

## CAPITOLO QUARTO

**LA RACCOLTA DELLE VERITÀ A TERRA****§4.1 La programmazione dei campionamenti**

Il progetto di ricerca TIDE prevede, durante tutte le fasi del suo svolgimento, la realizzazione di numerose campagne di acquisizione dati, che si svolgono sia in concomitanza dei sorvoli aerei e satellitari, sia durante tutto l'arco dei lavori.

Le osservazioni dell'area sono in gran parte acquisite mediante sensori remoti, quindi è essenziale l'esecuzione di rilievi in campo in modo che sia possibile mettere in relazione i processi da studiare con le verità a terra e queste con i dati telerilevati.

Ai fini dello sviluppo di modelli efficaci e rappresentativi delle dinamiche di barena è necessario sfruttare l'interdipendenza dei fenomeni naturali, quindi, anche se di norma il momento e la frequenza con la quale è necessario vengono raccolti i dati a terra varia all'interno dei singoli gruppi di lavoro che partecipano al progetto, la tendenza è stata quella di sfruttare le uscite in laguna in modo tale da raccogliere serie di dati con gli

stessi attributi spaziali e temporali, acquisendo quindi informazioni di utilità comune per rendere più completo il monitoraggio della zona sotto ogni aspetto.

La riuscita di una campagna di misure dipende da una progettazione dettagliata e puntuale delle fasi di lavoro e da un'accurata scelta dei campionamenti in termini di siti e di scale spaziali e temporali. La programmazione delle uscite e dei voli si è basata principalmente sulla stima dei fattori che avrebbero potuto rendere difficoltosa e inaffidabile l'acquisizione dei dati:

- l'altezza della marea: l'escursione mareale giornaliera rappresenta una variabile ambientale particolarmente limitante non solo per l'effettiva impossibilità di condurre le osservazioni in luoghi quasi totalmente sommersi dall'acqua nei casi di marea massima, ma anche per la buona riuscita dell'acquisizione delle immagini remote che, in condizioni di sommersione anche parziale, non consentirebbero l'individuazione corretta delle caratteristiche barenali indagate;
- le condizioni meteorologiche: si tratta di un fattore che anche in questo caso può condizionare sia la qualità dei rilevamenti a terra che l'acquisizione delle immagini remote, influenzando la frequenza con cui possono essere eseguiti i sorvoli e in ogni caso rendendo necessarie delicate correzioni del disturbo del segnale<sup>1</sup>.

Alcune fra le variabili esaminate sono facilmente monitorabili durante l'anno, in quanto legate direttamente alle escursioni di marea, come il trasporto di sedimenti, o a fattori espressamente morfologici, come l'andamento della rete dei canali, ma un aspetto che più di altri vincola il periodo e la frequenza di raccolta dei dati sul sito di studio in quanto dipende strettamente da fattori fenologici è la copertura vegetale.

Dal momento che la vegetazione delle barene gioca un ruolo fondamentale nel loro sviluppo, i campionamenti sono stati effettuati nell'arco dell'intero primo anno di attività del progetto, ma in particolar modo si sono intensificati durante il periodo primaverile/estivo, quando i popolamenti vegetali coprono uniformemente le barene e le differenti fioriture ne agevolano il riconoscimento nelle immagini telerilevate.

## **§4.2 Inquadramento geografico dell'area di lavoro**

---

<sup>1</sup> L'utilizzo di sensori che operano nel visibile o nell'infrarosso non può avvenire in presenza di copertura nuvolosa.

I siti di osservazione e campionamento che sono stati coinvolti nelle campagne di rilevamento TIDE tra il febbraio e il settembre 2002 sono localizzati in laguna nord; la scelta dell'area di studio è stata dettata dal fatto che il bacino settentrionale conserva il rapporto con i fiumi, ha un maggior grado di confinamento e rappresenta la situazione che più si avvicina a quella primitiva<sup>2</sup>; inoltre in laguna nord le barene si mantengono in uno stato di maggior naturalità e addirittura in alcuni casi risultano in accrescimento, come appare dalla seguente immagine:

