

3. RACCOLTA ED ELABORAZIONI DATI

Per stabilire una relazione tra le risposte spettrali misurate dal radiometro e quelle registrate dal satellite, è stato necessario effettuare alcune campagne di misura sul campo finalizzate ad acquisire dati in diversi periodi dell'anno, in modo da considerare anche le variazioni temporali dei parametri studiati e l'influenza stagionale su di essi.

La buona riuscita di una campagna di misura, fondamentale ai fini della ricerca, dipende principalmente da due fattori: l'altezza di marea e le condizioni meteorologiche. L'escursione mareale è un fattore limitante in quanto non permette di condurre le osservazioni nei luoghi sommersi dall'acqua: perché le misure di riflettanza risulterebbero poco affidabili anche nei casi in cui solo il suolo risultasse ancora bagnato, perché la presenza di acqua nel terreno fa registrare una diminuzione di riflettanza nel range delle lunghezze d'onda 900÷1000nm. Anche il secondo fattore limita la qualità del rilievo, infatti l'uso dei sensori che operano nel visibile o nell'infrarosso non può avvenire in presenza di cielo nuvoloso. Un ulteriore aspetto da tenere in considerazione nella fase di raccolta dei dati nel sito di studio è lo stato della vegetazione: i rilievi sono stati fatti con maggior frequenza nel periodo primaverile-estivo, quando i diversi popolamenti vegetali coprono uniformemente le aree di barena e la loro vegetazione facilita la divisione del sito di studio in aree omogenee, maggiormente riconoscibile nei dati rilevati in remoto.

3.1 Area di studio

I dati utilizzati in questo studio sono stati acquisiti nelle campagne di febbraio e luglio 2003. L'area osservata è la barena di San Felice, che si trova nella laguna nord, nelle vicinanze di Treporti, ed è delimitata a nord e ad ovest dal canale di S. Felice e dal canale Gaggian, a sud dal canale di S. Felice e ad est dalla palude di Tralo; questa zona è interessata al flusso riflusso di marea ed all'apporto di acque dolci.

La morfologia della barena di S. Felice è caratterizzata da bordi rialzati presso i canali e da una superficie debolmente degradante verso le velme che ne occupano la parte più interna. Essa presenta una quota media di 20 cm sul l.m.m.. La



Figura 3.1 Barena di San Felice

principale fonte di sedimenti è costituita da sabbia, proveniente dalla zona costiera dell'Adriatico e trasportata in laguna dalle correnti di marea (Day, 1996).

3.2 Acquisizione dei riferimenti a terra

La prima operazione da condurre per una efficace raccolta di dati è quella di individuare alcune aree di vegetazione (verità a terra), all'interno della zona di studio, che siano il più omogenee¹ possibile per non compromettere il successivo lavoro di zonazione e di classificazione dell'area. Successivamente viene realizzata una stima visiva della percentuale di vegetazione e di suolo presenti nell'area; il metodo di stima a vista consente di eseguire campionamenti rapidi e numerosi (Salviato, 2000). Un requisito importante di queste aree è che ha costituito spesso una difficoltà, è che esse devono avere superfici sufficientemente ampie da poter essere riconosciute nell'immagine telerilevata, i cui pixel definiscono l'unità minima risolvibile; pixel in cui sono presenti più specie vegetali infatti causano una poco accurata classificazione delle immagini. Se le aree campionate avessero una superficie inferiore a 7.84m^2 , sarebbero difficili da riconoscere all'interno dell'immagine satellitare perché non caratterizzerebbero in maniera uniforme tutto il pixel.

La difficoltà di trovare aree a terra con queste caratteristiche ha portato ad un compromesso tra ampiezza e omogeneità al momento del campionamento. Nella stagione invernale (febbraio) è stato difficile trovare aree totalmente coperte da vegetazione, tuttavia è stato possibile identificarne 9 che soddisfacevano le nostre esigenze, in modo particolare 3 aree si possono definire omogenee a *Limonium*, *Sarcocornia* e *Spartina*. A luglio le aree erano quasi interamente coperte da vegetazione, ma per problemi alla strumentazione ne è stata campionata una sola adatta allo studio.

Dopo aver scelto i siti da campionare si è utilizzato un GPS per la raccolta delle coordinate dei punti perimetrali degli stessi, necessarie ad individuarle successivamente all'interno dell'immagine satellitare. Per ogni area osservata è stata poi scattata una fotografia mediante una fotocamera digitale fissata ad un'asta alta 2.5m. Questa operazione serve per controllare a posteriori le percentuali di copertura vegetale dell'area, diminuendo così eventuali errori di valutazione commessi durante la fase di campionamento.

Attraverso l'uso del radiometro portatile GER si è proceduto al rilievo delle firme spettrali in punti scelti casualmente all'interno delle aree omogenee.

Per ogni area sono state raccolte una quindicina di registrazioni, precedute da taratura con un pannello grigio opportunamente calibrato su banco ottico. Questo riferimento è necessario per

¹ Si considera **omogenea** un'area ricoperta per almeno il 60% della sua superficie dalla stessa specie vegetale

valutare la radiazione del target in percentuali della totale radiazione incidente, evita quindi di calcolare la radiazione totale naturale. Si possono infatti scrivere le seguenti relazioni:

$$\rho_t(\lambda) = \pi L_t(\lambda) / E(\lambda) \quad (3.1)$$

$$\rho_p(\lambda) = \pi L_p(\lambda) / E(\lambda) \quad (3.2)$$

dove ρ indica la riflettanza, L la radianza misurata, E l'energia naturale totale (diretta e diffusa), mentre gli indici p e t indicano rispettivamente il pannello e il target.

Nota ρ_p le precedenti formule, forniscono la riflettanza del target nella forma:

$$\rho_t(\lambda) = \frac{L_t(\lambda) \cdot \rho_p(\lambda)}{L_p(\lambda)} \quad (3.3)$$

3.3 Elaborazione dei dati a terra

I dati ottenuti con il radiometro portatile GER1500, sono stati corretti per il diverso angolo di incidenza dei raggi solari durante le misurazioni. Partendo dal giorno ed ora dell'acquisizione si calcola l'angolo θ (radianti) di incidenza dei raggi solari rispetto allo zenith e con questo il coefficiente k_θ mediante la seguente formula:

$$k_\theta = a_0 + a_1 \theta + a_2 \theta^2 \quad (3.4)$$

dove a_0 , a_1 , a_2 sono dei coefficienti che dipendono dal pannello utilizzato e sono forniti dalla calibrazione.

