

Monitoraggio e caratterizzazione di colture agrarie specializzate con dati telerilevati ad alta risoluzione

N. Amoruso, C. Tarantino, A. Baraldi, G. Pasquariello, F. Lovergine, P. Blonda

CNR ISSIA via Amendola 122/D, I-70126, Bari

Riassunto

In questo lavoro la discriminazione in immagini QuickBird di colture agrarie specializzate, quali uliveti e frutteti, da aree vegetate naturali è basata sull'utilizzo del variogramma, che permette di determinare se la tessitura di una regione di forma arbitraria è orientata secondo una/due principali direzioni o meno. Nel caso di tessitura orientata, la direzione dell'orientamento principale della tessitura, la direzione dell'orientamento secondario, se presente, ed il periodo definito come la distanza tra gli elementi di tessitura, chiamati *texton*, in ciascuna direzione sono estratti dalla varianza cumulata calcolata dal variogramma normalizzato. Il frutteto e l'uliveto presentano una tessitura con due orientamenti ed una "larga" spaziatura; il vigneto presenta un orientamento principale ed una "stretta" spaziatura; i campi agricoli coltivati presentano un solo orientamento; i boschi presentano una tessitura non orientata (isotropica). L'estrazione del variogramma è applicata nell'ambito di un sistema gerarchico di classificazione multi-strato, in cascata ad una preliminare fase di elaborazione dell'immagine utile all'individuazione dello strato corrispondente alle aree vegetate. L'intero sistema di classificazione è applicato ad un'area della Regione Puglia ed i risultati sono confrontati con quelli ottenuti da tecniche *object oriented*. Nel lavoro viene discussa l'analisi sperimentale utile alla scelta: delle dimensioni della finestra immagine su cui calcolare il variogramma, dei parametri del variogramma, e di quelli utili alla sua normalizzazione (k_0), alla discriminazione delle aree a tessitura orientata da quelle a tessitura non orientata (K_e ; K_p), all'estrazione dell'orientazione (angoli θ_i , $i=1,2$) e del periodo (T_i , $i=1,2$) delle aree orientate.

Abstract

The variogram image extracted from the panchromatic band of a QuickBird image has been analyzed to discriminate between similar spectral vegetated land use classes, such as forest and dense olive groves, once spectral features have been exploited. Such images seem to reproduce the direction and inter-row spacing of oriented *texton*-based textures present in the original input image. The variogram based texture algorithm (VBTA), recently proposed in literature for analyzing aerial images, tries to determine if texture in a region is not oriented, as in the case of forested and grassland areas or is oriented in one or two main directions, as in the case of vineyards and olive groves, respectively. If texture is oriented, the number of orientations, the orientation angle and periods (i.e. the distance between *textons* in each direction) are extracted, the latter depending on agricultural practices. The classification system has been applied to analyze a QuickBird image in Puglia Region and a comparison with object oriented classification has been also carried out. This paper concentrates on: 1) the experimental selection of some variables useful for variogram analysis: *i*) the size of the input image moving window for variogram calculation; *ii*) some threshold values to be used for variogram normalization (k_0) and for testing the presence/absence of any directionality in the variogram image (K_e ; K_p); 2) The methodology for orientation and period estimation from the cumulative variance of the variogram image (T_i , $i=1,2$).

Introduzione

L'algoritmo di estrazione del Variogramma per il calcolo della Tessitura (VBTA) proposto in letteratura da [Sanz, 2006] è stato usato in questo lavoro per la discriminazione di classi di vegetazione caratterizzate in immagini QuickBird da risposte spettrali simili a causa della ridotta disponibilità di bande spettrali. L'algoritmo permette di considerare l'informazione tessiturale e di caratterizzarne la struttura mediante l'estrazione delle informazioni di orientazione e periodo, se presenti. Tali informazioni sono utilizzate per discriminare boschi sempreverdi (leccete e conifere) da uliveti, sia secolari che di più recente impianto (a diversa densità), presenti in un'area a sud della Regione Puglia, il Salento. Il sistema di classificazione utilizzato è un sistema gerarchico a due livelli come proposto in [Shackelford, 2003]. Nel primo livello viene prodotta una mappa preliminare dell'immagine in macro-classi mediante l'estensione ad immagini QuickBird del classificatore spettrale a regole (SRC) proposto in [Baraldi 2009].

