

6. ANALISI DEI CAMBIAMENTI NELLA DISTRIBUZIONE SPAZIALE

Nella precedente analisi dei cambiamenti di immagini telerilevate ci si è impegnati a quantificare le variazioni spettrali, senza interessarci alla loro localizzazione. Una maggior definizione delle caratteristiche dell'area studiata e dei cambiamenti che essa ha subito possono essere forniti dallo studio della disposizione spaziale delle macchie che compongono il mosaico delle scene classificate.

L'argomento è materia dell'ecologia del paesaggio, disciplina recente, orientata allo studio del suolo, che cerca di stabilire relazioni quantitative fra elementi cartografici.

Nel presente lavoro per definire gli elementi costitutivi del paesaggio si è fatto riferimento alle metodologie di descrizione degli habitat utilizzate nella *landscape ecology* e ad indicatori statistici semplici in modo da valutare eventuali meccanismi evolutivi.

A tale scopo si sono utilizzati sia il software libero FRAGSTAT 3.3 (McGarigal e Marks, 1995), che un programma in *Fortran* appositamente realizzato per determinare i *cluster* all'interno di ogni classe e per calcolare i momenti.

6.1 Strumenti per la definizione delle caratteristiche del paesaggio

La *landscape ecology* è una disciplina dell'ecologia e della geografia fisica che studia la distribuzione spaziale degli elementi nel paesaggio. Focalizza l'attenzione sull'interazione di tre caratteristiche (Forman, 1986):

- **Struttura:** determinata dalla distribuzione spaziale degli elementi del paesaggio, descrive la distribuzione delle risorse (ad esempio energia, specie) in relazione alla configurazione degli elementi;
- **Funzione:** misura le interazioni tra elementi e quindi il flusso di risorse tra le componenti;
- **Cambiamento:** cioè l'alterazione della struttura e delle funzioni nel tempo

La dimensione spaziale, e nello specifico le modalità di localizzazione, distribuzione e forma degli ecosistemi, è direttamente collegata ai processi che avvengono nei sistemi territoriali: ad esempio un bosco compatto di forma allargata costituisce un habitat diverso da un altro di analoga superficie e con le medesime caratteristiche floristiche, ma con forma allungata e frammentata.

Gli elementi di base della struttura del paesaggio sono le macchie di ecosistemi (*patch*) la cui definizione può variare soprattutto in relazione al contesto in cui viene condotto lo studio. Nel nostro caso, trattandosi di immagini digitali, la definizione più appropriata è quella utilizzata anche da Riitters (1995), in base alla quale il termine *patch* individua un aggregato di *pixel* adiacenti (considerando gli 8 vicini di un *pixel* di riferimento) appartenenti alla stessa classe.

I *patch* spesso rappresentano tipi di habitat che hanno diversa composizione e struttura e condizionano le funzioni dell'ecosistema attraverso la loro distribuzione spaziale. Le variazioni di configurazione e composizione degli elementi del paesaggio possono indicare, se correttamente interpretate, l'evoluzione dell'ecosistema in quanto la struttura del paesaggio influenza ed è influenzata dai processi che modellano il

territorio (Forman e Godron, 1986).

Per descrivere quantitativamente la struttura del paesaggio si sono sviluppate numerose metriche (*Landscape metrics*, LSM) che definiscono una misura del paesaggio, calcolata da cartografia o da dati telerilevati, con la quale si descrive la struttura spaziale del territorio o della copertura del suolo¹. Le metriche operano sia sulla scena considerata nel suo complesso (*landscape level*) che sui singoli *patch*.

Gustafson (1998) ha introdotto due categorie generali di metriche: metriche di composizione e di configurazione spaziale. Le prime non richiedono informazioni sulla localizzazione. Ne sono esempi il valore medio, la mediana e valori di eterogeneità interna (*range*, varianza), che descrivono quindi la presenza, l'abbondanza relativa e la diversità di tipologie di paesaggio. Le metriche di configurazione si riferiscono invece alle caratteristiche della distribuzione spaziale e alla forma dei *patch*; come il rapporto tra area e perimetro e parametri che misurano la vicinanza tra *cluster* dello stesso tipo.

All'interno di queste categorie esiste una vastissima possibilità di scelta, ma solo poche LSM sono realmente utili per descrivere le caratteristiche della scena. Le misure di base che si possono effettuare sui *patch*, dalle quali si sviluppano la maggior parte delle metriche, sono riassumibili in tre principali: definizione della classe di appartenenza, dell'area e del perimetro ed individuazione delle classi confinanti; gran parte delle LSM proposte sono quindi correlate tra loro, misurando aspetti simili o identici del mosaico del paesaggio. In molti casi diverse LSM possono essere ridondanti non perché misurano lo stesso aspetto ma perché, per il particolare paesaggio studiato, diversi elementi della struttura sono tra loro correlati e dipendenti.

Ritters (Ritters *et al*, 1995), ad esempio, ha verificato come poche metriche possano catturare i principali *pattern* di variabilità di un data set individuando cinque metriche confrontabili e poco ridondanti. Tali metriche non si possono però considerare essenziali nello studio di ogni scena, poiché la scelta delle LSM deve riflettere esplicitamente alcune ipotesi specifiche riguardo il paesaggio osservato ed i processi che lo determinano.

Per calcolare le metriche del paesaggio strumenti privilegiati sono i diversi *software* GIS (*Geographical Information System*), tramite cui si possono memorizzare, analizzare, sovrapporre e visualizzare dati georeferenziati. I *software* più diffusi (ad esempio ArcView , Arc/Info ed Idrisi) generalmente permettono il calcolo della dimensione media dei *patch*, della distribuzione delle classi di copertura e del rapporto area perimetro.

Per determinare i valori di metriche di definizione più complessa si utilizzano software specifici per lo scopo. Tra i molti disponibili nel mercato si è scelto FRAGSTAT 3.3 (McGarigal e Marks ,1995) un *software* libero, di facile comprensione ed in grado di operare con immagini ad 8 bit, anche precedentemente elaborate da *software* come ENVI, nonché con dati espressi in formato ASCII. Inoltre questo programma, molto utilizzato negli studi di *landscape ecology*, fornisce una vasta gamma di metriche in grado di soddisfare esigenze anche molto diverse tra loro.

