

2. CAMPAGNE DI ACQUISIZIONE DATI

Le ricerche nell'ambiente tramite telerilevamento devono poggiare su dati raccolti direttamente in campo, ciò comporta la necessità di effettuare misure di diversa natura organizzandole in modo da conservare unità di tempo e di spazio. Si tratta di effettuare "sul posto" misure "contemporanee" di parametri che hanno diverse scale spaziali e temporali. Così l'andamento climatico si determinerà sulla base di misure eseguite a distanza dal sito di indagine su un arco temporale lungo, mentre la radiazione solare andrà misurata in un intervallo di tempo breve ed in vicinanza del sito di interesse. Si tratta perciò di organizzare un'ampia varietà di misure da associare ad una zona e ad una data, avendo cura di scegliere gli intervalli di misura in campo a partire dalla conoscenza delle scale dei fenomeni da osservare.

L'insieme delle attività di una campagna implica organizzazione, risorse umane e impegno finanziario, questi aspetti non verranno ripresi in dettaglio ritenendo più utile, ai fini della comprensione, una descrizione accurata degli strumenti e delle metodologie utilizzate nelle 70 campagne di misura effettuate in *barena* nel corso di tre anni. L'enorme quantità di dati così prodotta è stata di volta in volta riordinata per permetterne l'inserimento in una banca dati creata appositamente per il progetto europeo TIDE (www.tideproject.org).

2.1. Campagne di telerilevamento

Per monitorare l'ambiente il telerilevamento offre molti vantaggi: la visione sinottica di aree ampie, la possibilità di monitorare periodicamente aree difficilmente accessibili e di acquisire informazioni sulle aree adiacenti a quella d'interesse, che meglio inquadrano i cambiamenti avvenuti.

L'ampio utilizzo di sensori sia aerei che satellitari, per lo studio di aree umide ha evidenziato vantaggi e svantaggi a diversi livelli (Ozesmi e Bauer, 2002). Nel caso di zone molto vaste, le rilevazioni di sensori trasportati su piattaforma aerea sono più difficili da processare rispetto a quelli satellitari, in quanto il tempo necessario a sorvolare tutta l'area e l'alterazione della quota di volo data dai movimenti dell'aereo, rendono molto laborioso il pre-trattamento dei dati. Ciò si traduce in una maggior spesa per il processamento che, unita a quella elevata per l'acquisizione, rende il costo finale delle elaborazioni dei dati acquisiti da sensori montati su piattaforma aerea di gran lunga maggiore rispetto a quello di dati satellitari (Mumby *et al.*, 1999). L'aereo offre inoltre una maggior flessibilità, che però si paga con un maggior lavoro da parte dell'utente (ad esempio per la definizione del piano di volo) e con il rischio di dover annullare il sorvolo per cambiamenti delle condizioni meteorologiche nel corso dell'acquisizione.

D'altra parte i dati satellitari, anche se negli ultimi anni iniziano ad offrire un'elevata risoluzione spaziale, hanno spesso una risoluzione spettrale limitata, che rende difficoltosa la discriminazione di elementi con risposta spettrale simile, come ad esempio le diverse specie di vegetazione. Al contrario i dati iperspettrali da aereo possono aumentare notevolmente le possibilità di riconoscere i diversi *target* anche in zone umide costiere (Alberotanza *et al.*, 1999; Smith *et al.*, 1998; Eastwood *et al.*, 1997; Bajjouk *et al.*, 1996).

Un altro limite delle acquisizioni satellitari, in particolare nello studio delle aree soggette a marea, riguarda l'impossibilità di fissare a priori l'ora e la data di acquisizione, poiché il satellite ha un'orbita fissata e quindi un tempo di ritorno nella stessa zona già stabilito.

Per lo studio di ambienti complessi come quelli lagunari è importante poter condurre osservazioni a diversi livelli di dettaglio poiché la variabilità dei diversi fattori, ad esempio della densità vegetativa, delle dimensioni dei *ghebi*, dell'umidità del suolo, è elevata sia in termini spaziali che temporali. La risoluzione geometrica alla quale studiare il sistema deve essere al massimo di qualche metro, mentre il tempo che si può impiegare per acquisire i dati sull'intero territorio prescelto dovrebbe essere dell'ordine delle decine di minuti, onde limitare le variazioni di quota dell'acqua dovute alle maree. All'interno del progetto europeo TIDE si è scelto di integrare dati provenienti da immagini multi ed iperspettrali per poter avere un'informazione più completa. La maggior parte delle analisi riportate nel presente lavoro sono state condotte a partire dai dati satellitari QuickBird, ma si sono confrontati anche i risultati di questo sensore con quelli ottenuti dall'elaborazione di dati iperspettrali rilevati dai sensori aerei CASI e ROSIS (HySens 2000).

