

GRONDA DELLA LAGUNA VENETA: STRATIFICAZIONE, CAMPIONAMENTO DEI RILIEVI AL SUOLO E CLASSIFICAZIONE CONTESTUALE DI ALCUNE COLTURE AGRICOLE USANDO DATI LANDSAT TM/ETM+

Luca Perruccio (*), Roberto Rosselli (*), Riccardo Strada (**), Angelo Zandonella (**)

(*) Consorzio Venezia Nuova – Servizio Informativo, San Marco 2949, 30124 Venezia, tel. 041.5203213, fax 041.2775268, e-mail: luca.perruccio@magisacque.it, roberto.rosselli@magisacque.it

(**) Consulente, Consorzio Venezia Nuova – Servizio Informativo, San Marco 2949, 30124 Venezia, tel. 041.5203213, fax 041.2775268, e-mail: rmstrada@biolink.it, angelo.zandonella@ieee.org.

Riassunto

In questo lavoro è riportata la metodologia usata per la produzione di mappe tematiche delle principali colture agricole dei comuni situati lungo la gronda della laguna Veneta usando dati TM/ETM+. Il lavoro è suddiviso in due fasi: la prima riguarda la stratificazione del territorio coltivato e la seconda la classificazione delle colture agricole. La stratificazione viene usata per effettuare un adeguato campionamento dei rilievi in campo ed aumentare l'accuratezza nei risultati della classificazione. L'identificazione dei fattori di stratificazione è stata effettuata mediante interpretazione visiva di bande TM/ETM+ originali e sintetiche. La valutazione dell'omogeneità interna di uno strato e della differenza fra strati mediante una procedura automatica. Nell'ambito di ciascuno strato sono state identificate le aree di campionamento. I rilievi in campo sono stati effettuati usando il sistema GeoLink, che è un sistema GPS/GIS portatile. Per la classificazione delle colture è stato usato il classificatore contestuale proposto da Swain et al.

Abstract

The purpose of this work is to describe the methodological approach used for thematic map production of the main crops of municipalities, located along the border of Venice lagoon, by using TM/ETM+ image data. Main steps of the work include crop area stratification and crop classification. Stratification is used to assure adequate ground truth sampling and to increase the accuracy of classification results. The identification of stratification factors was performed by visual interpretation of original and synthetic TM/ETM+ spectral bands. The assessment of the homogeneity within a stratum and the difference among different strata was performed by an automatic procedure. Sample areas were identified within each stratum. Ground truth data were collected by using a portable GPS/GIS-system: the GeoLink-system. For crop classification, Swain et al. contextual classifier was used.

Introduzione

La produzione di mappe tematiche per vaste aree del territorio, ottenuta con procedure di riconoscimento automatico a dati di telerilevamento aereo-spaziale, richiede tecniche di analisi che tengano conto delle variazioni sul territorio della risposta spettrale dello stesso oggetto al suolo. Come è noto, la risposta spettrale di una stessa coltura, relativa alla stessa immagine, può variare sul territorio con l'elevazione, l'esposizione, la diversa densità delle piante, il diverso colore e umidità dei suoli, la fase di sviluppo, le condizioni di illuminazione, ecc. Per affrontare questo tema, diverse sono le linee di orientamento metodologico proposte. Quella che prevale si basa sulla ripartizione dell'immagine in aree omogenee entro cui applicare procedure di classificazione. Numerosi sono i metodi di ripartizione proposti. Ma per la loro complessità, la mancanza di robustezza (non sempre

la firma di uno stesso oggetto rimane invariante nell'ambito dell'area), la difficoltà nella loro selezione e la non accettabilità per usi operativi di mappe di uso o di copertura del suolo con classi di copertura non compatte (campo con una stessa coltura aventi pixel non classificati o peggio classificati come altra coltura), in molti progetti operativi viene ancora usata l'interpretazione visiva. Un esempio ne è il progetto *Africover* della FAO finanziato dalla Cooperazione Italiana.

