

## 4 I RISULTATI

La tesi si propone di stabilire se, utilizzando immagini riprese da satellite, sia possibile riconoscere le specie vegetali presenti nelle barene (nel caso specifico la barena di San Felice) attraverso gli indici di vegetazione.

Le immagini utilizzate riguardano maggio 2002 e febbraio 2003 (figura 4.1) e le analisi sono state condotte per valutare i cambiamenti della vegetazione in relazione ai diversi periodi dell'anno.

data acquisizione	ora solare dell'acquisizione	marea a San Felice
16/05/02	11:04:50	-16
10/02/03	11:03:53	-24

**Figura 4.1: data, ora acquisizione immagini e altezza marea a San Felice**

La prima operazione effettuata sulle immagini è stata di valutare la copertura della barena da parte della vegetazione, cercando di capire con gli indici di vegetazione se fosse possibile distinguere aree di suolo da aree con vegetazione anche rada. In seconda istanza, si è cercato di capire se era possibile, con gli indici, riconoscere le varie specie vegetali che popolano la barena. Le aree di maggio e febbraio sono molto diverse le une dalle altre a causa del diverso sviluppo stagionale della vegetazione.

Le aree sono state identificate con le modalità descritte nel paragrafo 1.4 usando un GPS differenziale per perimetrarle e la valutazione a vista per stimarne la composizione.

A maggio le specie vegetali sono particolarmente rigogliose, in febbraio sono al contrario quasi indistinguibili, prive di foglie e fiori con scarsa copertura vegetale e difficilmente analizzabili. Non è stato quindi possibile riutilizzare le stesse aree nei due diversi mesi perché avevano connotati vegetazionali totalmente diversi. Le aree di febbraio con copertura vegetale osservabile erano pochissime rispetto a quelle di maggio ed è stato necessario raggrupparle in maniera diversa.

L'analisi è stata dunque condotta considerando le aree come mostrato nella figura 4.2 nella quale è riportato il numero di pixel per ognuna delle specie analizzate (*Spartina maritima*, *Sarcocornia frutticosa*, *Juncus maritimus*, *Limonium narbonense* e un'area denominata "mix", comprendente specie diverse) e la percentuale di copertura del suolo (gli intervalli considerati sono 0÷10% e 15÷35% per maggio; 10÷30% e 30÷60% per febbraio).

Maggio 2002	Copertura suolo 0÷10%		Copertura suolo 15÷35%	
	N. pixel	percentuali	N. pixel	percentuali
Sarcocornia	24	10 suolo + 90 sarc	18	35 suolo + 65 sarc
Spartina	65	10 suolo + 90 spart	18	35 suolo + 65 spart
Limonium	45	5 suolo + 85 lim + 10 sarc	25	15 suolo + 80 lim + 5 sarc
Junco	51	5 suolo + 85 jun + 10 sarc	4	30 suolo + 60 jun + 10 lim
Mix	40	5 suolo + 35 jun + 40 lim+ + 20 sarc	2	15 suolo + 85 varie specie

Febbraio 2003	Copertura suolo 10÷30%		Copertura suolo 30÷60%	
	N. pixel	percentuali	N. pixel	percentuali
Sarcocornia	28	20 suolo, 80 sarc		
Spartina			19	60 suolo, 40 spart
Spartina			21	40 suolo, 60 spart
Limonium	39	30 suolo, 50 lim, 20 sarc		
Limonium	18	20 suolo, 80 lim		
Junco				
Mix	14	10 suolo, 45 lim, 45 sarc	65	50 suolo, 25 lim, 25 sarc
Mix	5	30 suolo, 35 sarc, 35 spart	44	50 suolo, 50 varie specie

