LARGHEZZA BANDA (nm)
1	1-20	430	830	20
2	21-28	1150	1550	50
3	29-92	1983	2478	9
4	93-102	8180	12700	340÷540

La ripresa simultanea di un alto numero di canali con un'alta risoluzione spettrale e spaziale, ha richiesto l'utilizzo di una tecnologia molto avanzata per le ottiche e per i sensori, ma ha posto anche notevoli problemi per il trattamento e la registrazione della grande quantità di dati prodotta.

Le specifiche tecniche e fisiche del sensore MIVIS sono riassunte nella *Tabella 4.II*

4.1.1 Struttura del MIVIS

Il MIVIS è costituito da 5 sottosistemi, tre dei quali sono dotati di computer di controllo che inviano comandi e informazioni sullo stato dei loro assistiti attraverso una rete di comunicazione locale *ethernet* (Fig.4.2). I cinque sottosistemi sono (Lechi, 1998; Bianchi et al., 1995):

1. *Testa di scansione e spettrometro.* La testa di scansione è costituita da elementi ottici che comprendono il telescopio collimatore primario ed uno specchio rotante di scansione, dal motore-contatore che controlla la frequenza di scansione e da due corpi neri di riferimento termico. Tali componenti sono contenute all'interno di una struttura in acciaio e alluminio che scherma la radiazione ottica dispersa e fornisce l'interfaccia con lo spettrometro.

SPECIFICHE TECNICHE

CAMPO DI VISTA ISTANTANEO (IFOV)

2.0 milliradiani

CAMPO DI VISTA DIGITALIZZATO

71.059°

VELOCITÀ DI SCANSIONE (scan/sec)

25, 16.7, 12.5, 8.3, 6.25

CORREZIONE DEL RULLIO AEREO

I dati in uscita sono corretti fino a $\pm 15^\circ$ di rollio

POTENZA RICHIESTA

28 ± 3 VDC, 80 ampere massimo

SORGRNTI TERMICHE DI RIFERIMENTO

Due corpi neri di riferimento selezionati a -15° e $+45^\circ\text{C}$ rispetto alla temperatura della testa dello scanner (limite superiore di 80°C).

PAS (POSITION AND ATTITUDE SENSOR)

Costituito da ricevitore GPS per la determinazione della posizione e velocità della piattaforma aerea, giroscopio per la determinazione del rollio e beccheggio, sistema per la determinazione delle variazioni della piattaforma aerea intorno all'asse di imbardata, bussola per il controllo della rotta dell'aereo.

DISPLAY DELL'IMMAGINE

9" CRT (755 pixel nella finestra in continuo movimento, RS-170/CCIR uscita)

PRECISIONE DELLA DIGITALIZZAZIONE

Digitalizzazione dei dati in 12 bit per pixel, ± 1 bit significativo

REGISTRAZIONE DEI DATI

Sistema di registrazione computer-interfacciato su registratore bufferizzato VLDS (Very Large Data Store)

Cassette di registrazione T-120 VHS

10.2 Gbyte di capacità per nastro

TEMPO DI REGISTRAZIONE PER NASTRO

42 minuti minimo, usando le cassette raccomandate 16822803-120 (25 scan/sec e operazione a 102 canali). Il tempo di registrazione aumenta al diminuire della velocità di scansione.

INGOMBRI

La testa dello scanner è alta 67 cm, larga 52 cm e profonda 72cm. L'elettronica è alta 102 cm, larga 48 cm e profonda 61 cm. Il peso totale del sistema è di 209 Kg.