Il coefficiente k_θ permette di calcolare la *riflettanza*, da utilizzare quando si opera all'aperto e la fonte luminosa è il sole, attraverso la relazione:

$$\rho_t(\lambda) = \frac{L_t(\lambda) \cdot \rho_0 \cdot k_\theta}{L_p(\lambda) \cdot 2k_0} \quad (3.5)$$

dove ρ_0 è il coefficiente di riflettanza a 0 gradi e k_0 è il valore di k integrato a 0 gradi, entrambi sono forniti dalla calibrazione.

Dalla (3.5) si sono ottenute le riflettanze dei singoli punti di misura e da questi per ciascuna area in esame è stata calcolata la riflettanza media sulle quattordici riflettanze registrate su ogni area (vedi tabelle 3.1, 3.2).

Tab 3.1 DI RIFLETTANZA MEDIA DELLE AREE DI LUGLIO

	AREA				
BANDE	42_03	43_03	44_03	45_03	46_03
BLU	0.033	0.024	0.032	0.037	0.025
VERDE	0.053	0.040	0.050	0.055	0.041
ROSSO	0.057	0.042	0.056	0.064	0.046
NIR	0.174	0.197	0.162	0.134	0.194

Tab 3.2 RIFLETTANZA MEDIA DELLE AREE DI FEBBRAIO

	AREA								
BANDE	1_03	2_03	4_03	5_03	6_03	9_03	19_03	21_03	22-03
BLU	0,042	0,051	0,031	0,034	0,044	0,051	0,027	0,049	0,019
VERDE	0,056	0,068	0,046	0,047	0,059	0,066	0,039	0,064	0,028
ROSSO	0,071	0,085	0,058	0,058	0,077	0,075	0,048	0,077	0,033
NIR	0,151	0,165	0,114	0,144	0,156	0,146	0,111	0,162	0,091

Gli spettri di riflettanza esaminati hanno permesso di selezionare quelle aree più significative, cioè quelle che si possono ritenere omogenee: un'area di *Limonium*, due di *Sarcocornia* (analizzate in due periodi diversi dell'anno) e una di *Spartina*. Nella figura 3.6 sono

riportati a confronto tutti gli spettri per visualizzare le differenze delle firme spettrali sia in termini di specie vegetali che di stagione (estiva-invernale).

Come si può notare dalle figure 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 gli spettri delle diverse vegetazioni sono tra loro differenti, cambiando l'intervallo nel quale sono compresi i valori di riflettanza (ad esempio per la *Spartina* è tra 0.02 e 0.11 mentre per la *Sarcocornia* varia tra 0.02 e 0.2).

In figura 3.6 si nota che i valori di riflettanza delle due aree di *Sarcocornia* aumentano nell'infrarosso e diminuiscono nel rosso nel passaggio dalla stagione invernale a quella estiva, a causa dell'aumento dell'attività fotosintetica e della percentuale di copertura vegetale. Un maggior valore di riflettanza nell'infrarosso rispetto alla banda del rosso si osserva anche confrontando gli spettri di due aree a differente composizione ma con la stessa copertura (*Spartina* e *Sarcocornia* di febbraio): ciò è dovuto alla diversa capacità delle varie specie vegetali di riflettere la radiazione solare.

Si può notare inoltre come lo spettro della *Spartina* (fig. 3.5) presenti un basso valore di riflettanza nell'infrarosso, causato probabilmente dalla struttura della pianta che, sviluppandosi in verticale, offre una piccola area riflettente.

Un'ulteriore considerazione da sottolineare è l'aumento evidente, riscontrabile in tutte le aree e per tutte le specie vegetali analizzate, dell'assorbimento nell'intervallo delle lunghezze d'onda 600÷700 nm, causato dalla clorofilla nella vegetazione stessa.

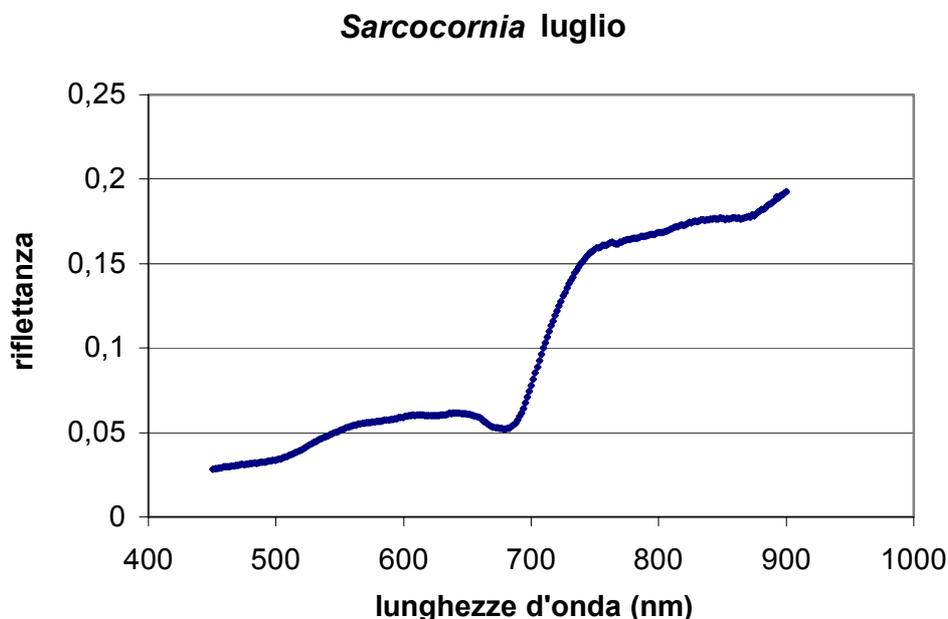


Figura 3.2 - Spettro dell'area 42_03 composta per il 10% da suolo e per il 90% da *Sarcocornia*