2.2. Il sensore satellitare QuickBird

QuickBird è il sensore satellitare a più alta risoluzione spaziale attualmente operativo per usi commerciali. È stato lanciato il 18 dicembre 2001 dalla *DigitalGlobe* ed ora sorvola la Terra a 450 Km di distanza, percorrendo un'orbita eliosincrona di 98°, con un tempo di rivisitazione della stessa area che può variare da 1 a 4 giorni (in relazione alla latitudine).

La risoluzione spaziale al nadir è di 0.61 m per l'immagine pancromatica e 2.44 m per quella multispettrale. L'immagine pancromatica integra il segnale ricevuto in un'unica ampia banda (da 450 a 900 nm), mentre il sensore multispettrale è stato progettato per registrare negli stessi intervalli spettrali delle prime quattro bande dell'ETM+ trasportato sul Landsat7 (450-525 nm, 520-600 nm, 630-690 nm, 760-900 nm).

Le considerazioni fatte da Lillesand e Kiefer (1987) sull'utilizzabilità delle diverse bande dell'ETM+, si possono quindi estendere al QuickBird (Tabella 2.I), che offre anche i vantaggi di una risoluzione spaziale molto più alta, fondamentale per lo studio della morfologia lagunare.

Le caratteristiche spettrali e radiometriche (risoluzione 16 bit) unite a quelle spaziali rendono il sensore QuickBird particolarmente indicato sia per l'individuazione delle principali strutture morfologiche del territorio, come la fitta rete di *ghebi* e canali che solcano il territorio, di larghezza compresa tra qualche decimetro e qualche metro, sia per il riconoscimento delle macchie formate da vegetazione di *barena*.

Il fattore "tempo di acquisizione" è del tutto trascurabile in quanto la tecnologia del sensore QuickBird consente di ottenere in circa 4 secondi un'immagine di 16.5 Km di lato.

Le immagini utilizzate per il presente studio sono state acquisite il 16 maggio 2002, il 10 febbraio 2003, il 25 luglio 2003 ed il 10 ottobre 2003 (Appendice B).

Tabella 2.I - Caratteristiche e possibili applicazioni delle bande del sensore QuickBird.

| Banda | λ (micron) | Canale spettrale | Applicazioni principali |
|-------|-----------------------|---------------------|---|
| QB1 | 0.45-0.52 | BLU | Disegnata per la penetrazione nei corpi d'acqua, utile per la mappatura di acque costiere. E' anche usata per la discriminazione tra suolo e vegetazione, la mappatura delle foreste e l'identificazione di elementi antropici. |
| QB2 | 0.52-0.60 | VERDE | Selezionata per discriminare la vegetazione (picco di riflettanza) ed il suo vigore. |
| QB3 | 0.63-0.69 | ROSSO | Disegnata per registrare nella regione di assorbimento della clorofilla, aiutando così la differenziazione tra specie. |
| QB4 | 0.76-0.90 | NIR | Utile per determinare il tipo di vegetazione e la biomassa, per delineare i corpi idrici e per la discriminazione dell'umidità del suolo. |

2.3.Sensori aerei: ROSIS e CASI

Il sensore ROSIS (Reflective Optics System Imaging Spectrometer) è un spettrometro compatto, progettato per essere trasportato su aereo, che è stato sviluppato in collaborazione tra Dornier Satellite Systems (DSS), GKSS Research Centre e il Centro aerospaziale tedesco (DLR, Institute of Optoelectronics).

Tabella 2.II - Caratteristiche del sensore ROSIS

| | |
|----------------------|--------------------------------|
| Sistema | pushbroom imaging spectrometer |
| Detector | CCD array (Thomson THX 7895) |
| FOV ¹ | 16° |
| Max. scan frequency | 88 Hz |
| Intervallo spettrale | 430 - 850 nm |
| N° di bande | 115 |
| Digitalizzazione | 14 bit |

Il detector del ROSIS è una matrice CCD² bidimensionale. Una dimensione della matrice (righe) è usata per registrare informazioni spaziali, l'altra (colonne) per registrare le informazioni spettrali. Una singola riga è costituita da 552 elementi.