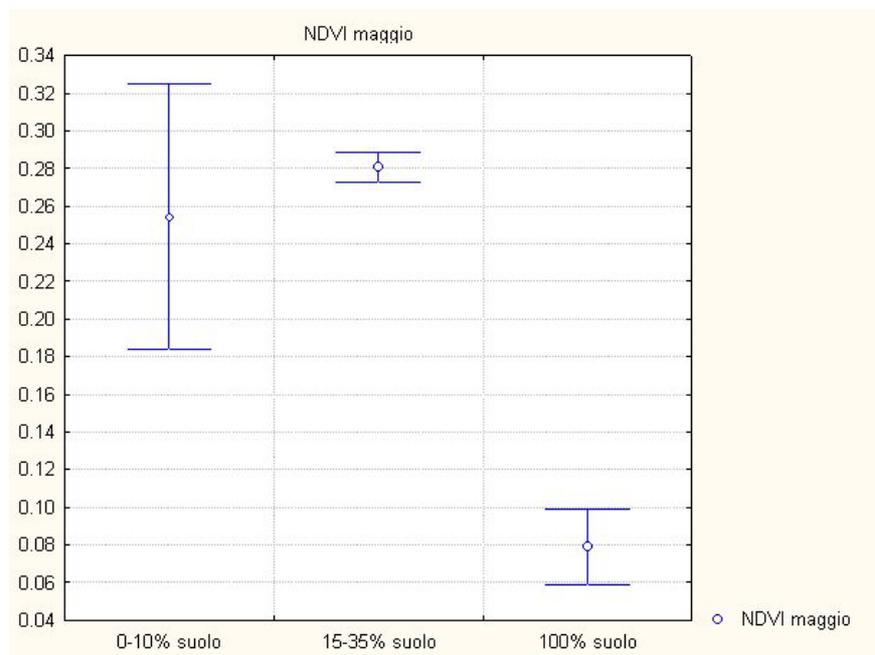
**Figura 4.2: tabelle delle percentuali di suolo e di vegetazione per maggio e febbraio (sarc = Sarcocornia, lim = Limonium, spart = Spartina, jun= Junco)**

## 4.1 VEGETAZIONE E SUOLO IN MAGGIO

La prima osservazione effettuata sulle aree di maggio riguarda la possibilità di distinguere aree vegetate da suolo nudo. Nelle figure 4.3 sono riportati i valori medi di tutti i pixel dell'indice NDVI, per diverse percentuali di copertura vegetale e le relative deviazioni standard. La figura 4.4 (che riporta in forma grafica i valori della tabella di figura 4.3) mostra che non vi è sovrapposizione dei punti relativi al suolo nudo con quelli relativi alle aree vegetate, mentre i due intervalli di copertura vegetale possono essere confusi. Dalle figure si può concludere che attraverso l'indice NDVI è possibile separare suolo da vegetazione.

Maggio	NDVI (adim)	
	media	dev. stand.
100	0.079	0.020
15÷35	0.280	0.008
0÷10	0.254	0.070

**Figura 4.3: NDVI di maggio: media e deviazione standard per diverse composizioni di vegetazione e suolo.**



**Figura 4.4: copertura vegetale e percentuali di suolo con l'indice NDVI (maggio)**

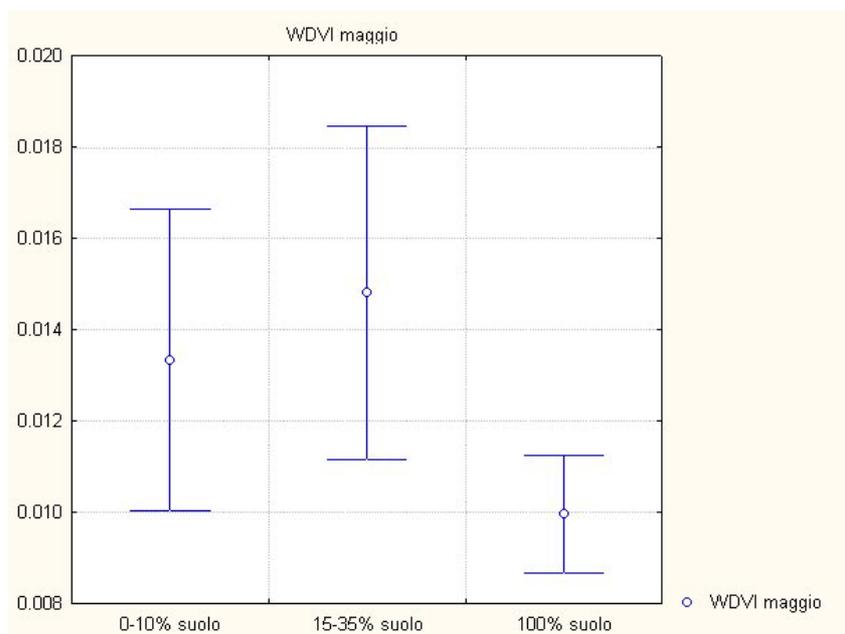
Per quanto riguarda l'indice WdVI (figura 4.5 e 4.6) invece i valori del range relativi al suolo nudo si sovrappongono in un caso a quelli relativi a zone parzialmente vegetate; pertanto

l'indice, seppur nato per discriminare suolo da vegetazione, non risulta nel nostro caso adatto allo scopo.

Considerando la difficoltà di calcolo del WDVl e la scarsa qualità dei risultati ottenuti, risulta preferibile utilizzare l'NDVI.