¹ <http://www.epa.gov/urban/glossary.htm>

In FRAGSTAT 3.3 troviamo diverse tipologie di metriche che si possono riassumere nei seguenti gruppi:

- *Area/density/edge metrics*: questo gruppo rappresenta le metriche che si occupano della dimensione del *patch* e del suo perimetro.
- *Shape metrics*: sono metriche che definiscono la forma dei *patch*, a livello di singola macchia, di classe e di paesaggio. Gran parte di queste metriche sono basate sul rapporto area-perimetro.
- *Core area metrics*: determinano l'area all'interno di una macchia ad una fissata distanza dal suo contorno.
- *Isolation/proximity metrics*: calcolano diversi parametri basati sulla distanza tra i *patch*.
- *Contrast metrics*: sono metriche basate sulla quantità di differenze tra tipi di *patch* adiacenti ed appartenenti a diverse classi.
- *Contagion/interspersion metrics*: sono metriche basate sulla tendenza dei *patch* ad esser spazialmente aggregati.
- *Connectivity metrics*: si tratta di un gruppo di metriche che quantificano la connettività, cioè il grado con cui un paesaggio facilita o impedisce i flussi ecologici.
- *Diversity metrics*: metriche calcolate solo a livello di *landscape* che quantificano la composizione della scena e non sono condizionate dalla diversa disposizione.

Ad eccezione delle metriche di diversità tutte le altre tipologie sono calcolate sia a livello di *landscape* (48 metriche) sia di classe (43 metriche) che di singolo *patch* (19 metriche).

6.2 LSM utilizzate nello studio

La ridondanza di indici, come già detto, non rende semplice la scelta. Per il presente studio si è deciso di concentrare l'attenzione su cinque metriche tra le più usate che, dopo alcune indagini esplorative, si sono dimostrate quelle che meglio mettevano in evidenza le caratteristiche specifiche presenti nella *barena* considerata. Di seguito se ne descrivono le caratteristiche.

6.2.1 Numero di cluster

Il numero dei *cluster* corrisponde al numero di macchie in cui è suddivisa una data classe. È una semplice misura di quanto è suddivisa o frammentata la classe. Anche se il numero di *patch* in una classe può essere di importanza fondamentale in molti processi ambientali, spesso ha un valore limitato perché non dà informazioni sull'area, la distribuzione o la densità dei *patch*. Il numero di *patch* comunque è alla base del calcolo di moltissime metriche.

6.2.2 Area media

La definizione dell'area media per ogni classe presente nella scena, se confrontata al numero di *cluster*, permette di avere delle informazioni riguardo alla frammentazione dei *patch* e quindi, in parte, alla loro abbondanza nell'area indagata.

6.2.3 Confronto area-perimetro

Il confronto tra area e perimetro è una metrica comunemente usata per trarre informazioni sulla forma dei *patch* presenti sulla scena. Nel presente lavoro si è visualizzato il confronto tramite un diagramma area/perimetro.

6.2.4 Edge Density

Con il termine *edge* si indica il confine tra due classi differenti. *Edge density* (misurata in metri per ettaro) è uguale alla somma di tutti i perimetri di una data classe divisa per l'area totale indagata, espressa in ettari. Si considerano come bordi anche i confini del paesaggio, nel nostro caso la maschera che esclude dalla scena tutto ciò che non si considera appartenere all'area di San Felice.

La *Edge density* (ED) si calcola:

$$6.1) \quad ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} * 10000$$

con e_{ik} lunghezza totale in metri del bordo del *patch* k della classe i , ed A la superficie totale (m^2) dell'area indagata.

ED è un'espressione della forma e della complessità dei *patch* di una classe, nonché dell'eterogeneità del mosaico che costituisce la scena. Può assumere qualunque valore maggiore od uguale a zero. In figura 6.1 si riporta un esempio della crescita del valore di *ED* con l'aumentare della complessità dei *patch* presenti nella scena.



Figura 6.1 – Diverso valore di *ED* a parità di area dei *patch*.

Il valore di *ED* è stato messo in relazione con il disturbo subito da un ambiente. Il crescente disturbo porta ad una frammentazione dei *patch* e quindi ad una crescita del valore di *ED*. Valutazioni riguardo al disturbo che interessa un sistema, a partire da *ED*, si devono però esprimere con molta cautela in quanto il suo aumento può anche

portare i *patch* a fondersi tra loro e quindi ad una nuova diminuzione dei valori della metrica: sia un disturbo elevato che modesto possono avere di conseguenza valori simili di ED (Hargis et al, 1998).

6.2.5 Interspersion and Juxtaposition Index: IJI

L'indice IJI (*Interspersion and Juxtaposition Index*) è una misura che considera in maniera esplicita la configurazione spaziale dei *patch*, rappresentando il livello di “*interspersione*”; essa indica cioè come sono intervallate nella scena le classi l'una rispetto all'altra.

L'indice può essere calcolato per la singola classe o per l'immagine intera, il bordo limite dell'immagine non viene inserito nel calcolo.

Per ogni classe si definisce:

$$6.2) \quad IJI = 100 \frac{-\sum_{k=1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \right]}{\ln(m-1)}$$

con m numero di classi presenti nella scena e e_{ik} lunghezza del confine tra classe i e k .

L'indice è definito in percentuale rispetto alla massima dispersione possibile, dato il numero di classi (McGarigal *et al.*, 1994); valori bassi di IJI caratterizzano paesaggi in cui i *patch* delle classi sono distribuiti non proporzionalmente o sono fortemente aggregati, tende a 100 quando la classe considerata è ugualmente adiacente a tutte le altre classi.

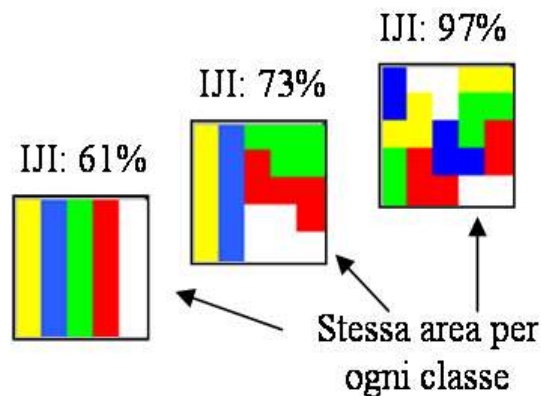


Figura 6.2 – Esempi di scene con area totale e delle singole classi uguale ma diverso IJI

In figura 6.2 si illustra il concetto di base dell'indice: ognuna delle tre aree è composta da 5 classi, che mantengono sempre la stessa area, la differenza sta nel modo in cui le classi confinano una con l'altra. Nel primo caso la classe rossa ad esempio è adiacente

solo alle classi verde e bianca, nel secondo caso alle classi verdi bianca e blu, nel terzo confina con verde giallo blu e bianco.

La maggior complessità è riflessa in una crescita di IJI che raggiunge il massimo quando le classi sono ugualmente adiacenti tra di loro e quando la lunghezza dei confini tra le diverse classi è uguale.