Il VBTA consente di stabilire se la tessitura di una regione è orientata secondo una o due direzioni principali, come nel caso degli uliveti e dei frutteti, oppure è non orientata, come nel caso dei boschi e delle regioni erbose. L'algoritmo può estrarre le seguenti caratteristiche: a) l'orientazione principale della tessitura θ_1 ; b) l'orientazione secondaria della tessitura θ_2 ; c) il periodo T_i per ogni orientazione, dove T_i è definito come la distanza tra due elementi di tessitura detti *texton* [Sanz, 2006], che nel nostro caso sono le chiome degli alberi. T_i è diverso da zero se la tessitura è orientata. Tali features utilizzate nella seconda fase di un sistema di classificazione gerarchico permettono di discriminare la classe uliveto da altre classi vegetate orientate quali, vigneti, frutteti, e campi arati, sulla base della conoscenza a priori di pratiche agricole locali. L'algoritmo consiste nelle seguenti fasi [Sanz, 2006]: 1) estrazione e normalizzazione dell'immagine di variogramma da una da una finestra mobile appartenente all'immagine pancromatica di input, centrata su ogni pixel appartenente allo strato di vegetazione; 2) test utile a stabilire la presenza di orientazione; 3) valutazione della varianza statistica del variogramma per diverse direzioni e per diverse distanze rispetto al centro dell'immagine di variogramma; 4) estrazione degli angoli di orientazione, se ci sono, dalla funzione di varianza cumulata; 5) stima del periodo lungo ciascuna delle orientazioni estratte nei punti 3) e 4).

Data set

È stata considerata un'immagine QuickBird acquisita il 5 Gennaio 2005 nel Salento. La banda pancromatica di tale immagine è stata usata come input per il VBTA.

Metodologia di analisi

L'immagine di variogramma riproduce l'eventuale direzionalità e periodicità presenti nell'immagine originale. Di conseguenza è possibile determinare il numero di direzioni (nonché il rispettivo valore numerico delle orientazioni espresso in gradi), ed il periodo che caratterizza la tessitura in ciascuna direzione e che dipende dalle pratiche agricole. Il variogramma di una immagine è definito [Sanz, 2006] come segue:

$$I: S \rightarrow \mathbb{R}^n, \text{ with } S(\bar{h}) = \{\bar{z} \in S : \bar{z} + \bar{h} \in S\}$$

$$V(\bar{h}) = \sqrt{\frac{\sum_{\bar{z} \in S(\bar{h})} d(I(\bar{z}), I(\bar{z} + \bar{h}))}{\text{card}S(\bar{h})}}$$

In questo lavoro è stata adottata la distanza euclidea d . Il variogramma è calcolato mediante i livelli di grigio della finestra mobile relativa all'immagine pancromatica e centrata solo sui pixel appartenenti allo strato di vegetazione, ovvero appartenenti alla maschera di vegetazione ottenuta come output dal sistema di classificazione basato su regole spettrali proposto in [Baraldi 2009]. Le dimensioni della finestra mobile dipendono dalla periodicità delle regioni tessi turate, che dipende

dalle pratiche agricole. Una grande finestra di W_x colonne and W_y righe, con $W_x = W_y$, può contenere molti periodi nell'immagine di variogramma e perciò facilitare l'estrazione delle informazioni relative all'orientazione e al periodo. Tuttavia, ciò può essere costoso in termini di tempo di calcolo. Evidentemente occorre un giusto compromesso tra tempi di calcolo e dimensioni della finestra mobile. Una volta che le dimensioni della finestra mobile sono state scelte, il variogramma viene calcolato per i seguenti valori del lag:

$$\bar{h} \in \left\{ \frac{W_x}{2}, \frac{W_x}{4}, \dots, \frac{W_x}{2} \right\} \& \left\{ \frac{W_y}{2}, \frac{W_y}{4}, \dots, \frac{W_y}{2} \right\}.$$

Successivamente, il variogramma viene invertito e normalizzato all'intervallo $[0, 1]$ in modo tale da ignorare i valori prossimi all'origine che sono relativi a coppie di pixel vicinissimi tra loro e quindi fortemente correlati. In questa maniera si abbassa il picco centrale del variogramma ottenendo così, in caso di periodicità, dei picchi che hanno quasi la stessa altezza.

$$V_{norm}(\bar{h}), \text{ bound}_{[0,1]} = \frac{d_{max} - V(\bar{h})}{d_{max} - d_{min}}$$

$$d_{max} = \max_{\|\bar{h}\|_{4k_0}} V[\bar{h}], \quad d_{min} = \min_{\|\bar{h}\|_{4k_0}} V[\bar{h}]$$

$\text{bound}_{[0,1]}(x)$ is 0 if $x < 0$ and 1 if $x > 1$.