Maggio	WDVI (adim)		
	% di suolo	media	dev. stand.
100		0.0099	0.0013
15÷35		0.0133	0.0033
0÷10		0.0148	0.0037

**Figura 4.5: WDVl di maggio: media e deviazione standard per diverse composizioni di vegetazione e suolo.**



**Figura 4.6: copertura vegetale e percentuali di suolo con l'indice WDVl (maggio)**

Dai grafici si nota inoltre che, per entrambi gli indici, non vi è proporzionalità tra percentuale di suolo e valori dell'indice: un suolo con copertura vegetale del 90÷100% ha un valore di riflettanza minore di quello con copertura del 65÷85%, e maggiore di un suolo completamente nudo.

Gli intervalli di copertura considerati sono molto stretti, per cui i valori assunti dall'indice sono molto simili tra loro e non sono facilmente distinguibili; questo potrebbe giustificare la mancanza di proporzionalità, che si nota dall'analisi dei grafici in figura 4.4 e 4.6., tra valori medi dell'indice e copertura vegetale.

## 4.2 I RISULTATI DI MAGGIO 2002 PER L'INDICE NDVI

Una volta verificata la capacità dell'indice NDVI di distinguere suolo da vegetazione, è stata studiata la possibilità di discriminare le diverse specie presenti nella barena.

Innanzitutto è stata calcolata la media e la deviazione standard dei valori dell'indice (figura 4.7).

Maggio suolo 0÷10%	NDVI (adim)		Maggio suolo 15÷35%	NDVI (adim)	
	media	dev.stand		media	dev.stand
spartina	0,198	0,043	spartina	0.239	0.093
sarcocornia	0,280	0,025	sarcocornia	0.268	0.075
mix	0,252	0,063	mix	0.231	0.010
junco	0,211	0,026	junco	0.203	0.002
limonium	0,362	0,022	limonium	0,336	0,041

Figura 4.7: media e deviazione standard dell' indice NDVI per le percentuali di suolo indicate

I range relativi ad ognuna delle vegetazioni sono stati confrontati nel grafico in figura 4.8.

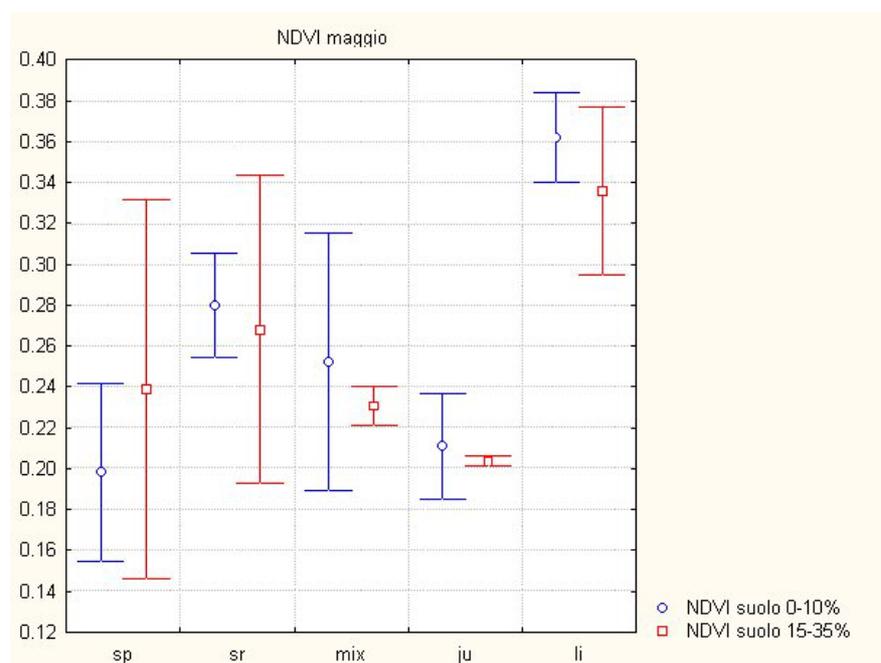


Figura 4.8: NDVI di maggio per più specie vegetali nella barena di San Felice

Si nota chiaramente come, per entrambe le percentuali di suolo considerate, la media relativa al Limonium presenti un valore che si discosta molto da quello delle altre vegetazioni. Queste sono caratterizzate da valori più bassi, simili tra loro; tale caratteristica può essere attribuita ad una diversa struttura della pianta: il Limonium si presenta con foglie estese, orientate orizzontalmente e con una superficie ricca di pigmenti, che rendono elevato il valore dell'indice NDVI.

Per quanto riguarda le altre vegetazioni si osserva che:

il Junco e la Spartina presentano valori medi molto simili tra loro e non risultano pertanto distinguibili. Ciò può essere attribuito al fatto che entrambe le piante hanno uno sviluppo prevalentemente verticale.