6.3 Uso dei momenti per descrivere i *patch*

Il calcolo dei momenti effettuato rispetto alle coordinate spaziali dei *pixel*, che appartengono ai singoli *patch*, permette di determinare degli indicatori sintetici sulla loro forma e disposizione e fornisce informazioni sulla distribuzione spaziale dei *pixel* con particolari proprietà. I primi quattro momenti sono grandezze cumulative che misurano rispettivamente il baricentro della classe considerata, la dispersione della classe attorno al baricentro, l'asimmetria della distribuzione (*skweness*) e la curtosi, che descrive il picco della distribuzione rispetto ad una distribuzione normale.

Dai risultati delle classificazione si sono determinati, tramite un programma elaborato in *Fortran*, i *cluster* di vegetazione registrando le coordinate X e Y dei *pixel* che li costituiscono. Per ogni *cluster* sono stati quindi calcolati i primi quattro momenti come descritto di seguito.

- Baricentro (μ), o momento primo (M_1) :

$$\mu = \sum_{i=1}^N x_i / N$$

è una misura particolarmente informativa della tendenza centrale di una variabile. Nel nostro caso permette di individuare il baricentro di ogni singola macchia o delle macchie comprese in un'area. Eventuali spostamenti dei baricentri possono indicare fattori di cambiamento presenti nella macchia o nell'area.

- Deviazione standard (σ) e momento secondo (M_2):

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 / N}$$

individua la dispersione dei *cluster* attorno al baricentro. Nel caso attuale fornisce informazioni sulla minore o maggiore compattezza del singolo *patch* o dei *patch* presenti in un'area.

- *Skewness* (*sk*) e momento terzo (M_3):

$$sk = \frac{NM_3}{[(N-1)(N-2)\sigma^3]} \text{ con } M_3 = \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^3 \text{ e } \sigma = \text{deviazione standard}$$

è una misura comunemente usata per la simmetria di una distribuzione di dati: la distribuzione della variabile X si dice simmetrica se valori equidistanti dalla mediana hanno la stessa probabilità. Per contro la distribuzione si dice asimmetrica positivamente se i valori, la cui deviazione in valore assoluto dalla mediana supera un certo limite, sono relativamente più probabili a destra della mediana che non a sinistra, nel caso opposto si dice che è asimmetrica negativamente (Cicchitelli, 1984).

Sk assume quindi valore 0 se c'è simmetria (la massima simmetria è quella presentata dalla distribuzione *Normale* in cui moda, media e mediana coincidono), presenta valori minori di 0 se l'asimmetria è negativa e maggiore di 0 se positiva.

- *Kurtosis* (ku) e momento quarto (M_4):

$$ku = \frac{[N(N+1)M_4 - 3M_2^2(N-1)]}{[(N-1)(N-2)(N-3)\sigma^4]} \text{ con } M_i = \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^i \text{ e } \sigma = \text{deviazione standard}$$

indica quanto più intenso è il picco della distribuzione rispetto alla corrispondente distribuzione normale. Misura la concentrazione o dispersione dei dati attorno ad un valore centrale: il valore 0 caratterizza una distribuzione *mesocurtica* (ad esempio la Normale), con valori minori di 0 la distribuzione è detta *platicurtica* e presenta una forma appiattita con valori maggiormente concentrati nelle code, per curtosi maggiore di 0 la distribuzione è *leptocurtica* con picco accentuato per la concentrazione dei dati intorno ad un valore massimo.

6.4 Risultati del confronto interstagionale

Il lavoro effettuato per correggere ed interpretare le immagini satellitari è stato molto impegnativo, perché consisteva nel trasferire alle *barene* tecniche generalmente usate per studiare zone umide e foreste, o per monitorare colture. Tutti questi campi di applicazione presentano caratteristiche che si discostano notevolmente da quelle incontrate nelle *barene*, è stato quindi necessario di volta in volta adattare gli strumenti a disposizione alle esigenze specifiche; la letteratura di riferimento è stata utile, se non per trovare direttamente le soluzioni adeguate, almeno per fornire metodologie operative per cercarle.

L'area indagata è quella denominata San Felice, un sistema di barene degradanti dai canali principali verso una grande depressione centrale. L'area totale è di 1.02 Km² e la superficie di base è il *pixel* di 2.8 m di lato.

Osservando un sistema di barene le classi che compongono la scena sono principalmente quelle costituite da "acqua", presente in canali *ghebi* e *ciari*, "vegetazione", che a sua volta si potrebbe suddividere in relazione ai consorzi di alofite presenti, e zone di "suolo".

Come base per l'analisi, in differenti condizioni stagionali e di marea, della composizione e della disposizione spaziale delle classi indicate, sono stati usati i risultati delle classificazioni già presentati nel paragrafo 5.4.2.

6.4.1 Risultati ottenuti dall'applicazione di LSM

Per delineare la composizione della scena indagata si sono definiti, per ogni data di acquisizione delle immagini (maggio 2002, febbraio 2003, luglio 2003), il numero di *cluster* e l'area media di ogni classe.

A differenza di quanto consente la conoscenza della semplice percentuale di copertura, l'informazione sul numero di *cluster* (figura 6.3) associata dell'area media (figura 6.4), a differenza della semplice copertura percentuale, permette di avere una prima idea di come la singola classe si dispone sull'area oggetto di studio.

Dai risultati ottenuti si nota una diminuzione della frammentazione della classe "vegetazione" nel passaggio da febbraio a luglio: questo è confermato anche dalle osservazioni visive fatte in barena. La vegetazione, anche nei periodi in cui ha una scarsa attività fotosintetica ricopre ugualmente la superficie barenale ma, mentre nel mese di febbraio le singole piante sono separate le une dalle altre da ampie superfici di suolo nudo (maggior frammentazione dei *patch*), la ripresa vegetativa ne aumenta la densità facendo raggiungere notevoli percentuali di copertura.

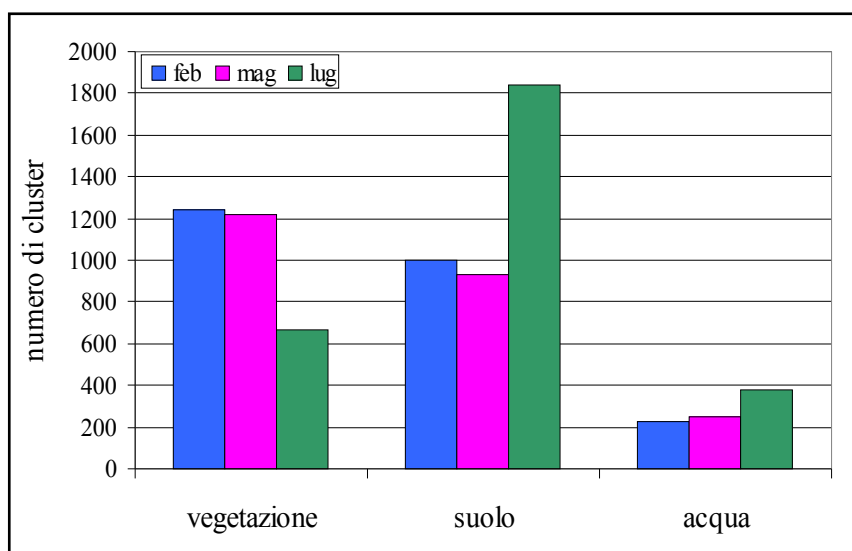


Figura 6.3 - Numero di *cluster* individuati per le classi "acqua", "suolo" e "vegetazione".