L'elevata risoluzione spettrale (115 bande nell'intervallo tra 480 e 860 nm) e spaziale (con volo alla quota di 1000 m, la risoluzione al suolo è di 60 cm) sono estremamente utili per la classificazione della vegetazione di *barena*.

¹FOV: *field of view*, Per gli strumenti a scansione il campo di vista è costituito dall'insieme dei singoli campi istantanei di vista che costituiscono la linea di scansione.

²Charge Coupled Device: Un detector che genera una differenza di potenziale proporzionale all'intensità dell'illuminazione. Un insieme di CCD costituisce uno scanner pushbroom.

Il volo con questo sensore è stato effettuato a partire dalle ore 11 dell'8 Luglio 2000, ad una quota di circa 2000 metri; la zona della Laguna Nord sorvolata è quella compresa tra l'aeroporto Marco Polo e Treporti.

Il sensore iperspettrale CASI (*Compact Airborne Spectrographic Imager*) ha le caratteristiche riportate in tabella 2.III e permette di programmare del numero di bande e la relativa ampiezza spettrale su richiesta dell'utente.

Tabella 2.III - Caratteristiche del sensore CASI

| | |
|----------------------|---|
| Sistema | imaging spectrometer |
| FOV | 37.8° - 44.7° in relazione ai canali selezionati. |
| Intervallo spettrale | 400-1000 nm |
| N° di bande | 288 |
| Digitalizzazione | 12 bit |

Per distinguere la risposta spettrale delle diverse alofite sono state individuate 15 bande (Appendice B) sulla base di lavori precedenti (Thomson *et al.*, 1998, Smith *et al.*, 1998) e delle caratteristiche spettrali rilevate in campo con radiometro GER 1500.

I dati sono stati acquisiti il 29 settembre 2002 ad una quota di 842m. Per minimizzare la riflettanza bidirezionale e coprire effettivamente l'area di studio, le linee di volo sono state orientate parallelamente all'azimut del sole, restringendo il periodo di acquisizione ad una finestra temporale di due ore (dalle 10:30 alle 12:30).

2.4. Acquisizione dati in campo

Le procedure di estrazione di dati quantitativi da segnali telerilevati richiedono un corredo di informazioni provenienti da misure a terra, che devono essere fatte *in situ*, contemporaneamente all'acquisizione delle immagini.

Essendo le *barena* ambienti non sempre facilmente accessibili è necessario pianificare dettagliatamente le campagne per ottimizzare gli sforzi necessari ad ottenere i dati. A condizionare fortemente le campagne è in primo luogo il livello di marea: ad esempio nel rilievo di punti di riferimento per la georeferenziazione. In relazione alla tipologia del dato da acquisire diventano però rilevanti anche altri fattori. Ad esempio la misura della percentuale di copertura è condizionata dalla stagione, come anche l'acquisizione delle firme spettrali, che però richiede anche riferimenti rispetto all'inclinazione del sole ed alla copertura nuvolosa. I dati per effettuare le correzioni atmosferiche devono essere contestuali al sorvolo del sensore.

Durante il primo anno si sono quindi definite delle chiare, e per quanto possibile omogenee, procedure di acquisizione per tutti i dati necessari allo studio dei biotopi barenali tramite telerilevamento aereo e satellitare, elaborando apposite schede per i campionamenti in modo che anche eventuali collaboratori avessero indicazioni certe sulle procedure da seguire.

Le campagne di rilievo dei riferimenti a terra sono state effettuate in collaborazione con il Dipartimento IMAGE³ dell'Università di Padova durante tutti i sorvoli, sia del *QuickBird* che degli altri sensori utilizzati per il progetto europeo TIDE che hanno richiesto 70 uscite in *barena* per un totale di 282 uscite/uomo.

³IMAGE dipartimento di Idraulica Marittima e Geotecnica

All'interno dell'area ripresa dai sensori si sono individuati diversi siti, differenti per apporto di sedimenti, salinità dell'acqua e copertura specifica. La scelta è caduta su sei aree della Laguna Nord dove si avevano già a disposizione anche risultati di studi precedenti: Trombetta, Passarini, Palude Maggiore, le Saline, Rigà e San Felice (§ 1.2). I dati raccolti per il processamento delle immagini sono descritti nei paragrafi successivi.

2.4.1. Dati per la taratura

Anche le immagini, come tutti gli strumenti di misura, per fornire informazioni quantitative devono essere sottoposte a procedimenti di taratura.