***Limonium* febbraio**

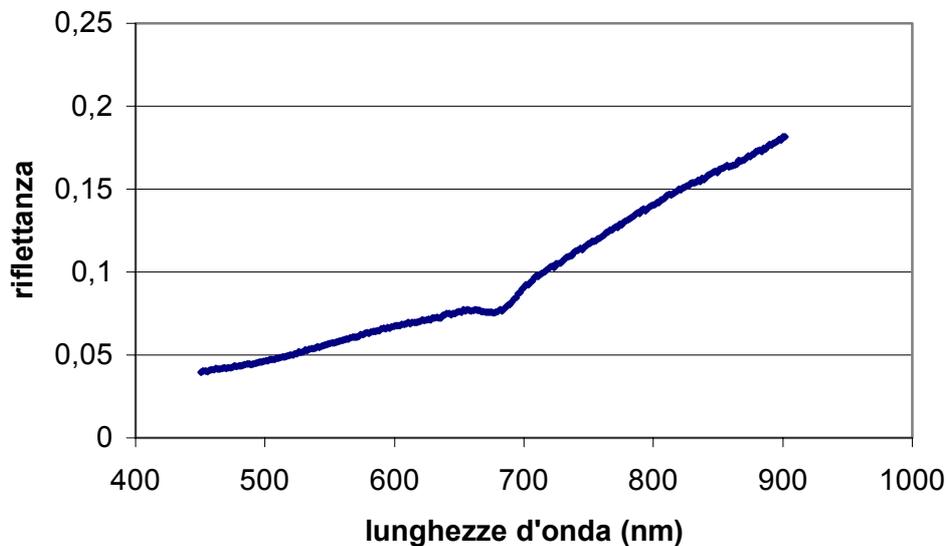


Figura 3.3 - Spettro dell' area 6_03 composta per il 40% da suolo e per il 60% da *Limonium*

***Sarcocornia* febbraio**

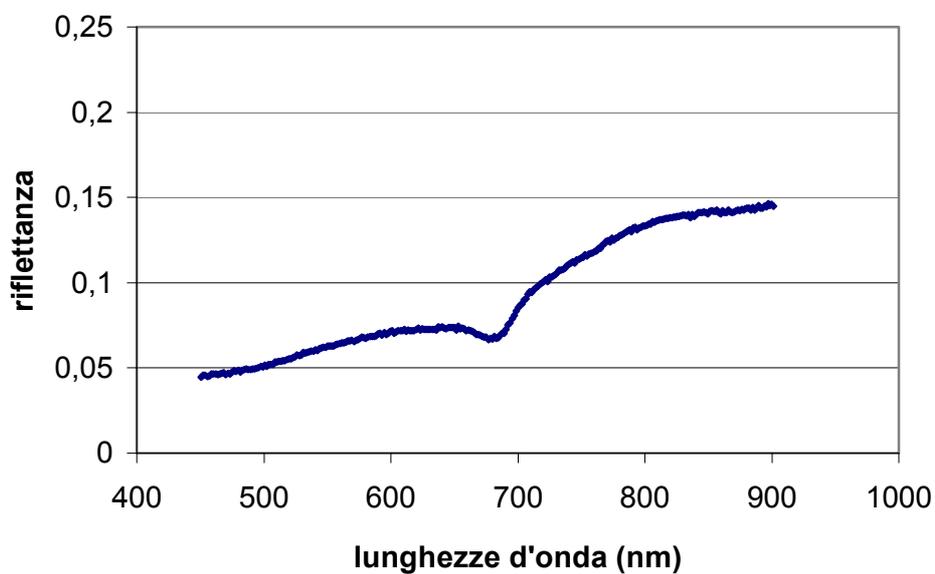


Figura 3.4 - Spettro dell' area 9_03 composta per il 40% di suolo e per il 60% di *Sarcocornia*

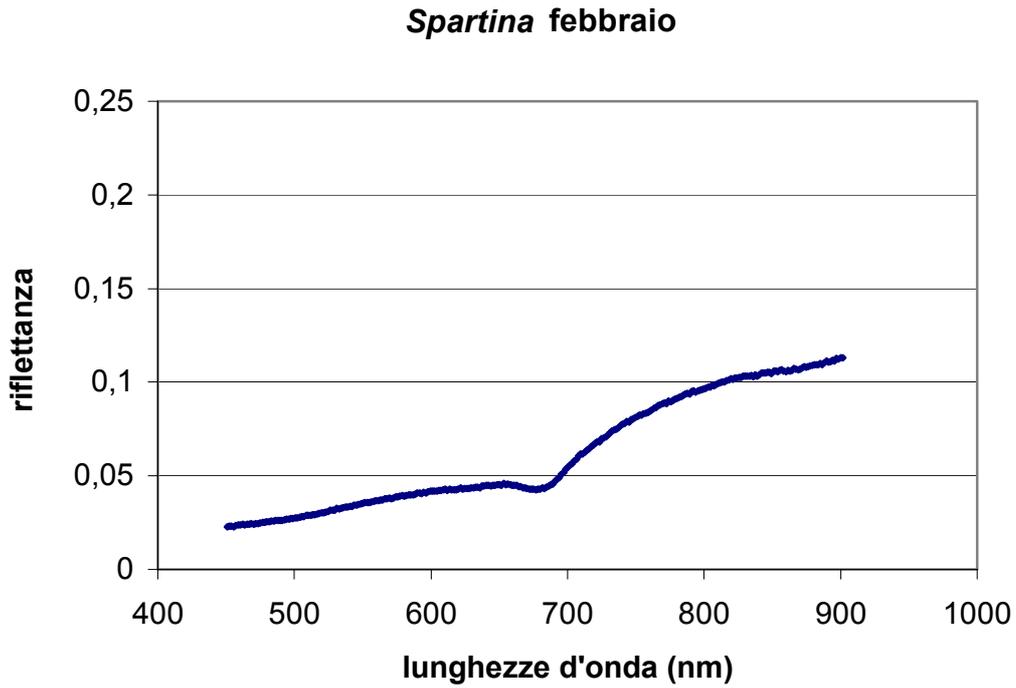


Figura 3.5 - Spettro dell'area 19_03 composta per il 40% da suolo e per il 60% da *Spartina*