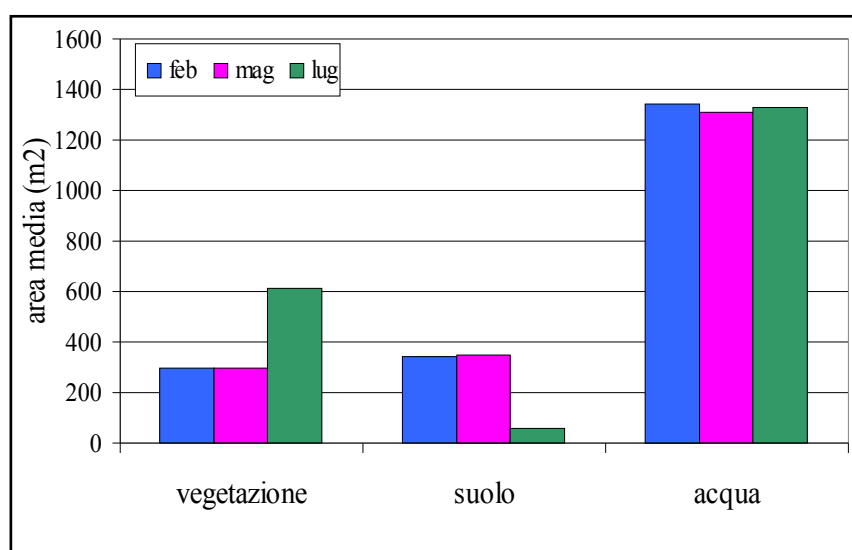


Figura 6.4 - Area media delle classi "acqua", "suolo" e "vegetazione".

Per quanto riguarda la classe “acqua” si ha una notevole crescita del numero dei *cluster* da febbraio (229) a luglio (380) mentre l’area media, nello stesso intervallo subisce solo una lieve flessione (da 1344 m² a 1331 m²) dovuta alla crescita di *patch* di piccole dimensioni.

La crescita della frammentazione è più evidente nella classe “suolo” condizionata dalla crescita delle classi “acqua” e “vegetazione” che a luglio sono andate ad occupare aree di suolo nudo, la cui area totale risulta fortemente ridotta.

L’uso della metrica *Edge density*, che indica la “densità di margine” di ogni classe rispetto l’area totale, aiuta a chiarire ulteriormente la situazione (figura 6.5 e Tabella 6.I).

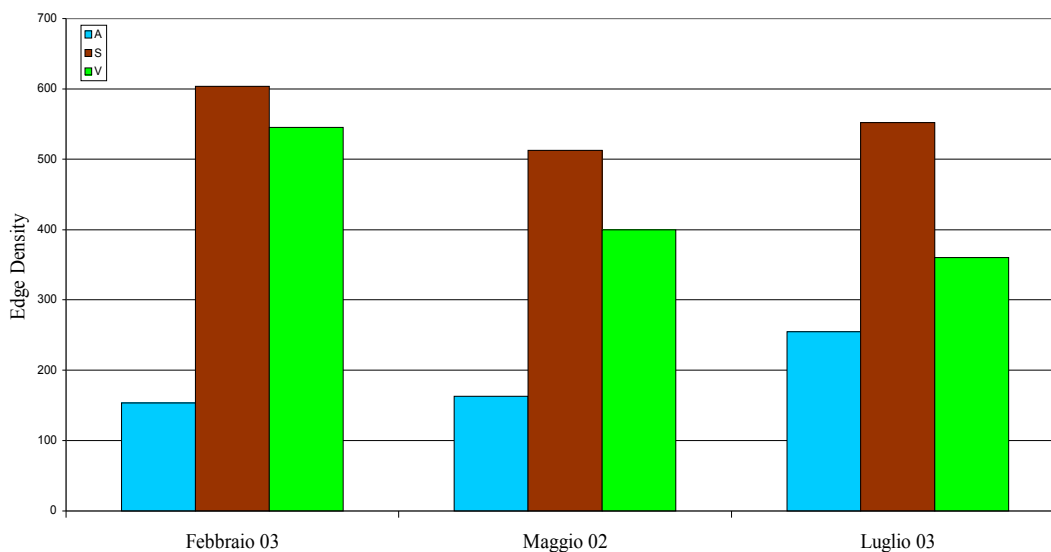


Figura 6.5 – Valori di ED per le classi “acqua” (A), “suolo” (S) e “vegetazione” (V) nelle tre date di acquisizione.

Tabella 6.I – Valori di ED nelle tre date per le classi “acqua”, “suolo” e “vegetazione”.

<i>Edge Density</i>			
	Acqua	Suolo	Veget.
Febbraio 03	153.83	603.52	545.51
Maggio 02	163.21	512.49	399.56
Luglio 03	254.71	551.68	360.27.00

Come ci si aspettava dato l’aumento della marea da febbraio a luglio, il valore di ED in tale intervallo cresce progressivamente, arrivando a luglio ad essere quasi il doppio rispetto a febbraio. La forte crescita di ED evidenzia anche la modalità di sommersione delle *barene*, che non avviene solo per invasione da parte della marea proveniente dai canali principali, ma anche per risalita a partire dalle zone più basse all’interno con una conseguente formazione all’interno della *barena* di *patch* di “acqua”, che contribuiscono ulteriormente all’aumento del “bordo” tra la classe “acqua” e quelle di “suolo” e “vegetazione”.

Per la classe “suolo” non si ottengono con questa metrica informazioni particolarmente diverse da quelle deducibili dall’analisi del numero dei *cluster* e

dall'area media.

La ED della “vegetazione” invece decresce da febbraio a luglio, indicando una maggiore compattezza dei *patch* dovuta alla ripresa vegetativa delle singole specie. Tramite la ED emerge anche una notevole differenza tra febbraio e maggio, non riscontrata con il numero di *cluster* e l'area media, che conferma la crescita in compattezza della classe con l'arrivo della stagione estiva, mettendo inoltre in risalto come il cambiamento maggiore avvenga tra febbraio e maggio piuttosto che tra maggio e luglio.