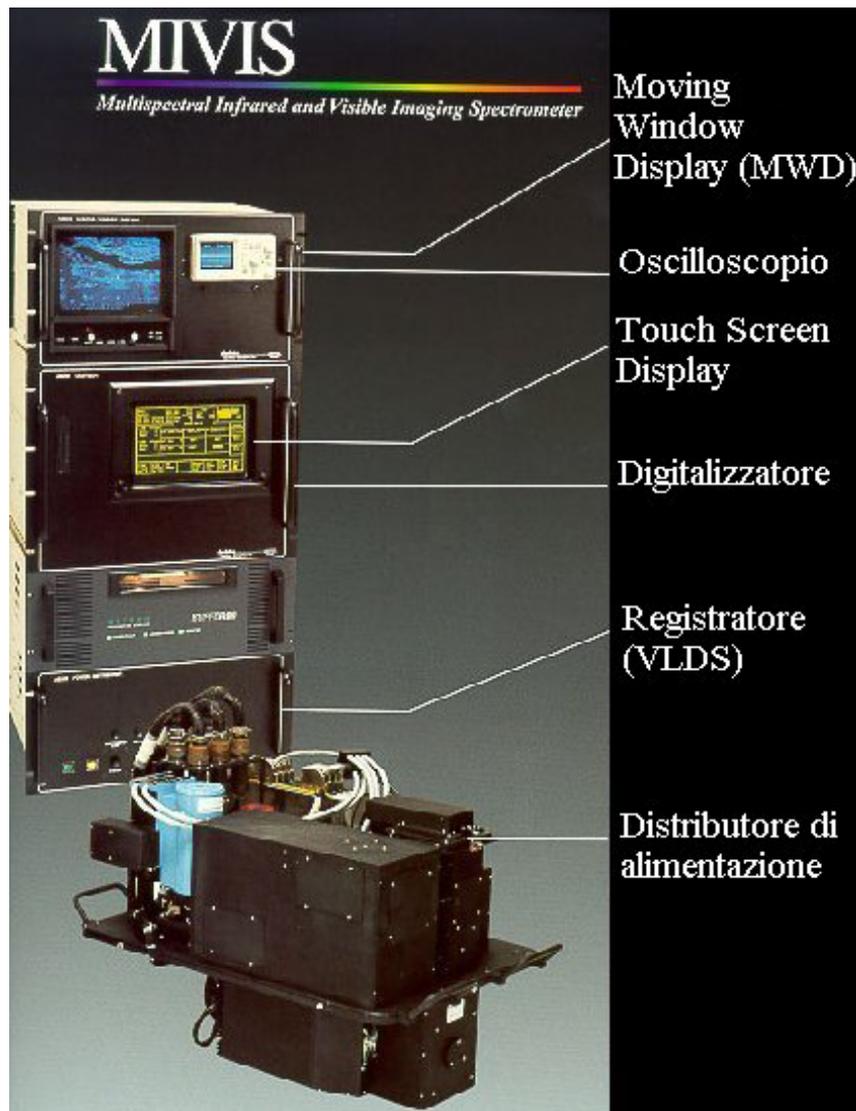


Fig.4.2 – Il sensore MIVIS (Sensytech, 2000).

2. *Digitalizzatore*. La funzione principale del digitalizzatore è di convertire i 102 segnali analogici in forma digitale a 12 bit, formattare questi dati e registrarli su supporto magnetico. Questo processo è sincronizzato con la rotazione dello specchio di scansione per mezzo di segnali inviati dal contatore ottico installato nel motore di scansione.

Il digitalizzatore sovrintende anche al sistema PAS (*Position and Attitude Sensor*) ed al ricevitore GPS.

3. *Distributore di alimentazione*. È l'interfaccia tra l'alimentazione dell'aereo (28 Volt corrente continua) ed i restanti sottosistemi del MIVIS operanti anche con altre tensioni elettriche.

4. *Moving Window Display e Monitor*. Il MWD contiene un monitor CRT, un oscilloscopio digitale ed un trasformatore corrente continua/corrente alternata che fornisce 115 volt 60 Hz al Monitor CRT e al registratore VLDS.

Le funzioni del *Moving Window Display* sono controllate attraverso un menù di selezione disponibile all'operatore su un *Touch Screen Display*.

5. *Registratore VLDS (Very Large Data Store)*. È un registratore digitale su nastro magnetico VHS capace di memorizzare ad alta velocità grandi quantità di dati. La versione VLDS utilizzata per il MIVIS è provvista di un buffer che permette, attraverso memorie interne, il trasferimento di dati ripresi a diversa velocità di scansione.

I dati registrati possono essere successivamente elaborati, archiviati e distribuiti attraverso un apposito software denominato MIDAS (*Multispectral Interactive data Analysis System*). Il software MIDAS è stato sviluppato originariamente per sistemi operativi UNIX e solo recentemente adattato a sistemi Windows.

4.2 La campagna di rilevamento

Il volo MIVIS sulla laguna di Venezia, commissionato dal Consorzio Venezia Nuova per scopi generici di cartografia e monitoraggio, è stato realizzato il 18 settembre 1998 ad opera della Compagnia Generale Ripreseeree di Parma.

Grazie ad una collaborazione dell'Università Ca' Foscari di Venezia con il Servizio Informativo del CVN, è stato possibile realizzare le campagne di rilevamento a terra necessaria per sviluppare un modello della morfologia lagunare.

Durante la campagna di rilevamento sono state svolte le seguenti attività:

- volo commissionato dal Servizio Informativo del Consorzio Venezia Nuova, effettuato il 18 settembre 1998; doppia copertura aerea, la prima a quota 1500 metri

(volo basso) sopra la laguna settentrionale e quella meridionale, la seconda a 5000 metri (volo alto) sopra la laguna centrale;

- campagna di misura, tramite GPS ad alta precisione, per delimitare alcune zone di vegetazione di barena, significative per la caratterizzazione morfologica; tale operazione ha permesso di stabilire alcuni riferimenti a terra per effettuare la classificazione controllata della vegetazione sulle immagini;
- misure contemporanee al volo con lo spettroradiometro GER 1500 fornito dal NERC (*National Research Center-UK*), per raccogliere le firme spettrali delle associazioni di vegetazione alofila di barena, precedentemente delimitate, da confrontare con quelle rilevate da aereo;
- utilizzo in contemporanea al volo di due fotometri (EKO MS-120 de CNR di Venezia posizionato a Punta Fogolana, laguna sud, e CIMEL CE-318-2 del NERC inglese, posizionato a Torcello, laguna nord) per la misura della radiazione solare in modo da effettuare la correzione delle immagini MIVIS dagli effetti atmosferici.