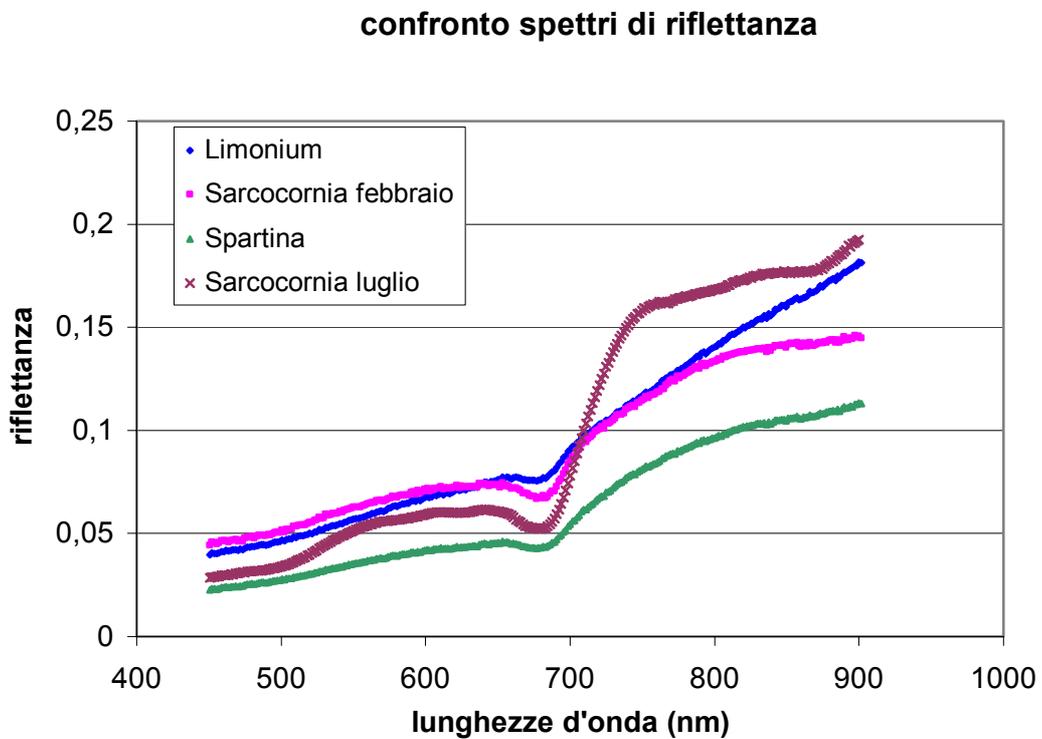


Figura 3.6 - Confronto degli spettri delle quattro aree

3.3.1 Gli indici di vegetazione

La differenza tra energia riflessa nel rosso e nel vicino infrarosso da parte della vegetazione verde è stato motivo di un grande dibattito per sviluppare indici quantitativi della densità di vegetazione (i.e. misure indirette di biomassa).

Jackson e Huete (1987) classificano gli indici di vegetazione (VI) in due gruppi:

- Quelli basati sulla distanza
- Quelli basati sulla pendenza

Al primo gruppo appartengono gli indici che misurano l'abbondanza di vegetazione valutando le differenze dei valori di riflettanza di ogni punto rispetto a quelli relativi al suolo nudo. La difficoltà di questi indici è che richiedono l'analisi dei valori dell'intercetta e della pendenza della linea del suolo, e richiedono di un gran numero di dati relativi al solo suolo.

Al secondo gruppo appartengono gli indici, che sfruttano il contrasto di risposta spettrale nel rosso e nel vicino infrarosso, senza considerare alcun fattore esterno. I valori di riflettanza nelle bande del rosso e del vicino infrarosso vengono posti in un grafico (rosso/vicino infrarosso) la pendenza delle rette così ricavate identificano i valori diversi dell'indice.

Tra questi indici spicca l'NDVI (Normalized Vegetation Density Index), che è stato uno dei primi ad essere studiato ed è ancora uno dei più usati negli studi di vegetazione, poiché presenta una maggiore semplicità d'uso rispetto ad altri indici e non richiede la conoscenza di parametri (effetti del suolo, variabilità di illuminazione dovuta alla topografia, ecc..) che, se valutati impropriamente, possono amplificare le cause di errore.

L'NDVI, presentato per la prima da Rouse nel 1974 per distinguere la vegetazione dal suolo nudo, è espresso come differenza tra la banda dell'infrarosso vicino e quella del rosso normalizzata alla loro somma:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (3.6)$$

Esso minimizza gli effetti topografici, producendo una scala di misurazione lineare che varia da -1 a +1, dove lo zero e i valori negativi rappresentano superfici non vegetate, mentre valori crescenti positivi indicano zone in cui aumenta la copertura vegetale.

Alla luce dei buoni risultati riscontrabili in letteratura (Gitelson et al., 1996) sull'utilizzo dell'NDVI come indicatore di copertura vegetale, si è calcolato tale indice nelle aree analizzate in questo studio, per osservare la variazione del suo valore al variare della specie vegetale e della percentuale di copertura. Inizialmente è stato calcolato l'indice per ognuno degli spettri acquisiti nelle diverse aree, successivamente è stata calcolata la media degli indici relativi alla stessa area.

I valori ottenuti sono riportati in tabella 3.2, nella quale le aree campite con il giallo sono riprese in inverno, quelle con il verde in estate, mentre in azzurrino sono evidenziate le verità a terra, per le quali in figura 3.6 sono riportati gli spettri.

tab 3.2 INDICE NDVI PER VALORI OTTENUTI DA RADIOMETRO

AREA	COMPOSIZIONE	VALORI DI NDVI
1_03	10%soil 45%sar 45%li	0.363
2_03	30%soil 20%sar 50%li	0.322
4_03	50%soil 35%sp 15%li	0.322
5_03	40%soil 30% ju 20% sar10%li	0.423
6_03	40%soil 60%li	0.340
9_03	40%soil 60%sar	0.321
19_03	40%soil 60%sp	0.399
21_03	20%soil 80%li	0.357
22_03	30%soil 35%sp 35% sar	0.467
42_03	10%soil 90% sar	0.503
43_03	50%sar 50%li	0.647
44_03	10%soil 90%sar	0.484
45_03	30%soil 30%li 40%sp	0.355
46_03	40%soil 50%li 10%sar	0.614

Dall'analisi di questi dati si può osservare come per le aree di luglio il valore dell'indice sia più elevato rispetto a quello ottenuto in febbraio, questo perché la vegetazione è più fitta ed attiva fotosinteticamente nel periodo estivo.