Le rette che interpolano le dimensioni dei *cluster*, espresse in termini di area e di perimetro (figura 6.6), mostrano che la vegetazione forma prevalentemente aggregati allungati.

Infatti se si considerano “nastri” di larghezza pari a h *pixel* e lunghezza l *pixel* l'area è data da:

$$A = h * l \text{ pixel}$$

assumendo *pixel* di lato 3 metri (area circa 10m²) l'area sarà:

$$A = 10(h * l) m$$

ed il perimetro:

$$P = (2h + 2l) \text{ pixel} \text{ pari a } 6(h + l) m.$$

Esplicitando la lunghezza in termini di A si ottiene

$$P = 0.6(A/h) + 6h .$$

Considerando nastri di larghezza pari a 1, 2, 3, e 4 *pixel* si ottengono le relazioni tra area e perimetro riportate in tabella 6.II.

Tabella 6.II – Relazione Area Perimetro per nastri di diversa larghezza.

<i>h</i> (n. <i>pixel</i>)	<i>Perimetro</i> (m)
1	$P = 0.6A + 6$
2	$P = 0.3A + 12$
3	$P = 0.2A + 18$
4	$P = 0.15A + 24$

Si osserva che la struttura allungata delle macchie di vegetazione con 3÷4 *pixel* di larghezza è confermata da riscontri visivi e dal fatto che il *fitting* dei dati (P,A) con leggi di potenza non migliora i valori di R² del resto già molto alti.

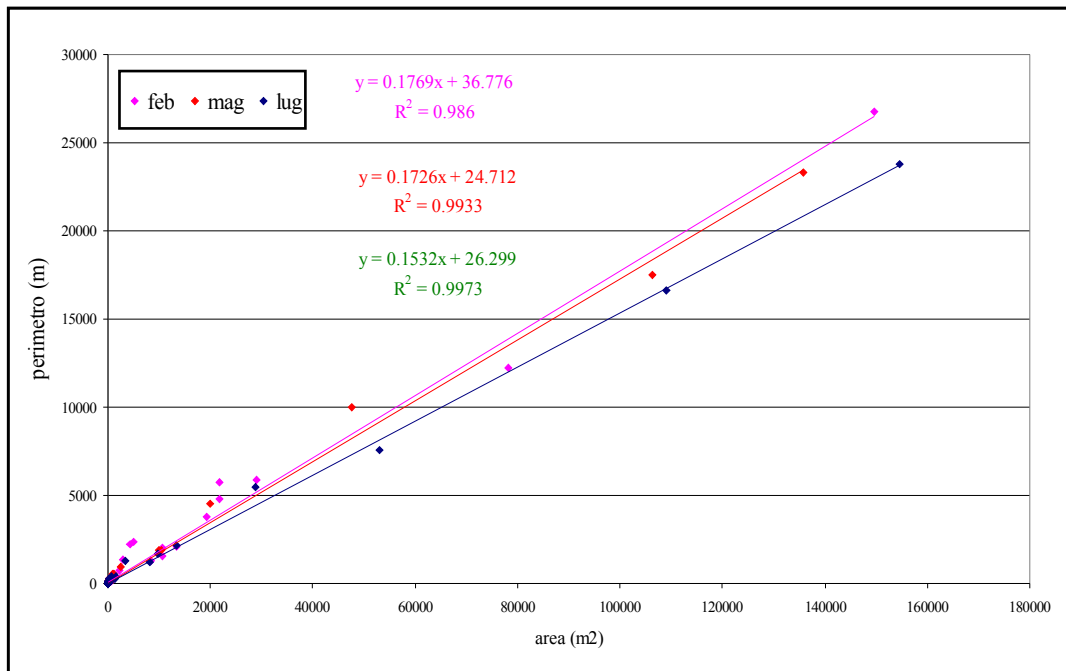


Figura 6.6 – Rapporto area perimetro della classe “vegetazione” nelle tre date di acquisizione.

Dall'indice IJI (Figure 6.7 e 6.8) si sono invece ottenute interessanti informazioni sulla

scena globale. Il valore assunto da IJI nelle tre date descrive, nonostante le differenze stagionali, delle scene con classi poco disperse tra di loro.

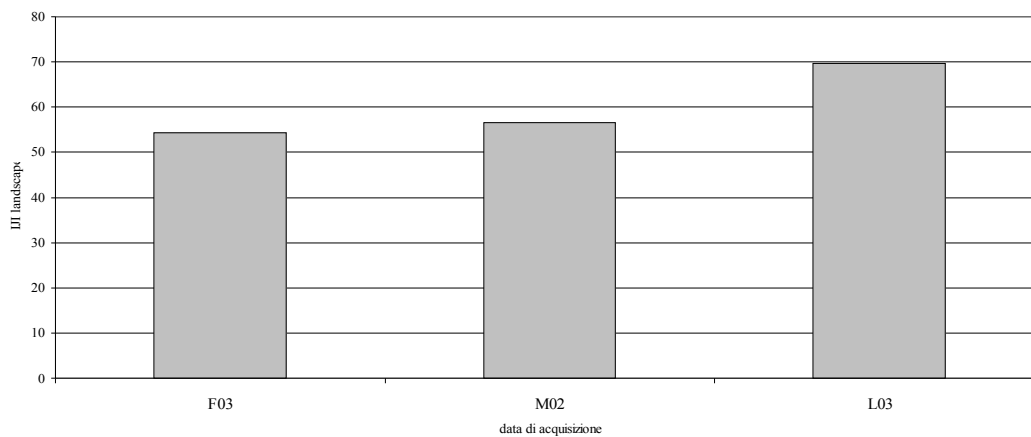


Figura 6.7 – Valori di IJI per le tre scene classificate.