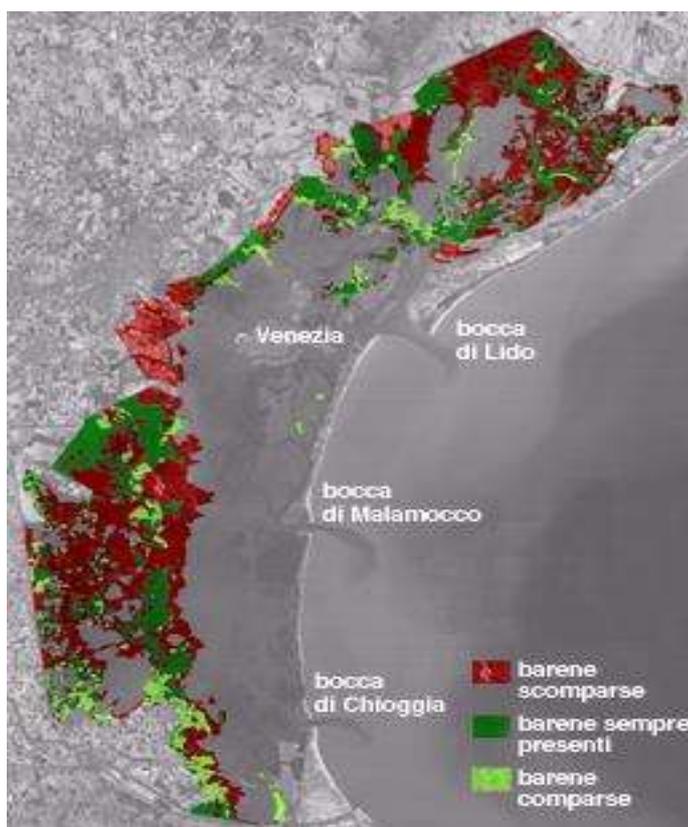
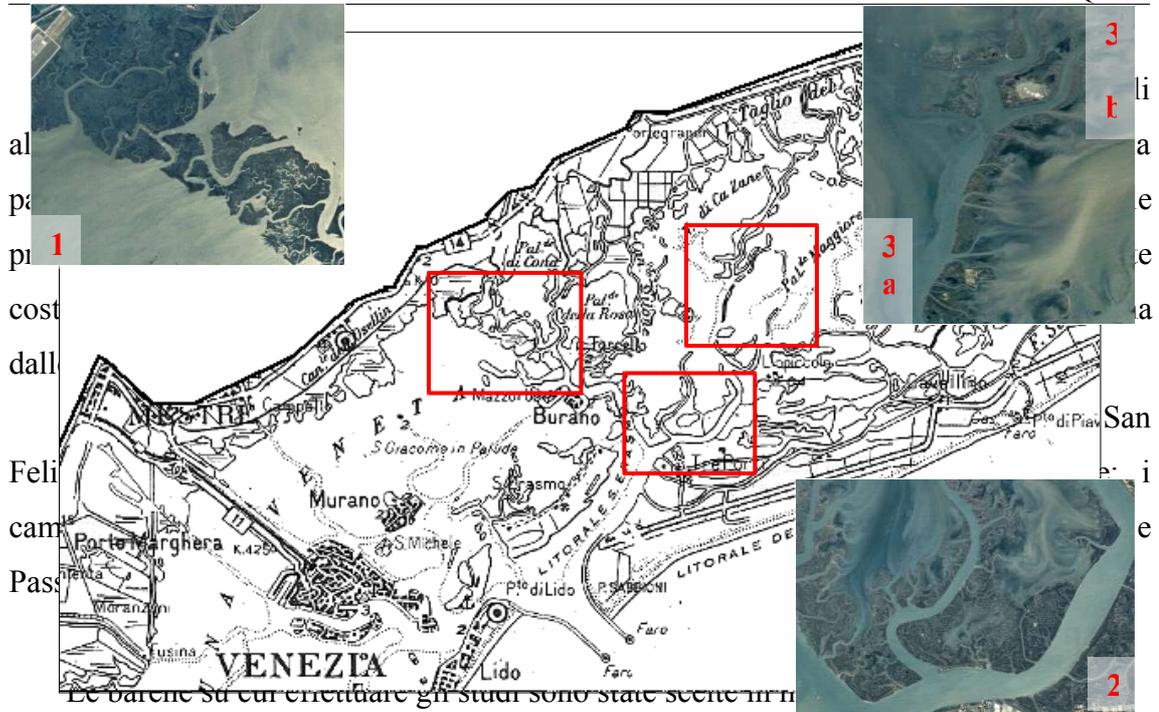


Fig 4.1 - Confronto fra la prima batimetria della laguna (1810) e la batimetria attuale (Fonte immagine: CVN, 2002)

I campionamenti hanno interessato in particolare la barena di San Felice<sup>3</sup>. Si tratta di una zona ancora interessata sia dal flusso e riflusso di marea che dall'apporto di acque dolci ad opera dei canali Silone e Siloncello, del fiume Dese e del canale Osellino. Tale barena è delimitata a nord ed a ovest dal canale di S.Felice e dal canale Gaggian, a sud dal canale di S.Felice e ad est dalla Palude del Tralo.

<sup>2</sup> Il bacino centrale risente grandemente della presenza antropica concretizzata nella città di Venezia; quello meridionale presenta un idrodinamismo spinto generato dallo scavo dei grandi canali navigabili.