Le specie più facilmente distinguibili sono il Limonium e la Sarcocornia nelle coperture con 0÷10% di suolo e ancora il Limonium nelle coperture con 15÷35% di suolo, tuttavia la dispersione dei dati, soprattutto nel caso della Spartina, è talmente elevata da rendere le diverse specie tra loro indistinguibili ed il problema della sovrapposizione degli intervalli è più marcato nel caso in cui si consideri una copertura vegetale inferiore.

Per tutte le vegetazioni tranne che per la Spartina il valore dell'indice cresce all'aumentare della copertura vegetale come prevedibile dalla definizione dell'indice.

#### 4.3 RISULTATI DI MAGGIO 2002 PER L'INDICE WdVI

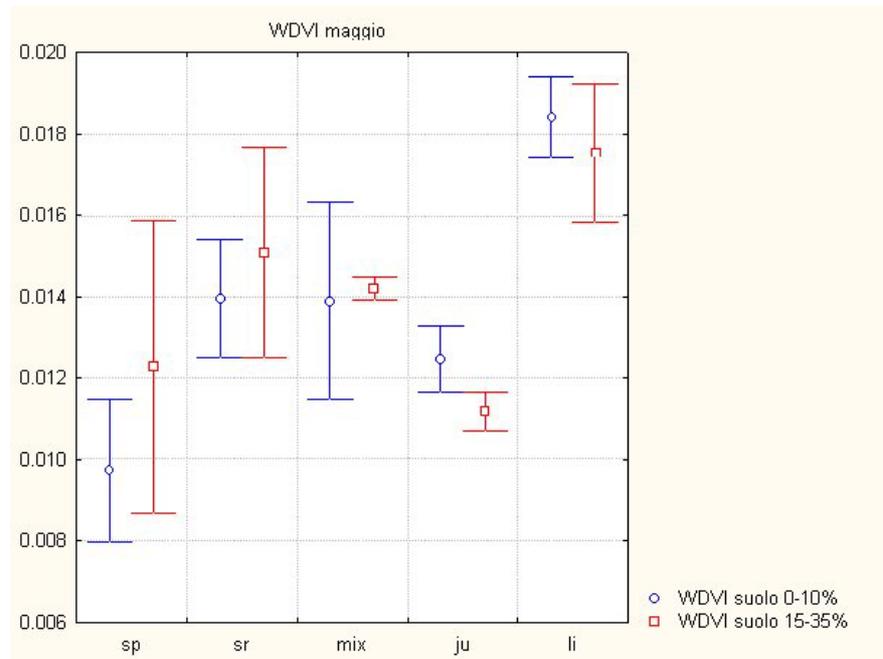
I risultati ottenuti (Figura 4.10) per il mese di maggio dall'indice WdVI sono molto simili a quelli ricavati dall'NDVI.

maggio suolo 0÷10%	WdVI (adim)	
	media	dev. stand.
spartina	0,0097	0,0017
sarcocornia	0,0139	0,0014
mix	0,0139	0,0024
junco	0,0124	0,0008
limonium	0,0184	0,0010

maggio suolo 15÷35%	WdVI (adim)	
	media	dev. stand.
spartina	0,0123	0,0036
sarcocornia	0,0151	0,0026
mix	0,0142	0,0003
junco	0,0112	0,0005
limonium	0,0175	0,0017

**Figura 4.9: media e deviazione standard dell' indice WdVI per le percentuali di suolo indicate**

I valori che fornisce questo indice (figura 4.9) sono molto più piccoli di quelli del NDVI, ma l'andamento del grafico rimane pressoché inalterato:



**Figura 4.10: WDVI di maggio per ogni specie vegetale nella barena di San Felice**

Il Limonium, con il suolo presente in più piccole percentuali, appare ancora la specie meglio individuabile, con i valori dell'indice più elevati.

Junco e Sarcocornia, sono le specie con i range maggiormente sovrapponibili. Oltretutto questi sono i più ristretti, riteniamo quindi che siano facilmente confondibili nell'immagine.

La Spartina appare facilmente riconoscibile, con dei valori dell'indice WDVI particolarmente bassi.

Nel caso delle immagini analizzate è facilmente osservabile come, oltre alla Spartina, già vista nell'NDVI, anche il valore dell'indice WDVI della Sarcocornia diminuisca all'aumentare della copertura vegetale invece di aumentare.