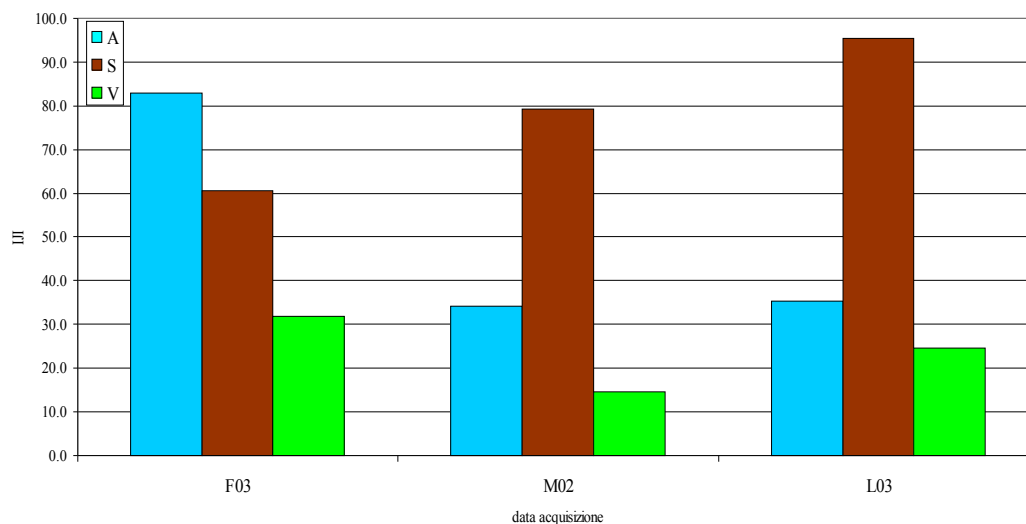


Figura 6.8 – Valori di IJI per le classi “acqua”, “suolo” e “vegetazione” nelle tre date di acquisizione.

Da febbraio a luglio c'è una lieve crescita, arrivando comunque al massimo al 70%, quindi non ad una omogenea *inter-dispersione*, ma, come si può comprendere osservando i valori dell'indice per ogni classe, una maggior dispersione della classe suolo.

6.4.2 Risultati ottenuti dall'analisi dei momenti

Usando i momenti si possono definire la posizione e la forma dei *cluster* con lo scopo di individuare gli eventuali cambiamenti che avvengono nel tempo. Nell'utilizzare i momenti ci si è concentrati sulla classe “vegetazione”, quella cioè di maggior interesse perché di maggior sensibilità e che nello stesso tempo si era riusciti a descrivere con minor chiarezza attraverso l'analisi dei cambiamenti post-classificazione. Lo scopo era quello di verificare se la distribuzione spaziale potesse fornire informazioni aggiuntive.

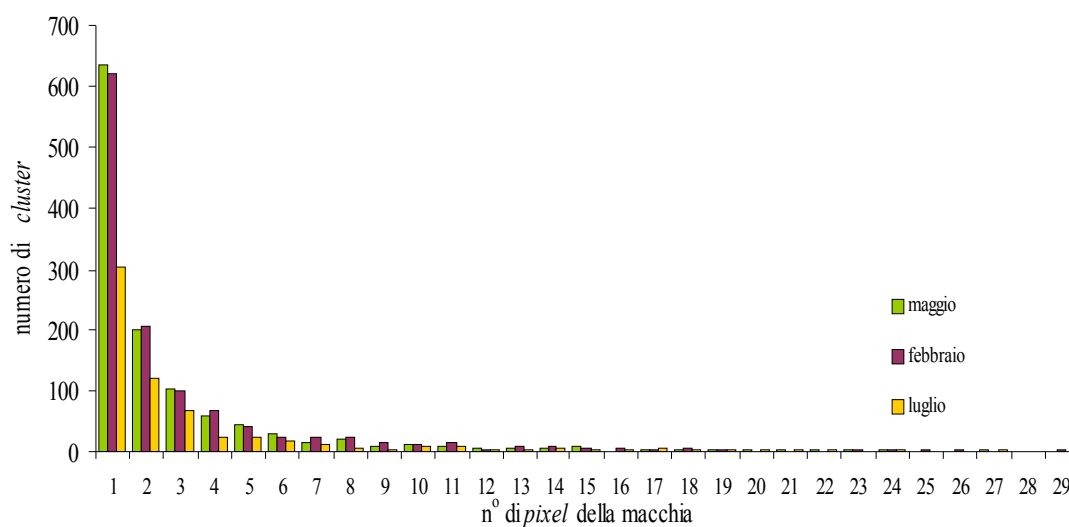


Figura 6.9 Distribuzione dei *cluster* secondo la dimensione, indicata in *pixel* (2.8 m di lato).

Dall'analisi della distribuzione delle dimensioni dei *cluster* di “vegetazione” è emerso che la maggior parte delle “macchie” è costituita semplicemente da un *pixel*. In figura 6.9 sono riportate le distribuzioni dei *cluster* di dimensioni fino a 30 *pixel* delle tre immagini. In tutte e tre le classificazioni prevalgono i *cluster* con un solo *pixel*, ma nel passaggio da febbraio a luglio aumentano i raggruppamenti di dimensioni maggiori fino a dimezzare i *pixel* isolati. Questo fatto è coerente con la tendenza della vegetazione a disporsi in maniera più compatta nella stagione estiva.

Le variazioni di posizione di questi *cluster* minori spesso sono dovute a leggere imprecisioni nella registrazione delle immagini o in alcuni casi rappresentano errori di classificazione. Si è quindi deciso di concentrare l'attenzione sui *cluster* di dimensioni superiori a 50 *pixel*, che a febbraio erano 22, a maggio 15 e a luglio 18.

Il momento primo determina il baricentro della singola macchia di “vegetazione”, la nuvola di punti presenti nella figura 6.10 permette quindi di visualizzare la distribuzione dei *cluster* sulla *barena* nelle tre date.

Si nota come la posizione di alcuni *patch* sia costante nelle tre classificazioni, mentre per molti si sono avute delle lievi fluttuazioni, che, in ogni caso, non hanno determinato uno spostamento del baricentro complessivo. Si può affermare quindi che il differente livello di frammentazione, rilevato tramite le metriche del paesaggio (il numero *cluster*, ED e IJI), nelle diverse acquisizioni stagionali, non ha comportato uno spostamento delle aree, ma solo lievi fluttuazioni attorno al baricentro, che rimane invece fisso.