<sup>3</sup> La zona si trova tra Burano e la bocca di Lido, ed è situata di fronte all'abitato di Treporti



1. l'apporto di sedimenti fosse cospicuo, in modo da contrastare la naturale compattazione del suolo;
2. i caposaldi a disposizione per calibrare lo strumento utilizzato nelle misure di quota e posizione (teodolite laser) fossero sufficienti a garantire un'elevata risoluzione;
3. fossero stati svolti sulla barena altri studi e ricerche, riguardanti in particolare gli aspetti vegetazionali;
4. il luogo fosse facilmente accessibile.

L'immagine di fig.4.2 indica i siti di campionamento e la loro ubicazione in laguna.

Per quanto riguarda la durata delle indagini in campo, la scelta è stata ancor più vincolata dalla finestra temporale e spaziale dei fenomeni osservati: in particolar modo l'escursione di marea è risultato il fattore critico per la durata delle osservazioni in quanto sia il riconoscimento visivo della vegetazione che la misura al suolo di alcuni parametri chimico-fisici, come il potenziale redox e la temperatura del substrato, sono quasi sempre difficili e comunque inaffidabili in condizioni di marea massima; la scelta della scala spaziale di osservazione remota si è invece basata sull'estensione delle aree di vegetazione a terra e sulle dimensioni delle strutture morfologiche indagate, quali ghebi, chiari e canali.

Fig. 4.2 - Siti aree di campionamento: 1-Pagliaga; 2-San Felice; 3a-Saline; 3b-Palude Maggiore

## §4.3 Acquisizione dei dati

### §4.3.1 Le aree di vegetazione

Una delle operazioni principali che sono state condotte è stata la ricerca e la perimetrazione di aree di vegetazione il più possibile omogenee. I rilievi possono essere condotti per conteggio o per stima a vista. La prima tecnica di osservazione fornisce dati più precisi, ma il suo utilizzo nello studio della vegetazione di barena pone dei problemi in quanto gli individui all'interno delle popolazioni di alofite sono spesso difficilmente separabili a causa dei fitti apparati radicali rizomatosi e cespitosi; il secondo metodo, adottato in occasione delle campagne di misura effettuate, consente invece di eseguire campionamenti più rapidi e numerosi (Salviato, 2000).

La stima della copertura vegetale nelle aree individuate è stata eseguita rilevando le presenze percentuali delle diverse specie con l'ausilio di manuali floristici per il loro riconoscimento; quando osservate in quantità minori dell'1%, alle specie è stato assegnato il simbolo “+” secondo quanto indicato dal metodo di Braun-Blanquet, che assegna un valore da 1 a 5 per classi di presenza crescente di ciascuna specie vegetale. Nella tab.IV.I viene riportato lo schema su cui si basa tale metodologia di rilevamento.

<b>PUNTEGGIO ASSEGNATO ALLA CLASSE</b>	<b>PERCENTUALE DI COPERTURA AL m<sup>2</sup></b>
+	Presenza < 1%
1	1-20 %
2	21-40 %
3	41-60 %
4	61-80 %
5	80-100%

*Tabella IV.I - Definizione delle classi di copertura vegetale (Pignatti, 1953).*

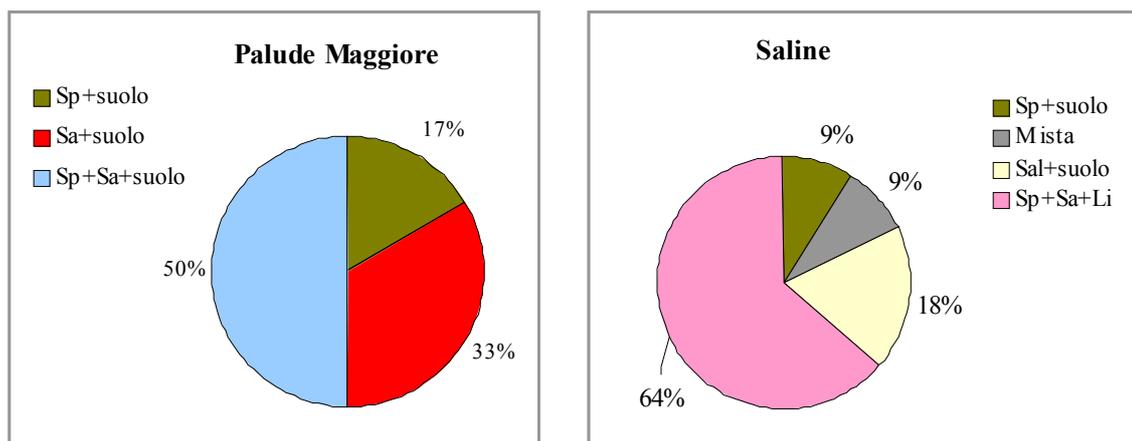
Il metodo di Braun-Blanquet non è stato adottato integralmente in quanto per gli scopi del lavoro intrapreso è necessaria una maggiore precisione nella stima della percentuale di presenza delle diverse specie nelle aree di vegetazione. Per questo motivo i rilievi sono stati effettuati confrontando le percentuali di copertura assegnate indipendentemente da diversi operatori in campo, allo scopo di rendere la stima il più oggettiva possibile.