Nel lavoro questo tema è stato affrontato utilizzando: una procedura di stratificazione dell'immagine per identificare le aree omogenee entro cui effettuare il campionamento dei rilievi al suolo ed applicare procedure di classificazione automatica; un classificatore di tipo contestuale per riconoscere le colture agricole ed ottenere classi di copertura compatte.

Area di studio ed immagini utilizzate

L'area di studio riguarda tutti i comuni situati lungo la gronda della laguna Veneta. La zona è pianeggiante con quote che vanno da zero a pochi metri sul livello del mare e rientra in un quarto di scena Landsat-TM/ETM+. La coltura agricola predominante è il mais, seguita poi da soia, frumento e barbabietole. Le immagini TM/ETM+, selezionate sulla base del calendario delle colture e della copertura nuvolosa, sono state acquisite il 28 aprile 2001, il 15 giugno 2001 e il 2 luglio 2001.

Stratificazione

È uno strumento che da lungo tempo viene usato nei programmi per l'agricoltura, sia per le stime di produzione che per quelle areali delle colture. Le prime applicazioni risalgono al programma LACIE (*Large Area Crop Inventory Experiment*) 1974-1978. Nel settore forestale viene usato per l'inventario delle risorse forestali (Strahler, 1981). Per quanto riguarda invece l'uso dello strumento per migliorare i risultati della classificazione, le prime proposte risalgono a Rohde, 1978.

In questo contesto, la stratificazione viene intesa come suddivisione dell'immagine in zone (o strati) entro cui la varianza delle firme degli stessi oggetti al suolo è inferiore a quella degli stessi oggetti al suolo dell'intera area. Di conseguenza la caratterizzazione di tali oggetti nell'ambito dello strato è molto più precisa che per l'intera area.

Procedura di stratificazione

Le fasi principali della procedura di stratificazione usata sono: identificazione dei fattori di stratificazione (fattori che influiscono sulla varianza delle firme degli oggetti al suolo per l'area in esame), produzione delle relative mappe di lavoro, definizione degli strati.

I *fattori di stratificazione* sono stati identificati mediante interpretazione visiva di sintesi additive di bande TM/ETM+ originali e sintetiche, prodotte sulla base delle proprietà di riflettanza delle foglie e dei suoli (cfr, ad esempio, Fitzgerald, 1972).

Dalla sintesi delle bande: 4, 5, 3 esposte con i filtri R,G,B sono stati identificati dei fattori riguardanti le classi di vegetazione, discriminate sulla base della struttura cellulare interna delle foglie (banda 4), del contenuto d'acqua presente nelle foglie (banda 5), del pigmento (banda 3).

Dalla sintesi delle bande sintetiche: $(4-3)/(4+3)$, $(4-5)/(4+5)$, $(3-2)/(3+2)$, esposte con i filtri R,G,B sono stati identificati dei fattori riguardanti la vegetazione ed i suoli spogli.

Precisamente: vegetazione densa (con informazioni sul maggiore o minore contenuto d'acqua nelle foglie), vegetazione rada (con informazioni sul maggiore o minore contenuto d'acqua nelle foglie), suoli spogli (con informazioni sulla loro brillantezza), presenza nel pixel di vegetazione e di suoli spogli (con informazioni sulla maggiore o minore presenza di vegetazione).

Per ciascun fattore sono state prodotte, per le sole zone agricole, delle mappe di lavoro e create delle maschere. Dalla loro intersezione sono stati identificati gli strati (Figura 1).

La valutazione quantitativa della omogeneità interna a ciascuno strato e di differenza fra strati è stata effettuata utilizzando il metodo riportato nell'ALLEGATO 1. Per tale valutazione il pixel è un vettore a sei dimensioni, le cui componenti sono i valori di riflettanza delle terne di bande originali e sintetiche sopra riportate.

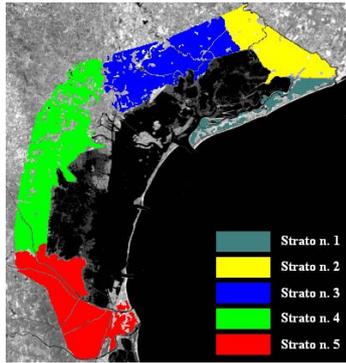


Figura 1 -Mappa degli strati.