Un altro aspetto interessante è l'elevato valore assunto dall'indice per l'area 46_03 (costituita da 50% di *Limonium*, 10% *Sarcocornia* e 40% di suolo) rispetto ad aree con minore presenza di suolo, come per esempio l'area 42_03, che presenta soltanto il 10% di suolo. Questo comportamento potrebbe dipendere dalla diversa struttura delle piante presenti: nella prima area infatti c'è *Limonium*, nella seconda invece si trova *Sarcocornia*: il *Limonium* si presenta con delle

foglie verdi abbastanza estese, orientate orizzontalmente, offrendo quindi una vasta superficie ricca di pigmenti che fanno aumentare il valore dell'indice. La *Sarcocornia* al contrario ha una struttura più legnosa e si sviluppa prevalentemente in verticale, cioè a parità di biomassa, offre una superficie molto inferiore, facendo così rilevare valori di NDVI più bassi.

Il fatto che l'indice assuma valori diversi al variare del tipo di specie considerata, offre un'opportunità di riconoscimento delle diverse specie presenti in un'area, soprattutto quando il numero dei dati a disposizione è elevato e sufficiente per esse statisticamente significativo.

3.4 Elaborazione dei dati da satellite

Le immagini acquisite da satellite vengono dapprima corrette per renderle confrontabili tra loro; le fasi successive, invece, hanno lo scopo di estrarre il contenuto informativo da usare in carte tematiche di sintesi.

3.4.1 Image Processing

I processi di correzione nel loro complesso vengono indicati come *image processing*.

Questa fase di preelaborazione cerca di minimizzare gli errori, il rumore di fondo e le distorsioni introdotte durante l'acquisizione e la trasmissione, al fine di ottenere una rappresentazione il più fedele possibile. Essa comprende le procedure di correzione radiometrica, atmosferica e geometrica.

➔ La correzione radiometrica

La correzione radiometrica permette di eliminare gli errori dovuti al cattivo funzionamento dei sensori e all'influenza dello strato di atmosfera interposto tra il sensore e la scena investigata.

L'aggiunta di radiazione dovuta alla diffusione di energia radiante da parte dell'atmosfera diminuisce il contrasto delle immagini rilevate, e deve quindi essere eliminata; ciò che avviene nella procedura di correzione atmosferica.

La prima causa di disturbo viene ovviata attraverso l'equalizzazione (già effettuata dalla Digital Globe) della risposta del sensore in termini di risposta radiometrica relativa tra canali, ottenendo la compensazione per la distorsione ottica e di scansione della scena, che dipende dalla geometria interna del detector. Per ottenere l'effettiva risposta del sensore occorre invece disporre dei fattori che trasformano i digital number (DN) nei valori di radianza assoluta.

Per le quattro bande del QuickBird la correzione radiometrica ha permesso di ottenere i valori di radianza in $W/m^2 \text{ sr nm}$, usando la seguente formula:

$$L = k \cdot q \quad (3.7)$$

Dove L è la radianza in $\text{W}/\text{m}^2 \text{ sr}$, k è il valore correttivo in $\text{W}/\text{m}^2 \text{ sr DN}$, e q rappresenta la matrice dei DN forniti dai detectors radiometricamente corretti.

➤ La correzione atmosferica

Non tutta la radiazione solare riflessa dalla superficie terrestre raggiunge i sensori montati sui satelliti, poiché l'atmosfera funziona da filtro selettivo alle diverse lunghezze d'onda ed i fotoni mancanti vengono persi nei processi di *assorbimento* e di *scattering*.

Per questo motivo i dati raccolti devono essere sottoposti alla correzione atmosferica, che nel nostro caso viene effettuata dal modello 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum), codice sviluppato in Fortran che simula il comportamento dell'atmosfera nel trasferimento della radiazione solare dello spettro visibile ed infrarosso (Vermote et al., 1997). Il 6S ricava un'espressione analitica della riflettanza atmosferica misurata da un sensore posizionato su piattaforma sia satellitare che aerea, e calcola la correzione del segnale per gli effetti dovuti alla presenza di ossigeno molecolare, anidride carbonica e monossido di azoto, distinguendo quattro diverse componenti:

- la componente atmosferica, comprende i fotoni in arrivo al sensore senza che abbiano raggiunto la superficie terrestre e diffusi all'indietro dall'atmosfera (back scattering);
- la componente diffusa, riguarda la radiazione che raggiunge il sensore dopo essere stata diffusa dall'atmosfera;
- la componente ambientale, si riferisce alla frazione di radiazione riflessa al di fuori della superficie del target e diffusa verso il sensore;
- la componente multi-scattering, considera i fotoni diffusi più volte nel tragitto tra superficie e atmosfera prima di raggiungere il sensore (chiamato effetto trappola).

Per ottenere i valori della correzione bisogna calibrare il modello 6S con informazioni acquisite in situ per alcuni punti di riferimento che appartengono alla scena da riprendere con il sensore, ed avere la risposta con la quale esso rileva lo spettro solare. Tale risposta è una curva a disposizione di chi gestisce il sensore ed è fornita con le immagini.

La correzione atmosferica è molto importante perché consente di eliminare tutti i fattori di distorsione che può generare l'atmosfera, rendendo possibile il confronto degli spettri di bersagli rilevati da differenti sensori.

➔ La correzione geometrica

Lo scopo della correzione geometrica è quello di rendere confrontabili immagini acquisite in momenti diversi ed eliminare le deformazioni introdotte dal sistema di ripresa.

Le correzioni riguardano le distorsioni provocate dalla variazione di velocità di rotazione terrestre, dalla distorsione dello specchio dello scanner, dalla curvatura, dalla rotazione terrestre e dalla distorsione panoramica (modificazione sull'immagine della posizione relativa ai punti rappresentativi della scena, a causa della non linearità di funzionamento dei sistemi di ripresa basati sulla scansione ottico-meccanica).