Il valore di k_0 è determinato sperimentalmente. Un criterio da seguire per la sua stima è la misura del diametro D di un texon (ad esempio la chioma di un ulivo) sull'immagine di input. Solitamente, all'interno di quest'area di raggio k_0 , la variazione tra i livelli di grigio 3(DN) è molto bassa, di conseguenza i valori del variogramma sono molto alti (vicini a uno) a causa dell'elevata correlazione esistente tra pixel tra loro molto vicini. Alcuni variogrammi bidimensionali normalizzati sono mostrati nelle figure seguenti. Le Figure da 1.b) a 3.b) sono relative agli uliveti, le Figure 4.b) e 4.d) sono relative, rispettivamente, al bosco e alle aree erbose.

Una volta fissato il valore di k_0 , un valore di distanza dall'origine pari a k_e deve essere fissato. Il test di orientazione si basa sul prodotto tra il massimo valore di V_{norm} all'interno del cerchio di raggio k_e , indicato con e_{in} ed il massimo valore di V_{norm} all'esterno di tale cerchio indicato con e_{out} :

$$e_{in} = \max_{\|\bar{h}\| \leq k_e} V(\bar{h}), \quad e_{out} = \max_{\|\bar{h}\| > k_e} V(\bar{h})$$

Se risulta $e_{in}e_{out} + k_p$, la regione è considerata non orientata. Di conseguenza la stima k_e è fondamentale per la correttezza del test di orientazione. Infatti, se il valore di k_e è troppo piccolo (cioè vicino all'origine), il prodotto $e_{in}e_{out}$ è circa pari all'unità sia per variogrammi orientati che per variogrammi non orientati. Se k_e è troppo alto (cioè circa la metà della dimensione della finestra), potrebbe accadere che $e_{in}e_{out}$ circa pari a zero sia per variogrammi orientati che non orientati.

Il valore di k_p deve essere determinato sperimentalmente considerando il valor medio tra il minimo valore di $e_{in}e_{out}$ ottenuto da regioni di riferimento che presentano almeno una orientazione con la relativa periodicità (uliveti, frutteti, vigneti) ed il massimo valore di $e_{in}e_{out}$ ottenuto da regioni di riferimento che non presentano alcuna orientazione e periodicità (per es. prato e bosco). Tuttavia, il valore di k_p non è così determinante per il test di orientazione. Infatti, quando pixel appartenenti a regioni non orientate sono classificati come appartenenti a regioni orientate, entrano nella successiva fase successiva di estrazione del periodo. In tal caso, se il valore trovato per il periodo T

è più grande del valore T^* , che è fissato sulla base della conoscenza a priori della pratica agricola dell'area considerata, l'errata decisione di attribuzione ad una classe orientata può essere cambiata.

La stima di orientazione e periodo è basata su: i) calcolo dei valori della varianza statistica $P(\alpha, r)$

lungo una retta ad angolo α e distanza $r = \|\vec{r}\|$ dall'origine dell'immagine del variogramma normalizzato ii) estrazione della funzione *varianza cumulata* $A(\alpha)$ ottenuta sommando i valori di $-P(\alpha, r)$ per ogni fissato α al variare di r . La funzione $A(\alpha)$ mostra un valore massimo in corrispondenza della direzione principale della tessitura, come si può osservare dalla Figura 1.c alla Figura 3.c per differenti uliveti. Dalla scansione di V_{norm} lungo la retta per $\alpha \in [0, \pi)$, se il valore della varianza statistica trovato lungo quella retta è minimo, allora la retta è orientata in una specifica direzione sull'immagine. Il valore corrispondente al picco più alto e più stretto di $A(\alpha)$ è considerato come l'orientazione primaria θ_1 , mentre il secondo picco più alto e più stretto di $A(\alpha)$, se c'è, è considerato come orientazione secondaria θ_2 . Per ciascuna orientazione trovata θ_i , $i=1, 2$, il periodo corrispondente è estratto dalla funzione unidimensionale ottenuta fissando il valore di θ in V_{norm} . Per prima cosa si effettua un filtraggio passa basso e successivamente si individuano gli estremi locali. A differenza di [Sanz, 2006], dove per l'estrazione degli estremi locali si è usato il metodo watershed, in questo articolo, gli estremi sono stati valutati semplicemente esaminando se il valore in un punto specifico, è maggiore o minore rispetto ai due punti adiacenti. La distanza tra le coppie di estremi considerate consente di calcolare il periodo.