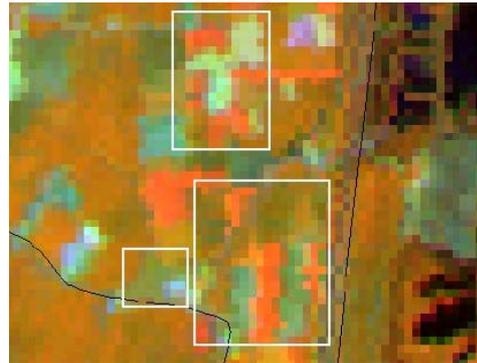


Figura 2 –Esempio di aree di campionamento.

Aree di campionamento

Dall'analisi visiva dell'immagine a falsi colori, ottenuta dalla sintesi delle bande 4, 5, 3 descritta, sono state identificate, nell'ambito di ciascuno strato, le aree di campionamento delle colture dove effettuare i rilievi al suolo. Un esempio di aree di campionamento identificate nell'ambito dello strato n. 4 è riportato nella Figura 2.

Rilievi in campo: il sistema GeoLink

I rilievi sono stati effettuati con il sistema GeoLink che è un sistema portatile GPS/GIS per la mappatura, configurato per operare in tempo reale. Il sistema registra automaticamente la posizione ed il tempo GPS di un punto a terra. Nell'ipotesi, come in questo caso, di delimitazione di superfici chiuse (campi di colture agricole), fornisce all'utente anche la possibilità di registrare dati descrittivi (attributi), per un riporto su cartografia e utilizzazione dei dati in un GIS.

GeoLink è un sistema software, svincolato dalla parte hardware. La configurazione hardware usata per questa applicazione era costituita da: apparati GPS per la georeferenziazione e da un notebook con funzioni di visualizzazione delle immagini usate come sfondo, gestione del data base di attributi e di interfacciamento ad apparati esterni di acquisizione di altre informazioni (in questo caso un distanziometro collimatore laser per la georeferenziazione remota di oggetti non raggiungibili).

I dati GPS sono in coordinate geografiche. I cambiamenti verso un altro sistema di proiezione vengono eseguiti dal sistema in tempo reale, durante le operazioni di mappatura.

Rilievi in campo: attività svolta

Innanzitutto sono stati definiti cinque capisaldi da utilizzare per la correzione post-differenziale dei file di disegno dei bordi dei campi. Il software è stato impostato in maniera da restituire le georeferenziazioni nel sistema nazionale di Gauss-Boaga .

Le fasi principali per l'acquisizione dei dati in campo sono state le seguenti:

- visualizzazione sul notebook, come sfondo, dell'immagine registrata TM/ETM+ a falsi colori di un dato strato, sulla quale sono stati riportati la viabilità e le aree di campionamento;
- delimitazione, entro tali aree, delle superfici delle colture agricole oggetto di rilievo, percorrendo i bordi dei campi oppure usando il distanziometro collimatore laser per registrare la posizione di punti visibili all'operatore ma non accessibili;
- caricamento, nel data base, dei dati relativi agli attributi (tipo di coltura, stato colturale, ecc.).

Terminata l'attività di acquisizione, i dati GPS sono stati corretti in modo differenziale al livello di precisione richiesto: 2 m. circa.

Nella Figura 3 sono riportate le immagini usate come sfondo sul sistema GeoLink e corrispondenti agli strati. Nella Figura 4 è riportato un esempio di acquisizione di dati in campo (disegno del bordo del campo e descrizione del tipo di coltura riscontrato). Si osserva che l'articolazione delle colture segue schemi legati alla parcellizzazione delle proprietà ed alla realtà fisica delle aziende. Le diverse unità produttive si intersecano con geometrie di dimensione inferiore a quelle del pixel TM/ETM+.