Queste correzioni vengono normalmente applicate alle immagini riprese da satelliti direttamente presso le stazioni riceventi, prima che questi dati vengano distribuiti agli utenti. In aggiunta, per riconoscere la vegetazione alofila, si è proceduto ad una georeferenziazione attraverso l'uso di punti di riferimento (*Ground control point*, GCP) raccolti nelle varie campagne di misura. Infatti l'accuratezza della correzione fornita dai gestori risulta pari a $\pm 25\text{m}$, quindi inadeguata al riconoscimento delle aree di vegetazione. Per identificare gli elementi esaminati all'interno della scena è stato necessario registrare in un opportuno sistema di coordinate geografiche l'immagine acquisita. Il sistema di riferimento adottato è la proiezione cilindrica inversa Gauss-Boaga, in cui le coordinate vengono calcolate avendo come punto di origine il meridiano passante per Monte Mario a Roma, sull'elissoide internazionale ROMA 1940, e proiettate su coordinate piane chilometriche con false origini a 1500 km dal meridiano di riferimento nel fuso ovest (da 6 a 12 gradi ad est di Greenwich) e a 2520 km nel fuso est (da 12 a 18 gradi ad est di Greenwich).

Il processo di correzione avviene mediante una trasformazione geometrica delle coordinate della area osservata, modificando la posizione dei pixel sull'immagine, la cui radiometria non rappresenta più i valori reali misurati nell'area; perciò è necessario effettuare un ricampionamento dei dati di radianza rilevati al suolo ed una interpolazione matematica dei livelli di grigio. Il criterio usato per il ricampionamento è quello del "prossimo vicino": con questa tecnica il valore di radianza assegnato è il numero digitale del pixel che ha le coordinate (M,N) di riga e colonna – valori interi – più vicine alle coordinate (X,Y) – valori reali – ottenute dalla trasformazione geometrica.

La raccolta dei punti di controllo a terra (GCP) sulle aree di barena è la fase critica del lavoro di georeferenziazione, infatti l'acquisizione deve soddisfare tre condizioni essenziali per garantire un'adeguata correzione:

- il numero di punti individuati deve essere appropriato per consentire il processo di trasformazione lineare dell'immagine: maggiore è l'ordine del polinomio interpolante che si sceglie di utilizzare e maggiore dovrà essere il numero complessivo di GCP;

- i punti devono essere distribuiti in modo uniforme su tutta l'area rappresentata nell'immagine;
- il lasso temporale tra l'acquisizione dell'immagine ed i punti di riferimento a terra non deve essere elevato, in quanto risulterebbe poco affidabile la selezione dei punti in corrispondenza di caratteristiche morfologiche in continuo mutamento come ghebi, meandri di canali o zone di bordo, che periodicamente risultano sommerse dalle maree e quindi potrebbero risultare nascoste dall'acqua in occasione dell'acquisizione dell'immagine.

3.4.2 Risultati ottenuti

Le immagini utilizzate per lo studio erano già corrette atmosfericamente e georeferenziate da precedenti elaborazioni ed erano pertanto direttamente confrontabili.

A partire dalle immagini è stato possibile ottenere i valori di riflettanza media di ogni pixel appartenente alle verità a terra. Questa operazione è stata possibile attraverso l'uso del programma ENVI per l'elaborazione delle immagini satellitari, il quale restituisce in formato testo per le quattro bande dell'immagine multispettrale i valori di riflettanza dei pixel interni all'area considerata; mediando banda per banda i valori di riflettanza di tutti i pixel si ottiene lo spettro medio dell'area.

Nelle tabelle 3.3 e 3.4 sono riportati i valori di riflettanza solo delle aree per le quali si avevano a disposizione anche i dati radiometrici.

Tab 3.3 RISULTATI DI RIFLETTANZA MEDIA PER BANDA PER LE AREE DI FEBBRAIO

	AREA								
BANDE	1_03	2_03	4_03	5_03	6_03	9_03	19_03	21_03	22_03
BLU	0.120	0.119	0.120	0.118	0.119	0.121	0.117	0.118	0.120
VERDE	0.111	0.112	0.114	0.110	0.112	0.115	0.108	0.108	0.114
ROSSO	0.099	0.100	0.103	0.095	0.102	0.102	0.094	0.092	0.095
NIR	0.134	0.132	0.133	0.128	0.136	0.129	0.117	0.121	0.128

Tab 3.4 RISULTATI DI RIFLETTANZA MEDIA PER LE AREE DI LUGLIO

	AREA				
BANDE	42_03	43_03	44_03	45_03	46_03
BLU	0.099	0.096	0.097	0.097	0.091
VERDE	0.098	0.094	0.097	0.098	0.088
ROSSO	0.089	0.082	0.085	0.091	0.080
NIR	0.205	0.225	0.197	0.156	0.203

Per le aree considerate omogenee gli spettri sono stati riportati nelle figure dalla 3.7 alla 3.11, in modo da permettere il successivo confronto con quelli registrati a terra.

Osservando la figura 3.11 si nota come l'area di luglio (42_03), caratterizzata da *Sarcocornia* molto fitta, abbia un valore elevato nella banda dell'infrarosso e molto basso in quella del rosso, a conferma di una maggiore attività fotosintetica nella stagione estiva. Le aree di febbraio (6_03, 9_03, 19_03) presentano valori molto ravvicinati tra loro, pur essendo caratterizzate da vegetazioni differenti: questo implica la difficoltà di discriminare le specie vegetali tramite immagini satellitari acquisite in stagioni invernali, quando la copertura è bassa e l'attività delle piante è modesta. Tuttavia anche in questo caso è possibile osservare un leggero calo di riflettanza nella banda del rosso, dovuto al maggior assorbimento della radiazione elettromagnetica da parte della clorofilla presente nelle piante.