Le aree rilevate a terra, per essere utili ai fini dello studio della zonazione e della classificazione delle immagini, devono coprire superfici sufficientemente ampie da

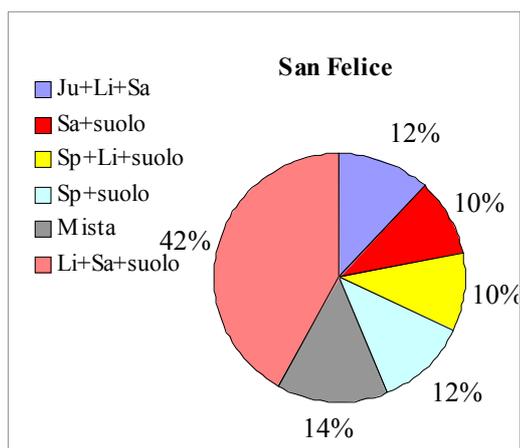
poter essere riconosciute nell'immagine telerilevata, i cui *pixel* definiscono l'unità minima di osservazione della scena; dal momento che la vegetazione di barena si dispone secondo zone che raramente sono molto vaste, una delle maggiori difficoltà incontrate è stata proprio quella di rilevare aree omogenee di dimensioni confrontabili con la risoluzione degli strumenti remoti senza compromettere l'omogeneità della copertura, che diminuisce all'aumentare delle superfici considerate. Come verrà discusso in dettaglio nel capitolo VI, la presenza di *pixel* "misti" nell'immagine, ovvero di *pixel* in cui vi è compresenza di diverse specie vegetali, determina una minor separabilità delle categorie presenti al suolo e ciò diminuisce l'accuratezza di classificazione delle immagini acquisite.

Il *pixel* QuickBird presenta una risoluzione geometrica di 70cm al suolo nel pancromatico, ma assume le dimensioni di 2,80 metri nel multispettrale, e questa è la modalità di acquisizione dei dati che viene poi utilizzata ai fini della classificazione dell'immagine. È chiaro quindi che la superficie minima al suolo utile per poter essere identificata come un intero *pixel* QuickBird è di almeno 6m<sup>2</sup> (se infatti l'area individuata a terra fosse minore potrebbe risultare a cavallo di due *pixel* e non caratterizzare nessuno dei due) e, preferibilmente, dovrebbe presentare una forma regolare. La difficoltà di determinare superfici con queste caratteristiche ha condizionato la scelta delle verità a terra, che solo raramente hanno corrisposto a superfici di copertura omogenea: la maggior parte dei rilievi è stata infatti effettuata su aree miste a due o tre specie vegetali, e su aree di bordo, particolarmente strette e comprensive di più di quattro specie vegetali.

La scelta delle aree di vegetazione per la calibrazione delle immagini è inoltre condizionata dal fatto che non tutte le specie vegetali di barena manifestano la tipica disposizione "a macchie": vi sono alcune specie, infatti, come *Puccinellia palustris*, *Suaeda maritima*, *Inula crithmoides* e *Aster tripolium*, presenti generalmente in fasce strette lungo i bordi di ghebi e canali, che si osservano in ridotte percentuali di copertura sulle barene e che non hanno tendenza a formare zone distinte di colonizzazione. Queste piante crescono in consorzi misti di tre o più specie vegetali, a volte al confine di aree di vegetazione monospecifiche, e rappresentano una fonte di disturbo nell'interpretazione dei dati telerilevati in quanto riducono la purezza dei *pixel* di confine tra aree omogenee contigue e riducono l'accuratezza della classificazione.



Durante le varie campagne di misura effettuate (mesi di maggio, giugno, luglio, in parte agosto e settembre), sono state rilevate in totale 72 aree di vegetazione. Nelle figg.4.3÷4.6 viene confrontata la frequenza con cui si sono osservate le aree a diversa percentuale di copertura presso le quattro barene di indagine.

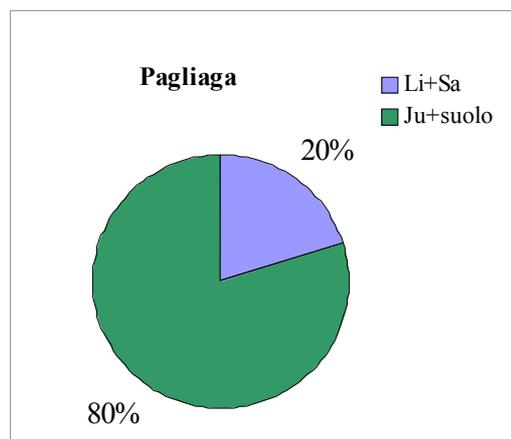


Figg.4.3 e 4.4 - Abbondanza dei consorzi vegetali presenti presso sulle barene di San Felice e Pagliaga.