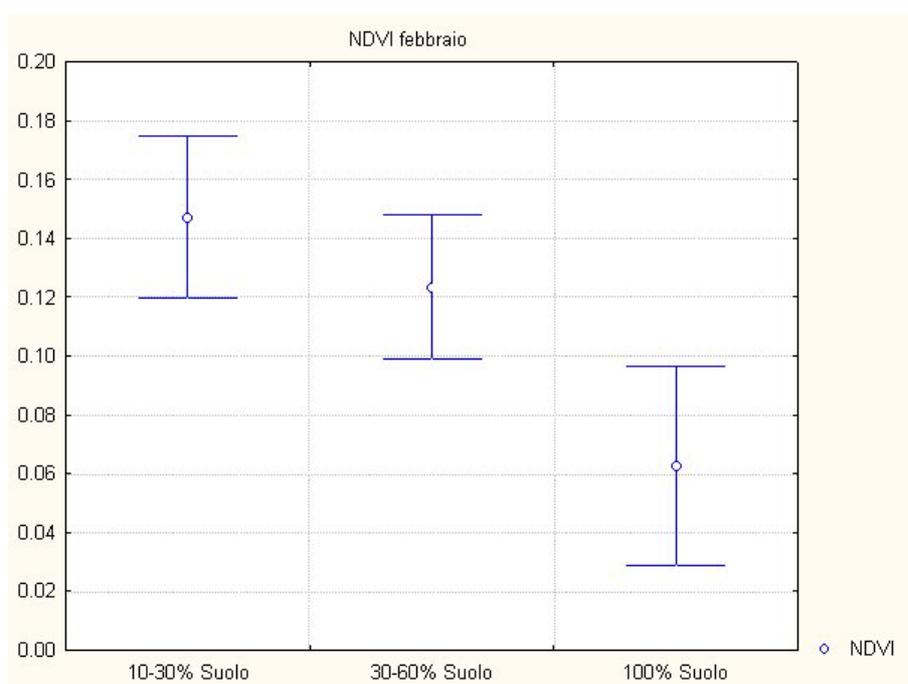
Per quanto riguarda le coperture di vegetazione tra 85 e 65% notiamo come i range siano più allungati per certe specie e meno per altre. L'osservazione maggiore è relativa alla possibile sovrapposizione dei range che non rende ben riconoscibile nessuna specie tanto che nemmeno il Limonium è completamente distaccato dagli altri.

#### 4.4 VEGETAZIONE E SUOLO IN FEBBRAIO

Come già osservato per i dati relativi al mese di maggio, anche dai valori degli indici calcolati sull'immagine di febbraio (Figura 4.11, 4.12, 4.13, 4.14) si distinguono le aree di suolo nudo da quelle con vegetazione; non è però quantificabile la percentuale di copertura perché i range che identificano la copertura vegetale si sovrappongono abbondantemente.

febbraio suolo %	NDVI (adim)	
	media	dev. stand.
100	0.063	0.034
10÷30	0.147	0.028
30÷60	0.124	0.024

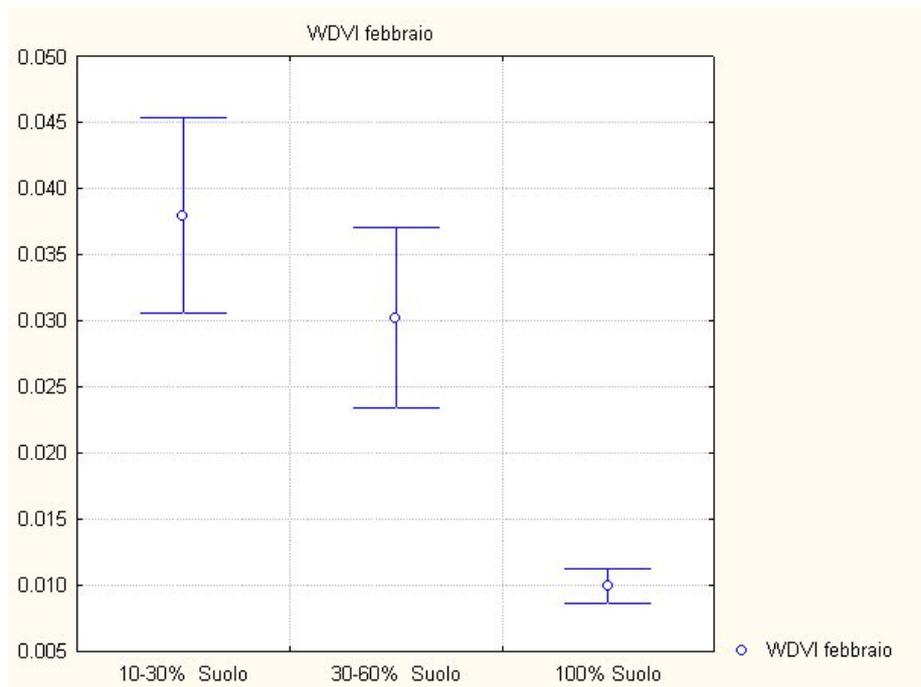
**Figura 4.11: NDVI di febbraio: media e deviazione standard di vegetazione e suolo**