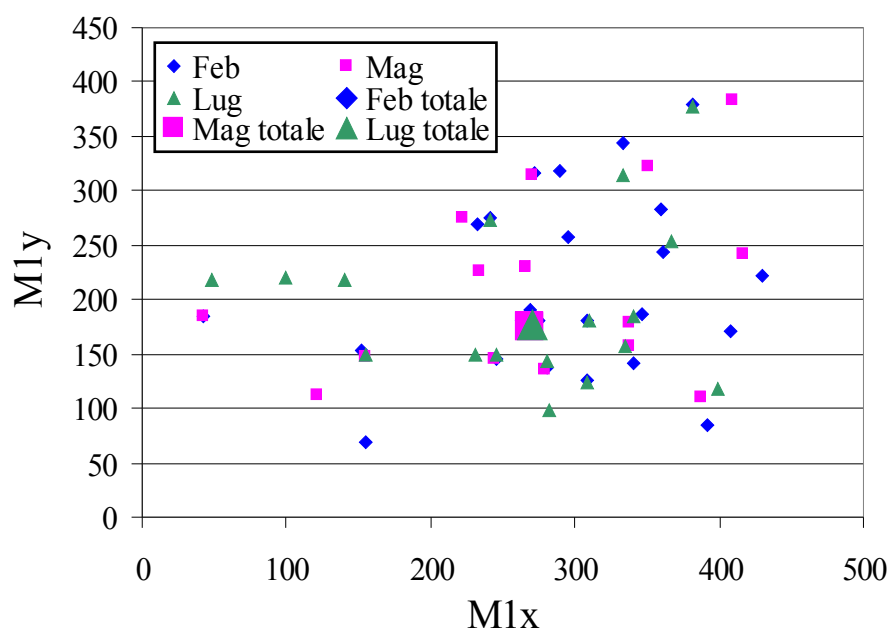


Figura 6.10 – Momento primo in X e Y, calcolato per ogni *patch* di “vegetazione” nelle tre date di acquisizione. Le coordinate X e Y sono riferite alla posizione del *pixel* nell'immagine.

Il momento secondo permette di comprendere la dispersione dei valori rispetto alla media. Nel caso dei *patch* di vegetazione in tutte e tre le date si può osservare come complessivamente la dispersione in X (asse Ovest -Est) e Y (asse Sud -Nord) sia simile (Figura 6.11).

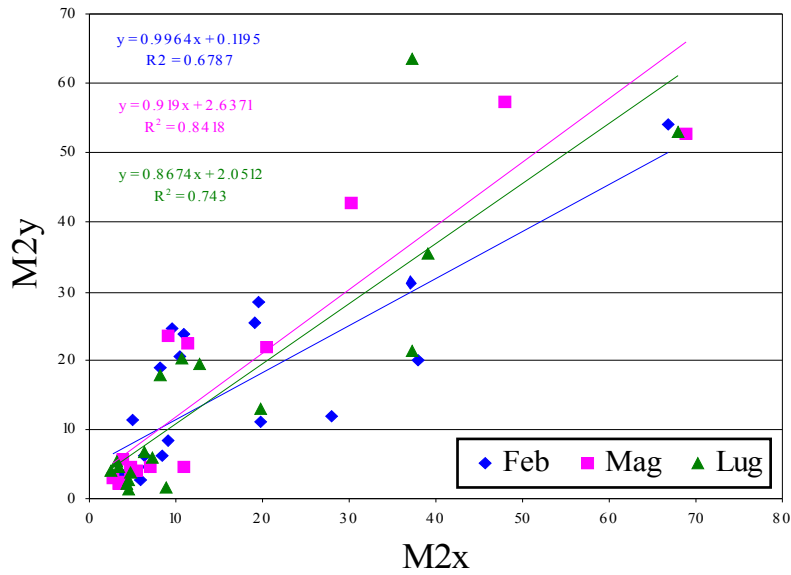


Figura 6.11 – Momento secondo in X e Y calcolato per ogni *patch* di “vegetazione” nelle tre date di acquisizione.

Il momento terzo (figura 6.12) contribuisce a fornire informazioni riguardo la simmetria del *patch*. Riassumendo i valori di *sk* rispetto ad X ed Y in un unico grafico emerge una distribuzione di tali valori equamente dispersa su valori abbastanza vicini allo zero, in tutte e tre le date. ha mostrato dei valori quasi equamente distribuiti attorno allo zero in maniera simile in tutte e tre le date. Con il cambiare della stagione non si rilevano quindi comportamenti caratteristici per quanto riguarda l’assimmetria nelle macchie di “vegetazione”.

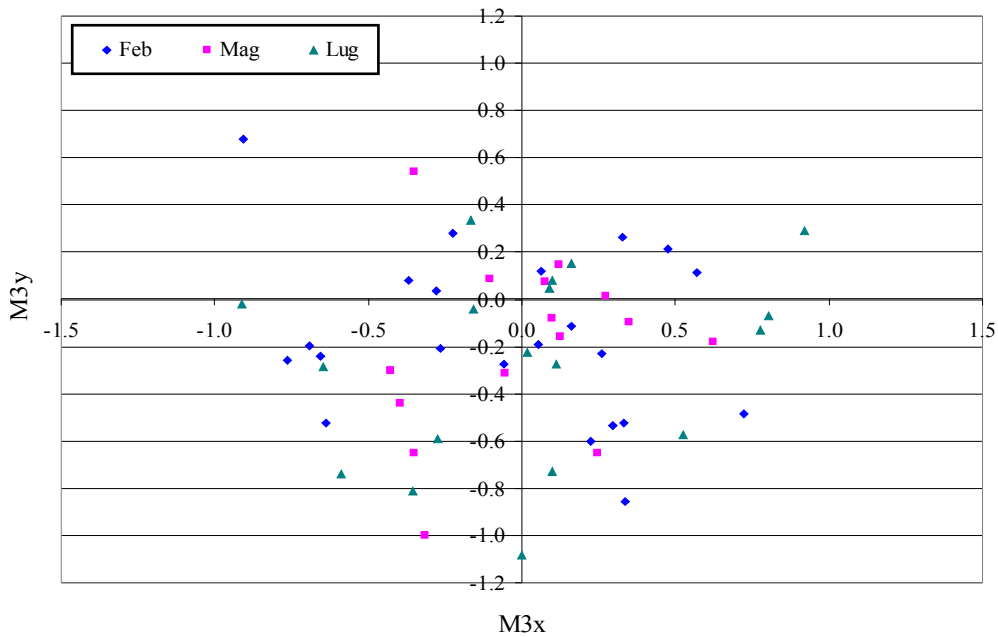


Figura 6.12 – Momento terzo in X e Y calcolato per ogni *patch* di “vegetazione” nelle tre date di acquisizione.

Il momento quarto (figura 6.13) presenta ugualmente i valori molto vicini allo zero ma soprattutto nel terzo quadrante, ad indicare una distribuzione delle coordinate dei *pixel* di ogni macchia di “vegetazione” tendenzialmente platicurtica. I *patch* maggiori di 50 *pixel* si presentano quindi generalmente di forma relativamente appiattita sia in X che Y.

I *cluster* dell’immagine di febbraio 2003 mostrano in questo caso un comportamento leggermente differente dagli altri. Come si può verificare dalla tabella 6.III pur essendo abbondanti i valori negativi di curtosi sia in X che in Y anche per febbraio, una buona percentuale (20%) mostra entrambi i valori positivi ed il 25% nel secondo quadrante. Di conseguenza a febbraio quasi la metà dei cluster maggiori mostra nessun appiattimento o solo in longitudine (x).