La varietà di strumenti utilizzati ha richiesto un processamento specifico del dato che varia a seconda delle sue caratteristiche. Il confronto tra i dati raccolti con strumenti diversi ha poi richiesto un'analisi dei problemi legati alla scala (Cibien, 2000; Silvestri, 2000).

4.3 Pretrattamento dei dati MIVIS

Prima di essere utilizzate per l'interpretazione, le immagini richiedono una fase di pretrattamento che consiste in una serie di procedure atte a correggere gli errori e le distorsioni introdotte durante l'acquisizione e la trasmissione dei dati. Tali procedure comprendono la correzione geometrica, la correzione radiometrica e la correzione atmosferica.

La correzione geometrica rettifica l'immagine dalle distorsioni dovute principalmente alla geometria dello scanner e dagli effetti introdotti da perturbazioni sull'altezza e sulla posizione della piattaforma aerea su cui è montato il sensore (rollio, beccheggio, variazione dell'asse di imbardata¹).

La correzione radiometrica serve per eliminare gli errori introdotti dal cattivo funzionamento del sensore.

¹ Rollio, beccheggio ed imbardata sono le possibili rotazioni della piattaforma aerea rispettivamente attorno il proprio asse longitudinale, laterale e verticale.

La correzione atmosferica prende in considerazione le condizioni di illuminazione solare, la geometria del sensore, l'attenuazione atmosferica e l'irradianza del cielo. Essa si rende necessaria qualora si vogliano confrontare immagini raccolte in date diverse e/o con strumenti differenti. In questo lavoro lo scopo principale della correzione atmosferica dei dati MIVIS è stato quello di permettere il confronto con i dati raccolti a terra mediante lo spettroradiometro portatile GER 1500 al fine di creare una libreria spettrale da utilizzare per il riconoscimento dei vari target in immagini raccolte in aree diverse della laguna.

Nel caso di sensori montati su piattaforma aerea, la correzione atmosferica diventa importante anche quando si vogliono studiare delle zone riprese all'interno di una stessa strisciata. Infatti, in questo caso, il cammino ottico percorso dalla radiazione riflessa da pixel posizionati al centro delle strisciate, è sensibilmente differente da quello della radiazione proveniente dai pixel posti agli estremi della riga di scansione. Nel caso del volo MIVIS sulla laguna del 18/9/1998, con il sensore in volo a circa 1500 m da terra e con un FOV pari a 71°, la distanza del sensore agli estremi della linea di scansione risulta essere di 1830 m con un incremento di spessore ottico pari al 22%.

In base alla richiesta del committente, i dati MIVIS vengono forniti in quattro diversi livelli di preelaborazione (*Tab.4.III e Appendice C*).

Per il volo del 18 settembre 1998 sulla laguna di Venezia il CVN ha richiesto unicamente il Livello 1 di pretrattamento delle immagini e quindi i dati erano stati corretti solo radiometricamente. Tale correzione però è risultata essere errata (v. *Appendice C*) ed è quindi stato necessario effettuare la ricalibrazione che è stata eseguita in collaborazione con il dipartimento ESSC dell'Università di Reading (UK).

Tab.4.III – Livelli di processamento dei dati MIVIS

Livello 0	Dati grezzi e informazioni ausiliarie per la calibrazione radiometrica e la correzione geometrica.
Livello 1	Dati calibrati radiometricamente con l'uso di riferimenti interni del sensore MIVIS e misure di sensibilità dello scanner registrate al banco di taratura.
Livello 2	Dati corretti atmosfericamente e radiometricamente; in questo caso il proprietario dei dati deve fornire anche elementi per la correzione del cammino di radianza (<i>path radiance</i>) e dell'irradianza solare.
Livello 3	Oltre alle correzioni dei Livelli 1 e 2, i dati vengono corretti anche geometricamente dalle distorsioni del panorama e dagli effetti dovuti alla variazione della piattaforma aerea per rollio, beccheggio ed asse di imbardata.

Con la stessa collaborazione si è anche provveduto ad effettuare la correzione atmosferica delle immagini la quale è stata condotta applicando il modello 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) (v. *Appendice C*).

Le immagini MIVIS, fornite senza essere corrette geometricamente, sono state georeferenziate, mediante punti di controllo a terra (GCP) (v. Cap.2). Tale operazione non può eliminare le distorsioni geometriche, essa può comunque dare buoni risultati se applicata ad aree piccole dell'immagine come quella d'interesse nel presente lavoro (barena S.Lorenzo).