**Figura 4.12: distinzione tra copertura vegetale e percentuali diverse di suolo nell'indice NDVI**

febbraio suolo %	WDVI (adim)	
	media	dev. stand.
100	0.0100	0.0013
10÷30	0.0380	0.0074
30÷60	0.0302	0.0068

**Figura 4.13: NDVI di febbraio: media e deviazione standard di vegetazione e suolo**



**Figura 4.14: distinzione tra copertura vegetale e percentuali diverse di suolo nell'indice WDVI**

Interessante è notare come, diversamente da quanto avveniva in maggio, il valore assunto da entrambi gli indici aumenti all'aumentare della percentuale della copertura vegetale. Questo andamento può essere attribuito al fatto che gli intervalli considerati nella stima della copertura sono più ampi e ciò induce una corretta proporzionalità, che si riscontra dall'analisi dei grafici in figura 4.12 e 4.14.

#### 4.5 I RISULTATI DI FEBBRAIO 2003 PER L'INDICE NDVI

La scelta delle aree di interesse nel mese di febbraio risulta più difficile di quanto non lo sia stato in maggio: le piante in questa stagione non possiedono sviluppo vegetativo, l'assenza di fiori e foglie determina l'insufficienza di pigmenti, indispensabili per utilizzare gli indici di vegetazione.

Le aree sulle quali si è lavorato erano solo 9, poche per avere un quadro completo delle possibilità, ed in più non contenevano tutte le vegetazioni studiate a maggio. Inoltre, non potendo essere in alcun modo unite assieme perché dotate di coperture vegetali o di percentuali di suolo diverse (figura 4.2), sono state utilizzate tutte singolarmente: 5 con suolo compreso tra 10÷30% (figura 4.15, 4.16) denominate Mix 1 e Mix2, Lim1 e Lim2, Sarc; e 4 con suolo tra il 35÷60% denominate Spart1 e Spart2, Mix 3 e Mix4 (figura 4.17, 4.18).

febbraio suolo 10÷30%	NDVI (adim)	
	media	dev. stand.
Mix 1	0.133	0.016
Mix 2	0.134	0.037
Lim 1	0.129	0.009
Lim 2	0.146	0.010
Sarc	0.182	0.024

Figura 4.15: barena di San Felice: NDVI di febbraio con 10÷30% di suolo e diverse specie vegetali.

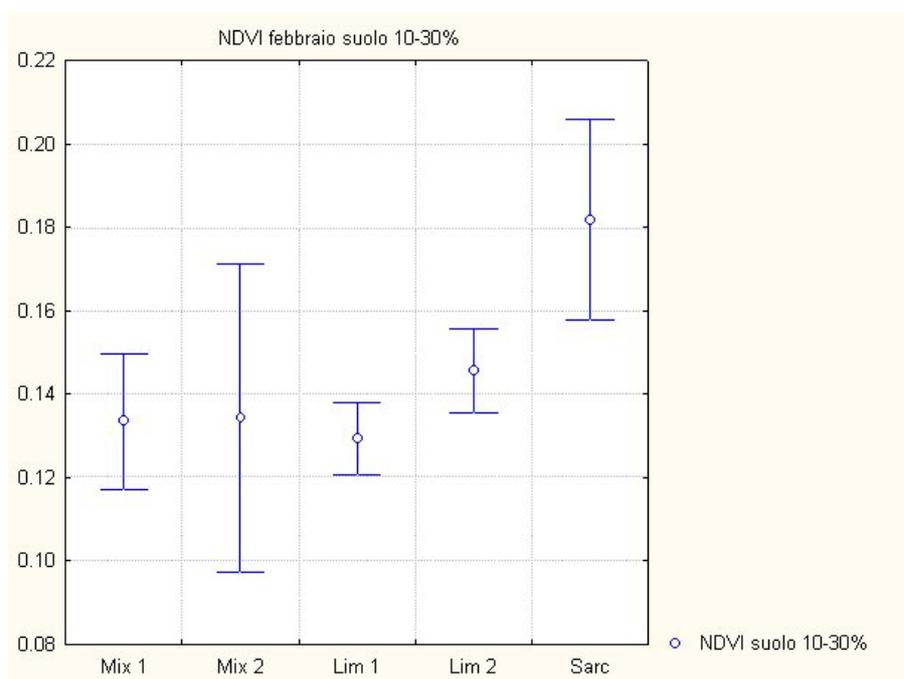


Figura 4.16: NDVI di febbraio con presenza di suolo compresa tra il 10 ed il 30%.