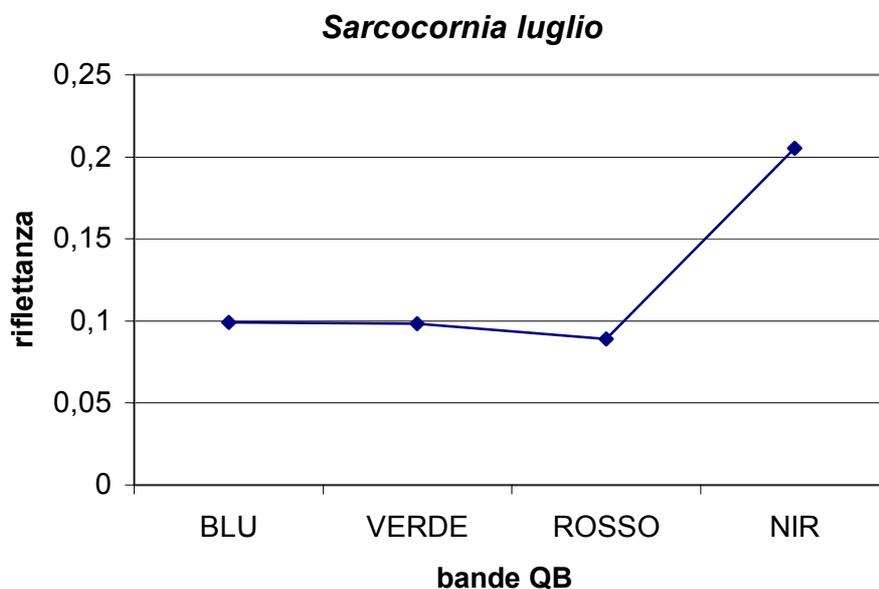


Figura 3.7 - Spettro dell'area 42_03 composta per il 10% da suolo e per 90% da *Sarcocornia*

***Limonium* febbraio**

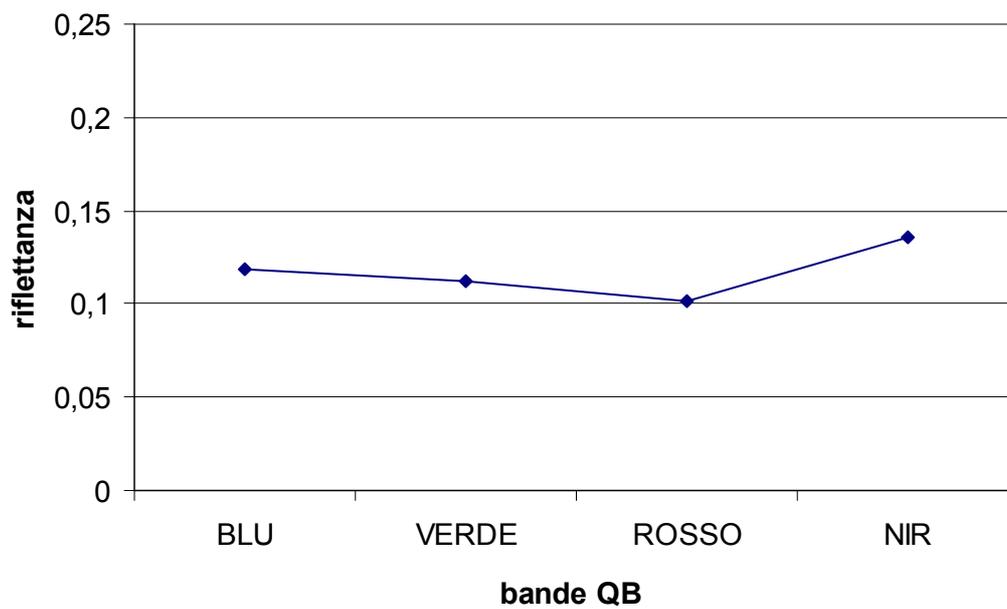


Figura 3.8 - Spettro dell'area 6_03 composta per il 40% da suolo e per il 60% da *Limonium*

***Sarcocornia* febbraio**

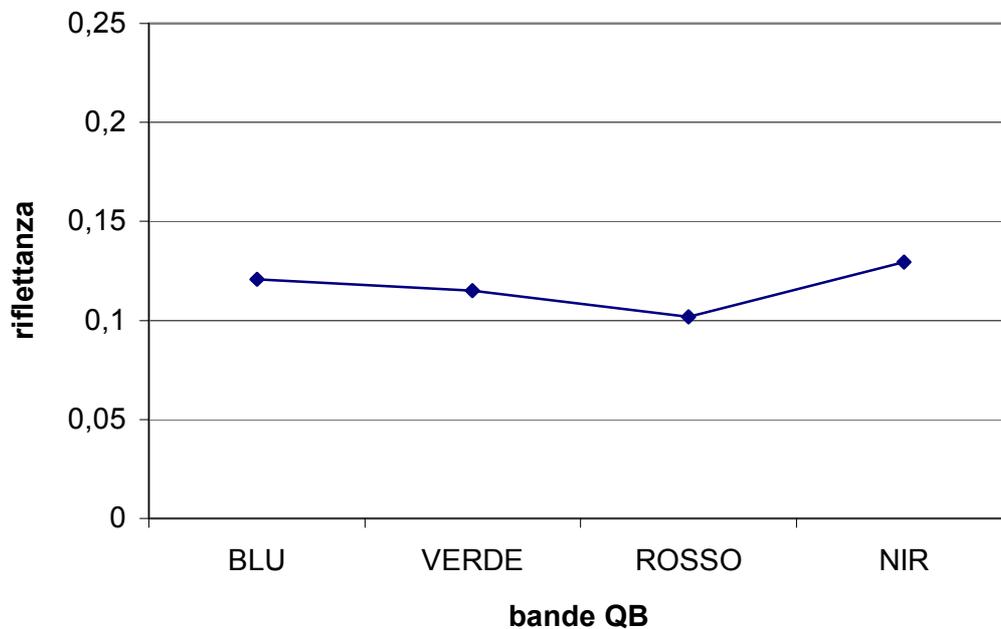


Figura 3.9 - Spettro dell'area 9_03 composta per il 40% da suolo e per il 60% da *Sarcocornia*