Figg.4.5 e 4.6 - Abbondanza dei consorzi vegetali presenti presso le barene Palude Maggiore e Saline.

I

sopralluoghi effettuati hanno mostrato che nelle diverse barene non solo i consorzi vegetali che si osservano sono differenti, ma anche che vi sono dei popolamenti che ricorrono con maggior frequenza nella fase di individuazione delle aree: ciò potrebbe essere un indice della diversa tendenza delle specie a formare macchie e a manifestare il fenomeno della zonazione. In particolare si osserva che in barena S.Felice risultano più numerose le aree colonizzate esclusivamente da *Limonium* e *Sarcocornia* spp. (42%), le aree di bordo miste (14%), quelle omogenee a *Spartina* sp. e i consorzi formati da



le aree di bordo miste (14%), quelle omogenee a *Spartina* sp. e i consorzi formati da

*Juncus*, *Limonium* e *Sarcocornia* spp., mentre i popolamenti di *Spartina* sp. e *Sarcocornia* sp. sono sensibilmente meno frequenti (10%).

Nonostante il numero di aree di vegetazione rilevate a Pagliaga sia piuttosto modesto, anche presso questa barena si osserva il fenomeno della zonazione con maggior frequenza nelle zone a copertura monospecifica di *Juncus* sp., mentre presso Palude Maggiore sono più numerosi i consorzi formati da *Spartina* e *Sarcocornia* spp.

Infine, presso le Saline le aree individuate presentano in genere copertura a *Spartina*, *Limonium* e *Sarcocornia* (64%), mentre le aree di vegetazione mista e quelle omogenee a *Spartina* sono meno frequenti (9%); inoltre si osservano zone di differente composizione rispetto alle precedenti barene, come aree a *Salicornia veneta*, molto abbondante in questo sito (18%).

Come si osserva dai diagrammi riportati, la valutazione della copertura percentuale delle aree di vegetazione è avvenuta considerando anche la frazione di suolo nudo visibile al loro interno: questo accorgimento è stato adottato sia per evitare di sovrastimare la percentuale di copertura vegetale delle superfici di barena, sia per stabilire l'effetto della presenza di suolo nudo sulla risposta spettrale fornita dai sensori remoti utilizzati per il riconoscimento delle aree di vegetazione.

Allo scopo di ottenere una misura della radiazione intercettata dalle foglie delle piante per la fotosintesi, e quindi indirettamente avere un'informazione relativa al rapporto vegetazione/suolo all'interno dell'area di indagine, durante la campagna di luglio ci si è serviti di un misuratore LAI (*Leaf Area Index*) (fig.4.7): si tratta essenzialmente di uno strumento che misura la biomassa e indirettamente fornisce una stima della luce intercettata da parte della copertura fogliare; associato alla misurazione del PAR (*Photosynthetically Active Radiation*) è usualmente impiegato per studi relativi a patologie fitologiche e per controllare l'efficacia di fertilizzazione, irrigazione e somministrazione di pesticidi sulle colture produttive; rappresenta ad ogni modo un ottimo strumento per stimare il grado di copertura vegetale delle aree di interesse sfruttando la sensibilità dello strumento nello spettro del visibile (tra i 400 e i 700nm circa). Il ceptometro esegue la lettura della radiazione assorbita mediante 80 fotodiodi

Fig.4.7 - Ceptometro  
LAI/PAR AccuPAR  
completo di sonda.

indipendenti distanziati di 1cm.



Il valore del LAI ( $L$ ) per una determinata area di vegetazione viene calcolato automaticamente dallo strumento utilizzando il risultato della misurazione del PAR, secondo la formula:

$$L = \frac{\left[ \left( 1 - \frac{1}{2K} \right) f_b - 1 \right] \ln \tau}{A(1 - 0.47 f_b)} \quad [1]$$