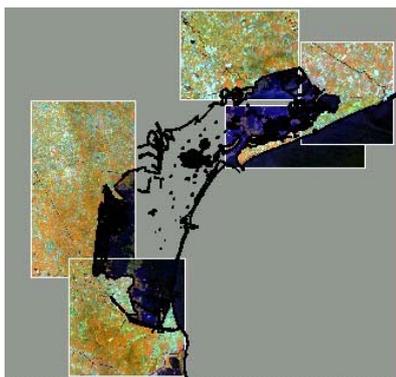


Figura 3 - Immagini usate come sfondo sul sistema GeoLink.

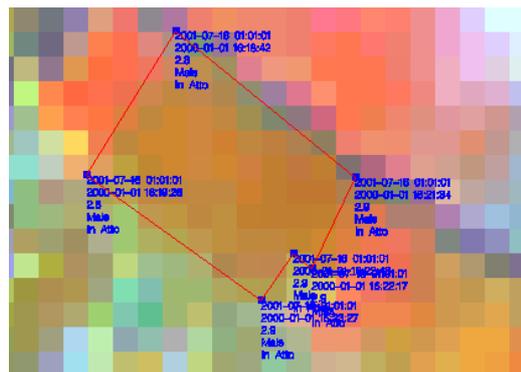


Figura 4 - Esempio di acquisizione di dati in campo con il sistema GeoLink.

Considerazioni sulla sovrapposizione dei dati GPS alle immagini TM/ETM+

Le immagini TM/ETM+ usate nel lavoro sono state corrette geometricamente presso le stazioni di acquisizione con le *procedure* dette *di sistema*. Questo è ritenuto un primo livello di correzione dove permangono ancora errori di distorsione residua dovute, in particolare, alla stabilità della piattaforma. Le immagini corrette sono in proiezione UTM.

Tali immagini sono state poi trasformate dal sistema UTM a quello di Gauss-Boaga.

Dalla sovrapposizione dei disegni dei bordi dei campi, tracciati con il sistema GeoLink, alle immagini TM/ETM+ a falsi colori è stato possibile valutare visivamente gli errori di posizionamento dei disegni dei bordi sui bordi reali dei campi, per il cambiamento dei colori nell'immagine dovuti, ad esempio, a colture agricole diverse presenti nei campi adiacenti. L'errore stimato è stato mediamente di circa 53 m. sia in X che in Y.

Al fine di sovrapporre i file di disegno alle immagini TM/ETM+, i disegni dei bordi dei campi sono stati quindi traslati con questi offset.

Selezione delle aree di training

Le aree di training sono, come è noto, quelle aree dove vengono estratti, per ciascuna specie colturale, campioni di pixel da utilizzare per la stima dei parametri richiesti dal classificatore.

Tenendo conto di eventuali errori residui di sovrapposizione dei disegni dei bordi dei campi alle immagini TM/ETM+, le aree di training sono state selezionate all'interno dei campi ed ad una distanza di circa 30 m. dal disegno del bordo esterno del campo tracciato con GeoLink e traslato.

Nella Figura 5 è riportato un esempio di selezione di area di training (superficie delimitata da una poligonale con bordo bianco).

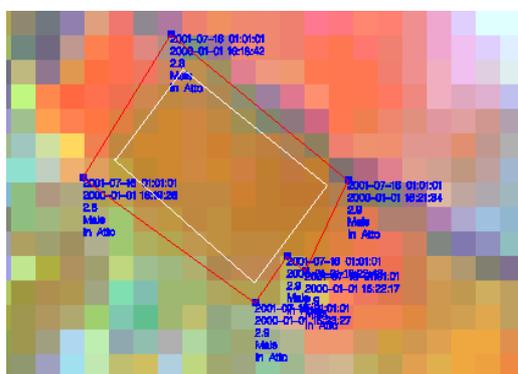


Figura 5 - Esempio di selezione di un'area di training.

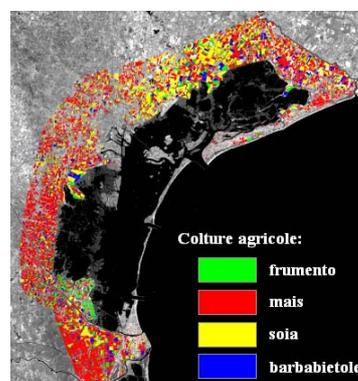


Figura 6 - Risultati della classificazione.