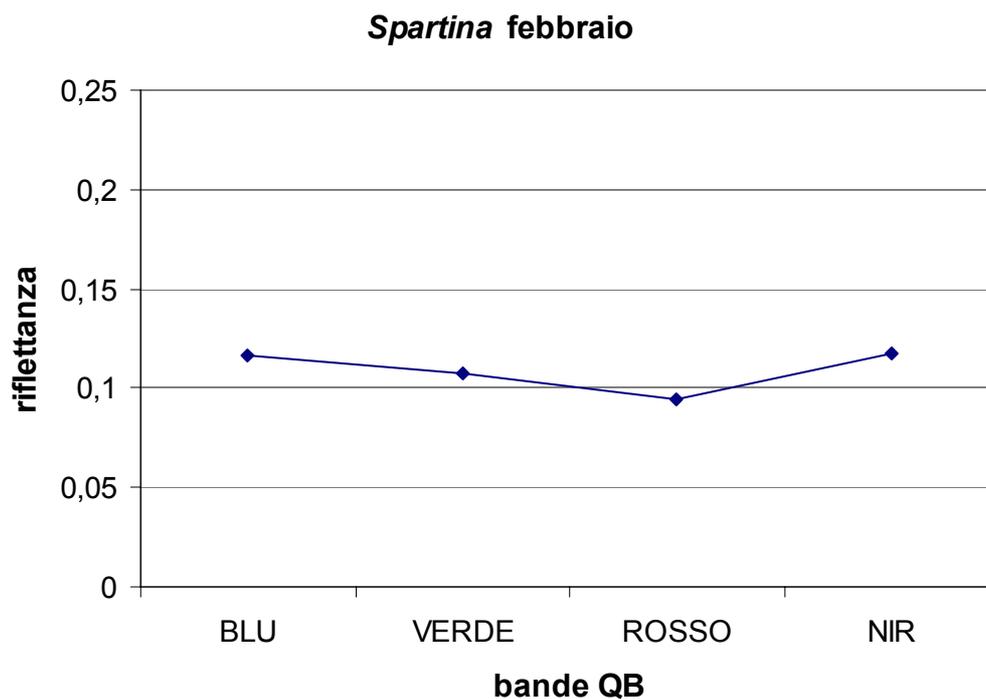


Figura 3.10 - Spettro dell'area 19-03 composta per il 40% da suolo e per il 60% da *Spartina*

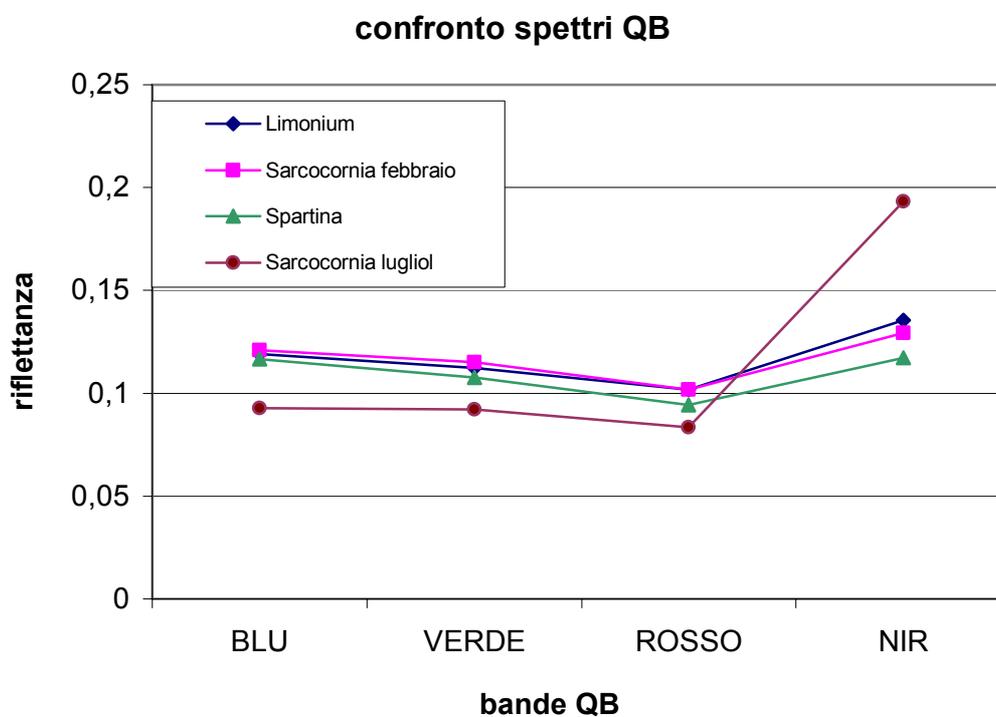


Figura 3.11 - Confronto degli spettri QuickBird

Anche per i dati acquisiti dal satellite QuickBird è stato calcolato l'indice di vegetazione NDVI, i cui valori relativi alle diverse aree sono riportati in tabella 3.4 (fondo giallo per aree riprese in inverno, verde in estate, azzurrino per verità a terra considerate omogenee, per le quali sono riportati anche gli spettri).

Nonostante il tasso di variazione del valore dell'NDVI sia abbastanza ristretto per le aree registrate a febbraio, si può comunque osservare un leggero aumento dell'indice di vegetazione in tutte quelle aree in cui vi è una parziale presenza di *Limonium*. Questo è dovuto alla struttura della pianta, che offre una superficie maggiore rispetto alle altre, così da permettere una riflessione più elevata; al contrario le aree a *Spartina* manifestano valori dell'indice più bassi, causati dalla sua struttura filiforme.

Anche il calcolo dell'NDVI conferma il fatto che per il mese di febbraio sia difficile discriminare le diverse specie vegetali attraverso l'uso di sensori satellitari, proprio per la scarsa copertura vegetale della superficie di barena e per la bassa attività fotosintetica.

Tab 3.4 INDICE NDVI PER VALORI OTTENUTI DA SATELLITE

AREA	COMPOSIZIONE	VALORE DI NDVI
1_03	10%soil 45% sar 45%li	0.151
2_03	30%soil 20%sar 50%li	0.139
4_03	50%soil 35%sp 15%li	0.127
5_03	40%soil 30% ju 20%sar 10%li	0.146
6_03	40%soil 60%li	0.142
9_03	40%soil 60%sar	0.119
19_03	40%soil 60%sp	0.109
21_03	20%soil 80%li	0.139
22_03	30%soil 35%sp 35% sar	0.150
42_03	10%soil 90% sar	0.395
43_03	50%sar 50%li	0.466
44_03	10%soil 90%sar	0.397
45_03	30%soil 30%li 40%sp	0.264
46_03	40%soil 50%li 10%sar	0.434

Nel mese di luglio i valori assunti dall'indice sono più elevati e compresi in un range più ampio, diversificandosi a seconda del tipo di specie presente: ciò evidenzia la possibilità di utilizzare questo indice per individuare le alofite presenti in barena, anche se il set di dati finora a disposizione, correlato al numero esiguo di immagini acquisite, non permette di riconoscere con precisione i valori tipici di ogni specie vegetale.