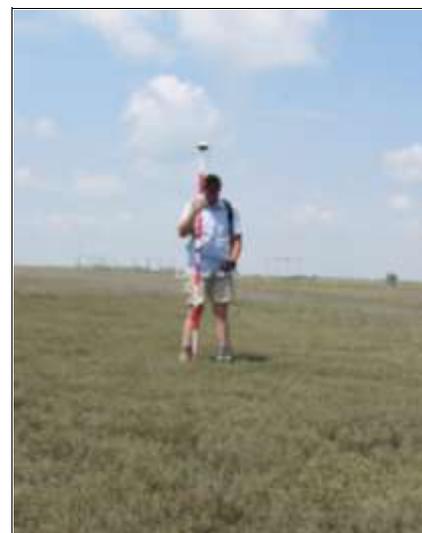
dove  $f_b$  (*fractional beam*) rappresenta la radiazione proveniente direttamente dal Sole, distinta dalla radiazione diffusa dall'ambiente,  $A$  è un fattore che dipende dal coefficiente di assorbimento delle foglie  $a$  nell'intervallo spettrale del visibile (posta in genere pari a 0,9) secondo la relazione  $A=0.283 + 0.785a - 0.159a^2$ ,  $\tau$  è il rapporto tra la misurazione del PAR effettuata al di sotto e al di sopra della copertura fogliare e  $K$  è il coefficiente di estinzione della copertura vegetale, che dipende dall'angolo zenitale<sup>4</sup> al momento della misurazione e dal coefficiente di distribuzione fogliare ( $\chi$ ).

L'unico parametro che è necessario introdurre nello strumento è proprio il coefficiente  $\chi$ , che viene scelto al momento della misura in funzione della struttura complessiva della specie vegetale in esame. Il valore di  $\chi$  dipende dall'orientamento delle foglie ed è definito dal rapporto tra le proiezioni orizzontale e verticale dell'area fogliare media della pianta di cui si misura l'indice di copertura; risulta quindi un parametro essenziale per definire la quantità di radiazione intercettata dalle foglie per un dato angolo zenitale.

La varietà strutturale delle specie vegetali di barena e la mancanza di riferimenti a misurazioni analoghe in letteratura hanno limitato l'interpretazione dei dati acquisiti con lo strumento, il cui utilizzo durante la campagna di luglio ha costituito solamente un tentativo di ricostruire un indice LAI rappresentativo per le specie tipiche di barena. I

dati acquisiti sono ancora in fase di elaborazione e il metodo va quindi affinato per mettere a punto un sistema corretto di stima della radiazione intercettata dalle diverse alofite.

Una volta individuate le aree di vegetazione si è utilizzato un DGPS o GPS differenziale<sup>5</sup> per la definizione delle coordinate dei punti perimetrali e per la misura della quota del suolo (v.fig.4.8). Trattandosi di uno strumento dotato di precisione piuttosto elevata ( $\pm 3\text{cm}$ ), il suo utilizzo risulta particolarmente indicato per la definizione delle coordinate delle diverse zone vegetate di barena, che come già visto presentano delimitazioni piuttosto nette.



*Fig.4.8 - Utilizzo del GPS differenziale per la misurazione della quota del suolo.*

All'interno di ogni area sono stati poi acquisiti altri dati di posizione e di quota per avere un ulteriore riferimento interno, soprattutto per le aree di maggior estensione. Per quanto riguarda la verifica di eventuali differenze nella distribuzione delle specie rispetto alla quota, una volta raccolte le aree di verità a terra per la calibrazione delle immagini telerilevate si è provveduto all'acquisizione di una serie di misure puntuali prese sulle diverse specie vegetali in corrispondenza delle aree omogenee rilevate sulle quattro barene di osservazione. I risultati dell'elaborazione di questi dati saranno discussi in dettaglio nel prossimo capitolo.

### **§4.3.2 Le riprese da pallone aerostatico frenato**

Un altro strumento impiegato per la stima della copertura vegetale di barena è un pallone aerostatico frenato riempito di elio, mantenuto ad una distanza di circa 30m dal suolo, a cui viene collegata una telecamera CCD che acquisisce immagini ad elevata risoluzione per il riconoscimento della vegetazione e della morfologia dei ghebi. A differenza degli altri sistemi di osservazione descritti finora, che eseguono riprese istantanee dell'area, il pallone aerostatico consente di eseguire riprese in continuo, quindi si presta al monitoraggio dell'interazione tra vegetazione e flusso di marea nelle

<sup>5</sup> La determinazione della posizione mediante DGPS prevede la disposizione di un ricevitore posto in un luogo di coordinate note (caposaldo) che rileva la propria posizione GPS tramite le distanze dai satelliti; ricevuta la costellazione in uno o più punti noti, si trasmettono in tempo reale le informazioni ai ricevitori mobili nei pressi del luogo di coordinate conosciute.

condizioni di sommersione della barena. La fig.4.9 illustra lo strumento usato e la ripresa di un ghebo da un'altezza di 30 metri presso la barena di San Felice.

La messa a punto del sistema di ripresa ha richiesto la realizzazione di un software per l'acquisizione da 2 telecamere monocromatiche e da una a colori; il collegamento remoto tra PC portatile e computer di acquisizione; l'ottimizzazione del sistema attraverso la trasmissione del segnale video via radio.