Classificazione

Il metodo di classificazione utilizzato è di tipo *contestuale*, ed è quello proposto da Swain et al., 1980 (cfr. ALLEGATO 2 per una descrizione formale). La scelta di questo metodo è stata effettuata sulla base di precedenti indagini sui classificatori contestuali (Zandonella, 1985).

Per classificare un dato pixel, il classificatore usa una funzione di probabilità discriminante che tiene conto sia delle informazioni spettrali del pixel che spaziali, ovvero delle relazioni del pixel da classificare con quelli adiacenti. In questo caso il pixel è un vettore a cinque dimensioni, le cui componenti sono i valori di riflettanza nelle prime cinque bande TM/ETM+ , selezionate sulla base delle caratteristiche spettrali della vegetazione e dei suoli. Il numero di pixel usato per il contesto è 25, pari ad una finestra di 5 x 5 pixel centrata su quello da classificare. In sostanza, il metodo di Swain et al. è quello della massima verosimiglianza generalizzato al contesto.

Il metodo è stato applicato all'immagine acquisita il 28 aprile per il riconoscimento del frumento, alle immagini del 15 giugno e 2 luglio per il riconoscimento delle altre colture prese in esame.

Un'idea della compattezza delle classi di copertura ottenuta si può avere dall'esame della Figura 7.

La valutazione dell'accuratezza totale del classificatore per ciascun strato è riportata nella Tabella 1.

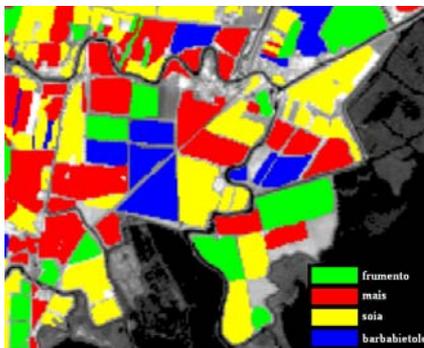


Figura 7 –Particolare dei risultati della classificazione.

Strato N.	Accuratezza Totale (in %)	Coefficiente K di Cohen
1	92,08	0,882
2	93,83	0,895
3	94,76	0,907
4	93,19	0,889
5	94,22	0,901

Tabella 1 – Accuratezza totale per strato.

Conclusioni

Il tema della produzione di mappe tematiche per vaste aree del territorio è stato qui affrontato con una procedura di stratificazione dell'immagine ai fini di aumentare l'accuratezza della classificazione e con un classificatore di tipo contestuale ai fini di ottenere classi di copertura compatte. I metodi di stratificazione sono semplici, robusti, da lungo tempo utilizzati ma ancora non completamente automatici. I classificatori contestuali sono complessi, hanno tempi di calcolo elevati, sporadicamente utilizzati in passato ma disegnati per ridurre la variabilità interna delle classi di copertura, soprattutto con pixel ad alta risoluzione spaziale.

Riferimenti bibliografici

- Fitzgerald E. (1972), *Multispectral scanning systems and their potential application to Earth resource surveys– Spectral properties of materials*, Vol. 2, ESRO, ESTEC Contract N. 1673/72 EL.
- Pagliari Marcello, Zandonella Angelo (1982), *Una procedura per la segmentazione di immagini multispettrali*, Convegno AICOGRAPHICS '82, Milano.
- Rohde W. G. (1978), *Improving Landsat cover classification by image stratification of Landsat data*, 12-th Int. Symp. On Remote Sensing of Environment, Vol. 1, ERIM, Manila, Philippines.
- Strahler H. Alan (1981), *Stratification of natural vegetation for forest and rangeland inventory using Landsat digital imagery and collateral data*, Int. Journal of Remote Sensing, Vol. 2, N. 1.
- Swain H. P., Siegel J. H., Smith W. B. (1980), *Contextual classification of multispectral remote sensing data using a multiprocessor system*, IEEE Trans. On Geoscience and R.S., Vol. GE-18, N.1.
- Zandonella Angelo (1985), *Contextual classification procedures of multispectral image data: a survey*, Convegno AICOGRAPHICS'85, Milano.