Se l'informazione che si desidera ottenere è di tipo relativo, questi procedimenti non risultano molto onerosi; come nel caso in cui si lavora sempre all'interno di una stessa immagine, dove sono richieste solo la georeferenziazione e la raccolta di verità a terra relative alla copertura vegetale.

Questi stessi processi di taratura diventano invece molto impegnativi se ciò che si ricerca è un significato assoluto, ad esempio nel confronto tra immagini diverse ottenute con lo stesso sensore in tempi differenti o con sensori differenti, per cui risulta necessario depurare le risposte spettrali dagli effetti dell'atmosfera.

2.4.1.1. Determinazione delle risposte spettrali

I dati per le tarature spettrali sono stati raccolti con uno spettrometro GER1500, sensibile allo spettro che va dal visibile all'infrarosso vicino (da 350 nm a 1050 nm) ed è discretizzato in 512 canali (ampiezza nominale 1.5 nm). L'angolo di apertura del sensore è di 4 gradi, per cui alla distanza di un metro il cerchio inquadrato ha diametro di circa 7 cm.

I dati sono stati raccolti nelle campagne di luglio 2002, febbraio 2003, giugno e luglio 2003, maggio 2004. Le registrazioni sono state effettuate, per quanto possibile, attorno al mezzogiorno solare, per ridurre i problemi legati ad un angolo di incidenza troppo grande. Intervallate alle misure di radianza della vegetazione sono state eseguite anche misure complementari su un pannello grigio di riferimento.

Gli elementi di cui si è ripresa la firma spettrale sono stati sia le singole piante di ogni specie, sia le aree omogenee che sono state usate per la classificazione dei consorzi di alofite.

2.4.1.2. Punti di riferimento per la georeferenziazione

L'acquisizione dei punti di riferimento per la georeferenziazione (GCP: Ground Control Point) presso le aree di *barena* rappresenta la fase critica del processo di georeferenziazione. A questo proposito Mather (1999) sottolinea la necessità di soddisfare tre condizioni essenziali per garantire un'accurata correzione geometrica:

1. il numero di punti individuati deve essere appropriato per consentire l'applicazione della trasformazione dell'immagine: maggiore è l'ordine del polinomio interpolante che si sceglie di utilizzare, maggiore dovrà essere il

numero complessivo di GCP. In genere sulle *barene* i punti individuabili che si riescono poi a riconoscere nell'immagine non sono in numero sufficiente per una interpolazione con polinomi di ordine elevato, quindi si effettuano interpolazioni lineari;

2. i punti devono essere distribuiti in maniera diffusa su tutta l'area rappresentata nell'immagine. Questa è una condizione non sempre attuabile quando, come nel caso dell'area lagunare osservata, una cospicua parte dell'immagine è occupata dal mare o da specchi d'acqua dove sono praticamente assenti punti fissi da usare come riferimento;
3. non ci deve essere una sostanziale differenza tra la data di acquisizione dell'immagine e quella di individuazione dei punti di controllo a terra, in quanto risulta poco affidabile il riconoscimento di punti in corrispondenza di caratteristiche morfologiche soggette a rapidi cambiamenti, come aree di bordo che sono periodicamente sommerse dalle maree e possono risultare "mascherate" dall'acqua in occasione dell'effettuazione della ripresa a distanza.

Il rilievo dei GCP è stato effettuato utilizzando sia una stazione totale (teodolite laser), in grado di restituire precisioni millimetriche, sia un DGPS⁴ con precisione di circa 3 cm. I punti da rilevare sono stati scelti in modo che fossero facilmente riconoscibili sulle immagini (ad esempio confluenze tra canali, *ghebi* e palificate). Nell'area indagata si sono determinati in tal modo 121 GCP.

2.4.2. Dati per la classificazione delle immagini

Sulle *barene* è possibile rilevare macchie di vegetazione la cui composizione è collegata alle caratteristiche dell'ambiente. All'interno di ogni "macchia" i popolamenti sono solitamente composti da una specie vegetale prevalente, che occupa la maggior parte dello spazio, anche se spesso sono presenti altre 2-3 specie vegetali con percentuali di copertura minori. Per permetterne l'identificazione tramite un classificatore supervisionato è necessario avere dati di riferimento presi in campo, utili a calibrare l'algoritmo ed a validarne successivamente i risultati.