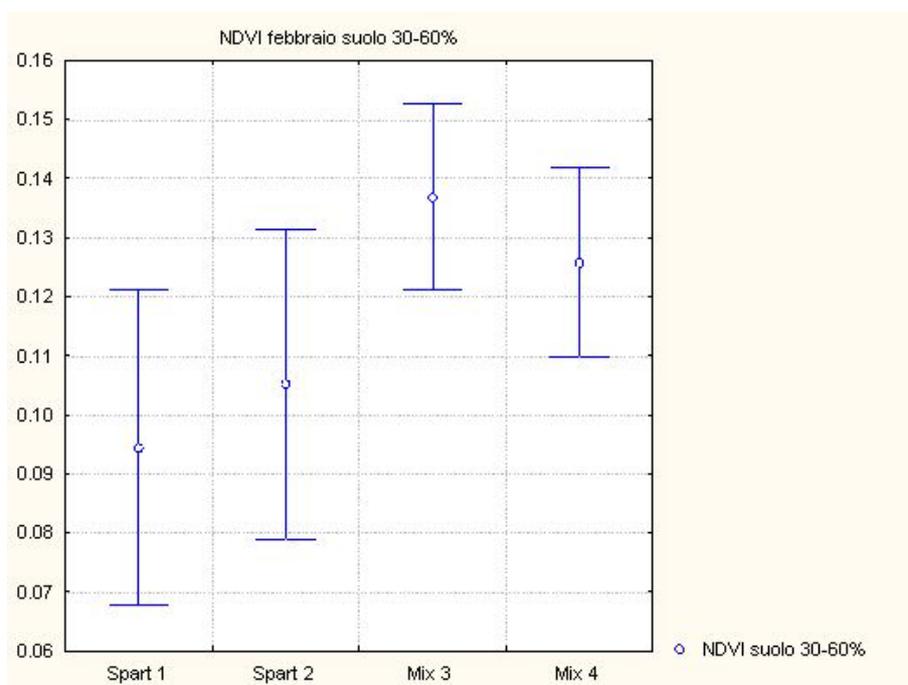
Con la copertura vegetale maggiore, le uniche due specie delle quali erano disponibili dati sono Limonium e Sarcocornia; i valori assunti dall'indice per queste due vegetazioni sono molto diversi, e non comparabili con quelli di maggio. Il Limonium infatti, che in primavera offre foglie ricche di pigmenti, in inverno si presenta spoglio e presenta pertanto valori dell'indice molto bassi.

Contrariamente a quanto avveniva in maggio, l'indice del Limonium ha valori addirittura inferiori a quelli della Sarcocornia.

Utilizzando lo stesso indice, ma una percentuale di suolo maggiore (figura 4.17, 4.18), si hanno a disposizione aree di vegetazione nelle quali oltre al mix compare solo Spartina ed in quantità troppo ridotta per consentire analisi affidabili.

febbraio suolo 30÷60%	NDVI (adim)	
	media	dev. stand.
Spart 1	0.094	0.027
Spart 2	0.105	0.026
Mix 3	0.137	0.016
Mix 4	0.126	0.016

**Figura 4.17: barena di San Felice: NDVI di febbraio con 30÷60% di suolo e diverse specie vegetali.**



**Figura 4.18: NDVI di febbraio con presenza di suolo compresa tra il 30 ed il 60%.**

#### 4.6 I RISULTATI DI FEBBRAIO 2003 PER L'INDICE WDV

I risultati per l'indice WDV si discostano pochissimo da quelli dell'NDVI. Anche qui la specie che meglio si nota con bassa percentuale di suolo è la Sarcocornia (figura 4.19, 4.20), con più alta percentuale di suolo è invece la Spartina (figura 4.21, 4.22). Come per NDVI, anche in questo caso i dati a disposizione sono scarsi e permettono considerazioni limitate.

febbraio sulo 10÷30%	WDVI (adim)	
	media	dev. stand.
Mix 1	0.237	0.029
Mix 2	0.222	0.068
Lim 1	0.235	0.016
Lim 2	0.256	0.021
Sarc	0.329	0.044

Figura 4.19: barena di San Felice: WDV di febbraio con 10÷30% di suolo e diverse specie vegetali.