ALLEGATO 1 -Descrizione formale del metodo di valutazione dell'omogeneità interna di uno strato e della differenza fra strati (Pagliari, Zandonella, 1982).

Siano:

$x = [\bar{x}]$: il generico pixel (vettore dei valori degli elementi di immagine) dello strato S_i .

$n(S_i)$: il numero di pixel appartenenti ad S_i .

S_i, S_{i+1} : due parti disgiunte, non vuote, dello strato S , tali che $S_i \cup S_{i+1} = S$.

g_i, g_{i+1} : i vettori dei centri di gravità di S_i e S_{i+1} .

$d^2(x, g_i)$: la distanza fra "x" e "g_i", con W forma quadratica positiva, definita come:

$$d^2(x, g_i) = (x - g_i)^T W (x - g_i) \quad [1]$$

$d^2(g_i, g_{i+1})$: la distanza fra due centri di gravità definita come:

$$d^2(g_i, g_{i+1}) = (g_i - g_{i+1})^T W (g_i - g_{i+1}) \quad [2]$$

Allora:

- la **Distanza entro lo strato S_i** viene definita come l'inerzia degli elementi $x \in S_i$ rispetto a g_i :

$$D(S_i) = \frac{1}{n(S_i)} \sum_{x \in S_i} d^2(x, g_i) \quad [3]$$

- la **Distanza fra gli strati S_i e S_{i+1}** viene definita come l'inerzia di g_i e g_{i+1} con i pesi $P(S_i)$ e $P(S_{i+1})$ rispetto a "g", centro di gravità di $S_i \cup S_{i+1} = S$:

$$D(S_i, S_{i+1}) = \frac{P(S_i) \times P(S_{i+1})}{P(S_i) + P(S_{i+1})} d^2(g_i, g_{i+1}) \quad \text{dove: } P(S_i) = \frac{n(S_i)}{n(S)}, P(S_{i+1}) = \frac{n(S_{i+1})}{n(S)} \quad [4]$$

La relazione fra distanza "entro" e "fra" gli strati (teorema di Koëinig-Huygens) è la seguente:

$$D(S) = P(S_i) D(S_i) + P(S_{i+1}) D(S_{i+1}) + D(S_i, S_{i+1}) \quad [5]$$

Massimizzare la *distanza fra* S_i e S_{i+1} significa minimizzare la media delle *distanze entro* gli strati.

ALLEGATO 2 -Descrizione formale del metodo di classificazione contestuale di Swain et al., 1980.

Siano:

x : generico pixel (vettore dei valori degli elementi di immagine).

p : dimensione del *contesto*: numero di pixel della finestra centrata sul pixel da classificare.

$\theta_i, \theta_j \in \Theta^P$: due classi di uso del suolo θ_i e θ_j appartenenti all'insieme delle classi Θ^P .

$f(x_k | \theta_k)$: funzione di densità di x_k , condizionata alla classe θ_k , di una distribuzione multinormale. Il contesto di x_k ha 'p' dimensioni.

$G^P(\Theta^P)$: distribuzione di probabilità congiunta, detta *distribuzione del contesto*. E' la probabilità a priori di osservare $\{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p\} \in \Theta^P$, nel contesto a 'p' dimensioni.

Allora la **funzione discriminante** (probabilità che un pixel appartenga alla classe θ_k , considerando il contesto spaziale del pixel) è data da:

$$g_j(x) = \sum_{\theta_i, \theta_j} \left[\prod_{k=1}^p f(x_k | \theta_k) \right] \cdot G^P(\Theta^P) \quad \text{per } \theta_i, \theta_j \in \Theta^P \quad [6]$$

Mentre la **regola di decisione** è data da:

$$g_i(x) = \max_j g_j(x) \quad \text{per } \theta_i \neq \theta_j \quad [7]$$

Ovvero, il pixel x viene assegnato alla classe θ_i , se ha il massimo valore discriminante.