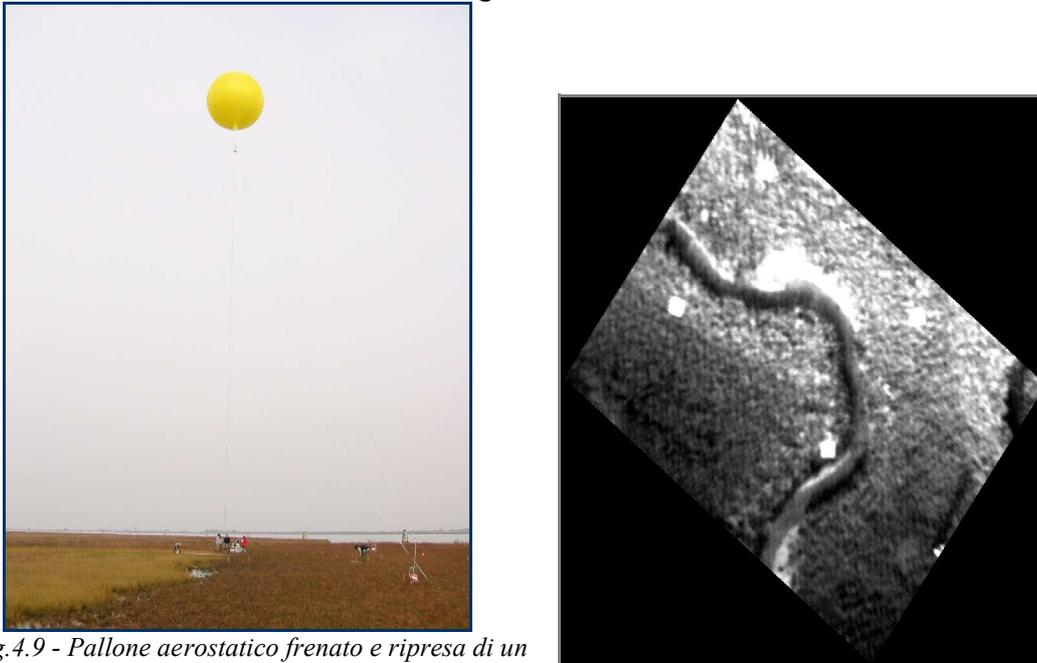


Fig.4.9 - Pallone aerostatico frenato e ripresa di un ghebo con videocamera CCD monocromatica.

La ripresa avviene nella banda che va dai 400 ai 1000nm, ed è effettuata con risoluzione radiometrica pari a 8bit, mentre la risoluzione geometrica al suolo è di 2cm e di 4cm rispettivamente a 15 e a 30m di altezza.

### §4.3.3 Fotografie digitali delle aree

Ogni area delimitata a terra è stata fotografata da un'altezza di circa 2,5 metri mediante fotocamera digitale fissata su un'asta verticale: l'analisi delle foto è consistita nella sovrapposizione di una griglia di area a terra pari a 1m<sup>2</sup> e nella stima della percentuale di copertura delle specie presenti; con questo espediente si è cercato di mettere a punto un sistema di controllo delle percentuali di copertura rilevate in campo, in modo da eliminare gli effetti di prospettiva dell'osservatore nella stima della presenza di suolo nudo, che risulta difficilmente individuabile a causa della vegetazione, in alcuni casi molto fitta. In fig.4.10 viene riportato un esempio di rilevamento eseguito in campo su un'area a copertura omogenea a *Spartina* sp. in presenza di abbondante suolo visibile. In letteratura non sono stati trovati esempi di osservazioni di questo tipo:



GER 1500: presenta una risoluzione spaziale che raggiunge i 2,6cm ad 1m di distanza dal target e acquisisce il segnale in 512 bande che coprono l'intervallo tra i 300 e i 1050nm (fig.4.11).

Si tratta quindi di uno strumento in grado di fornire una firma spettrale molto precisa e si rivela particolarmente utile per il riconoscimento delle specie vegetali di barena; le diverse alofite, infatti, presentano valori di riflettanza molto diversi in alcuni intervalli dello spettro elettromagnetico, e questo differente comportamento consente di discriminare una specie dall'altra.

I siti di campionamento in cui effettuare le misurazioni sono stati scelti in modo tale da ottenere un campione di comunità vegetali rappresentativo della varietà di specie presente in laguna, e anche in questo caso si è cercato di effettuare le misurazioni in aree di vegetazione omogenee e sufficientemente ampie da poter essere individuabili nell'immagine MIVIS; i rilevamenti sono stati eseguiti misurando prima la radianza al di sopra delle aree di vegetazione, avendo cura di non oscurare il *target* al suolo, e in seguito determinando la radianza di un pannello calibrato di Halon, usato come riferimento. La riflettanza effettiva dell'area si ottiene dividendo i due valori registrati in ogni banda spettrale (Silvestri et al., 2002).