Poiché il segnale di un *pixel* dell'immagine è dato dalla riflettanza di tutti gli *endmember*⁵ presenti nella zona ripresa, le superfici omogenee identificate sono state caratterizzate dall'insieme delle proprietà dell'area, cioè, oltre che dalla composizione specifica della vegetazione (espressa in percentuale) anche dalla presenza di suolo e di acqua.

Le aree per poter essere efficacemente usate nel processo di classificazione, sono state scelte in modo da soddisfare i seguenti criteri:

- essere più possibile omogenee per quanto riguarda la presenza di suolo e la percentuale di copertura di ogni singola specie;
- avere superficie sufficientemente ampia da caratterizzare più di un *pixel* nell'immagine, in modo da evitare errori legati all'attribuzione imprecisa;

⁴ con il supporto della ditta Morgan Rilievi s.r.l..

⁵ con questo termine si designano i valori che definiscono un componente in una raccolta di elementi diversi.

- essere rappresentative delle macchie di vegetazione presenti nelle *barene* considerate.

Le superfici che rispondevano a tali caratteristiche sono state perimetrate con DGPS in modo da poter essere riportate nell'immagine telerilevata. Oltre alle coordinate piane ed alla quota del perimetro di ogni area, si sono scelti altri punti casuali all'interno della zona, per avere ulteriori informazioni sulla quota associata ad ogni classe.

Si è scelto di classificare le specie che generalmente sono presenti con le maggiori aree quasi monospecifiche e quindi *Limonium*, *Spartina*, *Sarcocornia* e *Junco spp.*. Quest'ultimo in realtà non è presente in maniera abbondante in tutte le *barene* considerate, mentre in alcuni casi si sono riscontrate vaste superfici di *Salicornia sp.* e *Phragmites sp.*, che si sono dovute aggiungere alle classificazioni in un secondo tempo.

Le altre specie comunemente presenti, *Puccinellia palustris*, *Suaeda maritima*, *Inula crithmoides* e *Aster tripolium*, non sono state considerate poiché generalmente non mostrano una distribuzione monospecifica, ma si presentano in consorzi misti. Inoltre, nella maggior parte dei casi, si sono individuate in strette fasce lungo il bordo delle *barene*, con aree di larghezza inferiore al metro e perciò non rilevabili dal sensore QuickBird (il cui sensore multispettrale ha una risoluzione di 2.8 metri).

2.4.2.1. Copertura specifica: attribuzione delle percentuali

La copertura specifica in campo può essere determinata con differenti metodi, essenzialmente riconducibili al conteggio diretto delle singole piante ed alla stima visiva. Il conteggio dei singoli individui per unità di area è un metodo molto preciso ma dispendioso in termini di tempo, inoltre nelle *barene* la definizione degli individui è difficoltosa soprattutto per le specie che si propagano per via vegetativa (ad esempio giunco e spartina), al contrario la stima visiva permette un maggior numero di determinazioni veloci ma è più soggettiva e dipende dall'esperienza dell'operatore.

Si è deciso di utilizzare questo secondo approccio sul campo, ma di integrarlo con un successivo controllo in laboratorio. In ogni area omogenea individuata, contestualmente alla stima visiva, venivano acquisite diverse immagini (da 3 a 10 in relazione alle dimensioni dell'area) con una fotocamera digitale (Minolta Dimage7 e CANON PowerShot S45), fissata a 2.5 metri di altezza su un treppiedi.

Inizialmente si è cercato di processare queste foto digitali tramite algoritmi non supervisionati per quantificare la presenza dei diversi *endmember* (diverse specie di alofite e suolo). Dopo numerosi tentativi si è preferito abbandonare questa procedura perché non sufficientemente affidabile, in quanto, a causa della ridotta risoluzione spettrale, la presenza di ombre o di foglie inclinate diversamente facevano attribuire elementi uguali a classi differenti. Si è deciso quindi di simulare con le foto la procedura di conteggio effettuabile in campo. Ad ogni immagine è stata sovrapposta una griglia di passo 100 *pixel* (Figura 2.1), e si sono contate le presenze dei diversi *endmember* alle intersezioni, riportandole poi in percentuale e confrontandole con le stime effettuate in campo.



Questo metodo è stato usato con successo anche da altri ricercatori (Thomson *et al*, 1998) e, sebbene sia molto impegnativo in termini di tempo, permette di effettuare campagne più veloci in campo, ma anche di superare la soggettività della stima e di facilitare il confronto tra campagne condotte in momenti diversi.

Figura 2.1 - Esempio di immagine usata per l'individuazione delle percentuali di copertura dei diversi *endmember*.