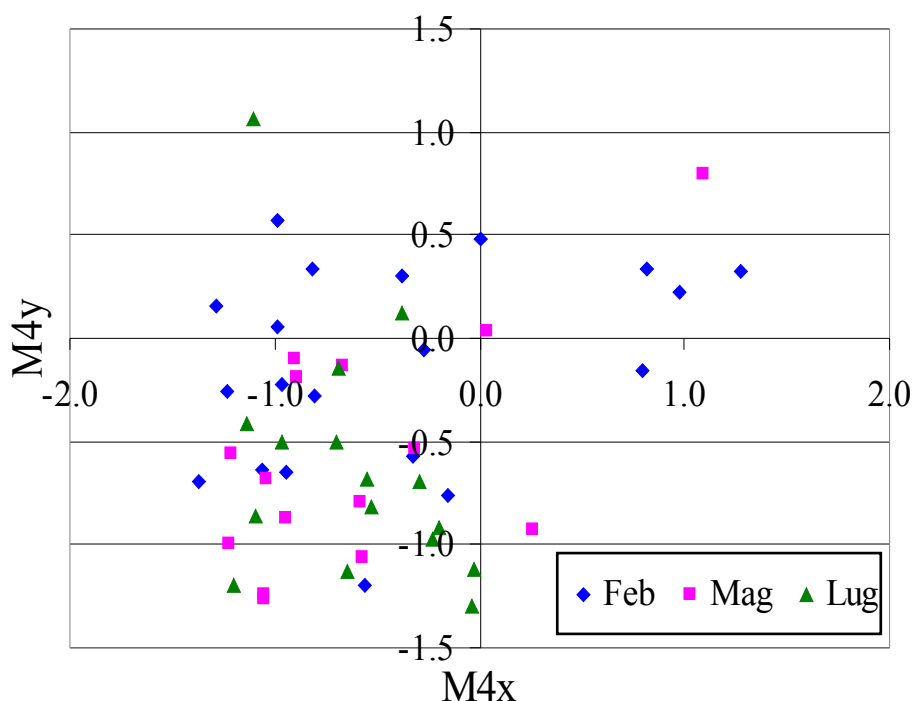


Figura 6.13 – Momento quarto in X e Y calcolato per ogni *patch* di “vegetazione” nelle tre date di acquisizione.

Tabella 6.III – percentuali di presenza di *cluster* di “vegetazione” di grandi dimensioni nei quattro quadranti del grafico in figura 6.13, per ogni stagione.

	I	II	III	IV
Febbraio 03	20%	25%	50%	5%
Maggio 02	13%	0%	80%	7%
Luglio 03	0%	12%	88%	0%

Successivamente i cluster maggiori di ogni data sono stati osservati in dettaglio. Come risulta evidente dalla tabella 6.IV i primi due *cluster* (in termini di dimensione) delle tre acquisizioni occupano superfici simili, mentre il terzo *cluster* di febbraio risulta quasi la metà dei corrispondenti di maggio e luglio.

Analizzando oltre all'area i quattro momenti, si conferma come il *cluster* maggiore rimanga costante nelle tre date con lievi differenze nell'asimmetria e nella forma più o meno appiattita. Man mano che si considerano macchie di dimensioni minori aumentano le differenze con le stagioni, ed in particolare i *patch* di febbraio si discostano maggiormente da quelli di luglio e maggio. Già dal secondo *cluster* quello di febbraio si differenzia sia rispetto alla latitudine del baricentro che nella forma maggiormente compatta, e dal terzo *patch* in poi le differenze sono tali da non essere più certi di confrontare lo stesso *cluster*.

Tabella 6.IV – Area dei tre *cluster* di vegetazione maggiori nelle tre acquisizioni.

	Area (n° pixel)		
	F03	M02	L03
1	19092.00	17317.00	19723.00
2	9963.00	13554.00	13905.00
3	3714.00	6071.00	6774.00

Tabella 6.V – Momenti in X e Y dei tre *cluster* di vegetazione maggiori nelle tre acquisizioni.

	M1 relativo ad x			M1 relativo ad y		
	F03	M02	L03	F04	M03	L04
1	152.73	155.20	155.10	153.91	146.82	149.24
2	392.19	386.89	399.63	84.89	110.57	117.80
3	241.51	350.52	333.62	274.15	322.99	313.95

	M2 relativo ad x			M2 relativo ad y		
	F03	M02	L03	F04	M03	L04
1	66.81	69.00	68.04	54.08	52.86	53.08
2	37.27	48.06	37.32	31.16	57.21	63.51
3	38.02	30.06	39.25	19.95	42.87	35.56

	M3 relativo ad x			M3 relativo ad y		
	F03	M02	L03	F04	M03	L04
1	0.16	0.08	0.11	-0.11	0.08	-0.27
2	-0.06	-0.31	-0.35	-0.27	-1.00	-0.81
3	0.72	-0.06	-0.28	-0.48	-0.32	-0.59

	M4 relativo ad x			M4 relativo ad y		
	F03	M02	L03	F04	M03	L04
1	-1.29	0.04	-0.64	0.16	0.04	-1.13
2	-0.27	-1.06	-0.96	-0.06	-1.24	-0.50
3	-0.32	-1.05	-0.53	-0.58	-1.27	-0.82

6.5 Discussione

L'analisi della composizione e della distribuzione spaziale dei *cluster* nelle tre stagioni è stata utile per comprendere più chiaramente i fattori che influenzano le differenze nelle tre date e per trovare degli indici sintetici che descrivessero la situazione presente.

Tramite le metriche scelte si sono individuate le variazioni nelle caratteristiche dei cluster delle tre classi scelte ("acqua", "suolo", "vegetazione"). In particolare è emerso

che le tre scene corrispondenti alle tre acquisizioni, sono dominate da ampi *cluster* di una specifica classe determinata o dalle condizioni di marea o dallo sviluppo della vegetazione. Inoltre la prevalenza di uno o dell'altro fattore condiziona anche la frammentazione e la complessità delle forme dei *patch* delle tre classi. Dall'analisi dei cluster maggiori di 50 pixel tramite i 4 momenti si è stabilita una fluttuazione delle macchie attorno allo stesso baricentro. Rispetto a questo i dati non hanno generalmente dimostrato una dispersione o asimmetria preferenziale lungo una delle due direzioni anche se a febbraio tendenzialmente i *patch* sono risultati più compatti rispetto la latitudine piuttosto che rispetto la longitudine.

Dall'analisi dei tre *cluster* maggiori si è rilevato che solo il primo resta costante nelle tre date, i rimanenti sono abbastanza simili solamente tra luglio e maggio mentre, data la maggior frammentazione, a febbraio i *cluster* formati sono decisamente differenti.