Le curve di riflettanza misurate a terra mediante spettroradiometro, essendo piuttosto accurate, verranno utilizzate come *endmember* (classi di riferimento al suolo) per la classificazione delle immagini iperspettrali acquisite: in questo caso sarà allora necessario applicare una procedura di *scaling* ai dati, allo scopo di rendere confrontabili le informazioni acquisite da due strumenti dotati di risoluzione spaziale e spettrale molto diversa.

#### **§4.4 Considerazioni**

La raccolta delle verità a terra è una fase fondamentale per l'interpretazione delle immagini telerilevate, e in generale per tutti gli studi sperimentali in cui è necessaria la validazione di modelli che verranno poi applicati a sistemi più ampi e complessi.

Una delle principali caratteristiche che tali osservazioni in campo devono avere è quindi quella di riuscire a descrivere le interazioni fra le variabili di studio con una generalità tale da poterle facilmente estendere a porzioni del sistema non esplorate direttamente. Spesso, infatti, come accade nello studio di ambienti di transizione così fragili come le barene in laguna di Venezia, le osservazioni in campo devono

necessariamente concentrarsi in un ridotto numero di aree, di estensione limitata, a causa della difficile accessibilità di molte zone della laguna.

Proprio per questi motivi le indagini in campo hanno rappresentato il punto critico del primo anno di lavoro: la frequenza di osservazione delle aree è stata condizionata dalle condizioni atmosferiche, di marea e dalla disponibilità di un'imbarcazione per il trasporto di strumenti e operatori; la scelta dei siti di studio è ricaduta fra quelle barene che consentono in genere di condurre le osservazioni per buona parte delle giornate senza eccessivi problemi legati alla presenza di acqua in superficie, ma è stata limitata anche da fattori legati alla praticità nel trasporto, quali il facile raggiungimento e la relativa vicinanza fra le barene osservate.

Per quanto riguarda la modalità di acquisizione delle verità a terra, nel capitolo precedente è stato messo in luce come la metodologia del telerilevamento multiscala sia un modo particolarmente efficace per l'osservazione di fenomeni che si sviluppano su scale spaziali e temporali diverse. Per mettere in relazione le osservazioni remote con le effettive dinamiche di barena, è quindi necessario che anche le indagini in campo per la calibrazione delle immagini vengano condotte secondo il medesimo approccio integrato.

Il livello fondamentale è l'area di vegetazione riconoscibile in campo: per ognuna di esse si intende raccogliere un set completo di informazioni comprensivo di firma spettrale dell'area, fotografia digitale da un'altezza di circa 2,5m, videoripresa eseguita da pallone frenato ad una distanza di 15 o 30m, rilevamento Lidar per la stima dell'andamento altimetrico del suolo, immagine da sensore remoto aerotrasportato, ripresa da satellite ad elevata risoluzione. Le informazioni radiometriche e spaziali dei *pixel* QuikBird possono essere quindi combinate con le informazioni iperspettrali delle riprese aeree e con la stima dell'effettiva percentuale di copertura vegetale data dalle foto digitali e dalle riprese da pallone; in questo modo potrebbe essere possibile associare ai valori di radianza di un *pixel* informazioni relative all'esatta frazione di copertura vegetale, allo scopo di creare librerie spettrali non solo di specie singole, ma anche di consorzi fra diverse specie. Per questo motivo durante le osservazioni in campo si è cercato di individuare aree a copertura crescente almeno di un tipo di associazione (per es. 100% Limonium, 90% Limonium-10% Sarcocornia, 80% Limonium-20% Sarcocornia, e così via), ma in realtà, come già evidenziato nel capitolo precedente, risulta molto difficile individuare in barena aree di questo tipo che siano

sufficientemente estese da poter essere riconosciute come interi *pixel* nelle immagini telerilevate.

La metodologia integrata adottata presenta quindi il vantaggio di consentire un'adeguata osservazione di ambienti complessi, come l'ecosistema lagunare, per i quali è necessario estrarre le informazioni a diversi livelli di dettaglio; tuttavia, allo scopo di verificare l'eventuale invarianza dei fenomeni indagati rispetto alla scala di osservazione<sup>6</sup>, è necessario comprendere quali problemi comporti l'integrazione dei rilievi effettuati a scale differenti e trovare quindi delle relazioni che permettano sia di aggregare (*scaling up*) che di disaggregare (*scaling down*) i dati acquisiti ai diversi livelli senza perdite o alterazioni nel contenuto informativo (Quattrochi e Goodchild, 1997).

---

<sup>6</sup> Studi recenti ipotizzano che il modello di evoluzione delle barene segua le leggi di invarianza rispetto alla scala tipiche della teoria dei frattali; secondo queste ipotesi, acqua, suolo e vegetazione si alternerebbero nell'ambiente di barena mediante schemi evolutivi dettati da autosomiglianza.