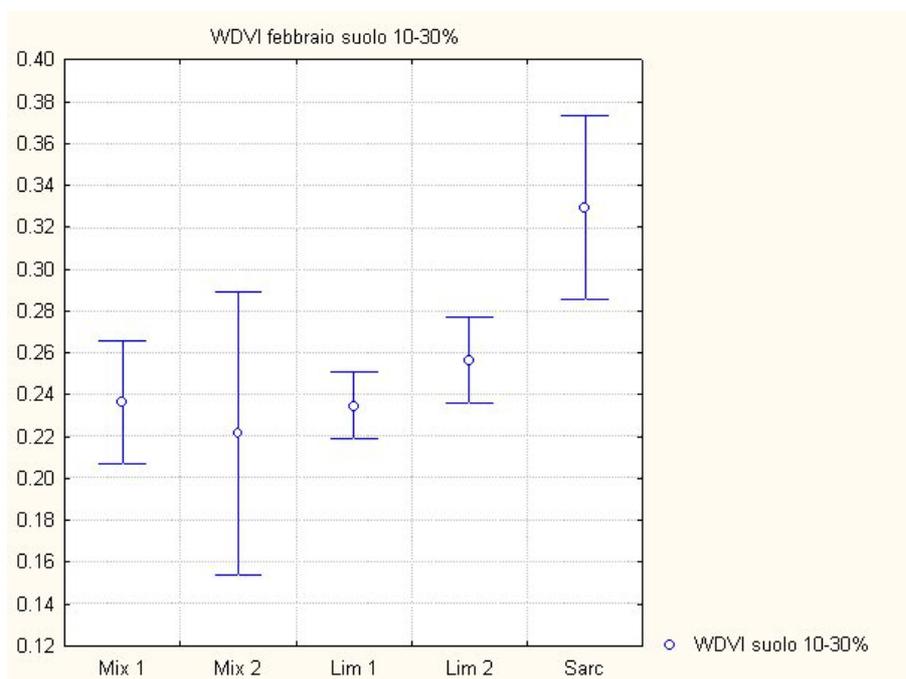
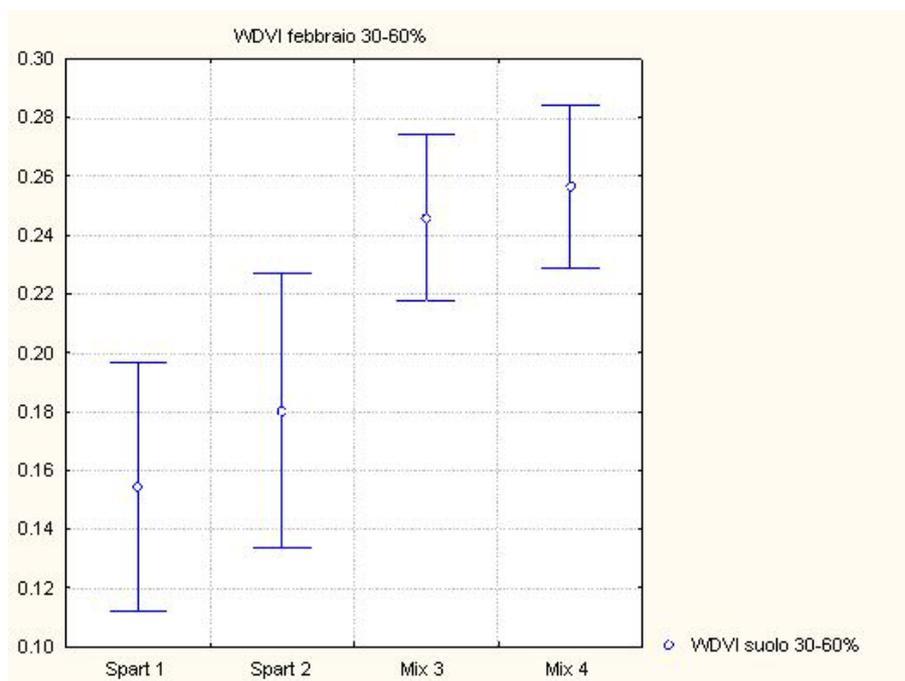


Figura 4.20: WDV di febbraio con presenza di suolo compresa tra il 10 ed il 30%.

WDVI 30-60	media	Dev. Stand.
Spart 1	0.154349	0.042037
Spart 2	0.180126	0.046671
Mix 3	0.245844	0.028193
Mix 4	0.256481	0.027870

**Figura 4.21: barena di San Felice: WDVI di febbraio con 30÷60% di suolo e diverse specie vegetali.**



**Figura 4.22: WDVI di febbraio con presenza di suolo compresa tra il 30 ed il 60%.**