Figure 1. 1.a) Finestra immagine in banda pancromatica su un campo di uliveti secolari (densi); 1.b) variogramma normalizzato; 1.c) varianza cumulata $A(\alpha)$, con $\alpha = 0 \dots 180^\circ$; 1.d) variogramma lungo le due direzioni $V(r, \theta_1)$ e $V(r, \theta_2)$, dove: $\theta_1 = 123^\circ$ e $T_1 = 12$ pixels; $\theta_2 = 30^\circ$ e periodo $T_2 = 14$ pixels

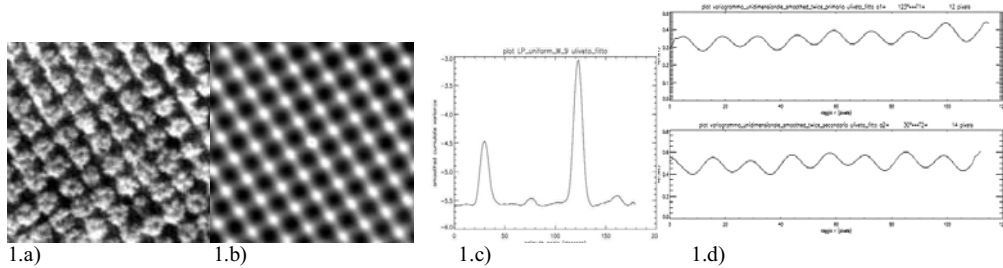


Figure 2. 2.a) Uliveti giovani; 2.b) variogramma normalizzato; 2.c) varianza cumulata $A(\alpha)$; 2.d) variogramma lungo le direzioni: $\theta_1 = 30^\circ$, $T_1 = 20$ pixels, $\theta_2 = 120^\circ$, $T_2 = 20$ pixels; θ_1 e θ_2 ottenuti da $A(\alpha)$

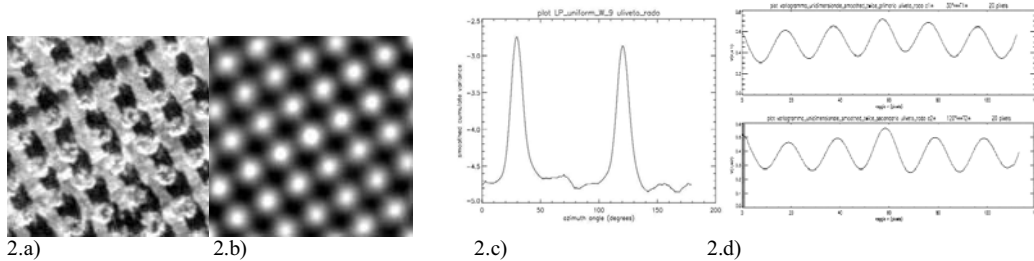


Figure 3. 3.a) Oliveto giovane, immagine rumorosa per ombre e suolo molto chiaro; 3.b) variogramma normalizzato; 3.c) variogramma cumulato; 3.d) variogramma lungo le due direzioni, primaria $\theta_1 = 117^\circ$ con $T_1 = 18$ pixels, e secondaria $\theta_2 = 34^\circ$, con $T_2 = 20$ pixels.

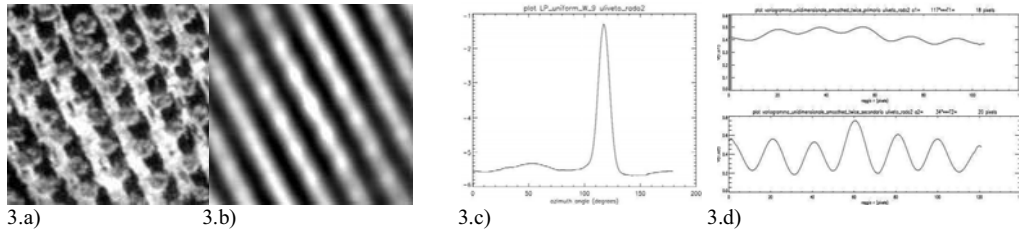
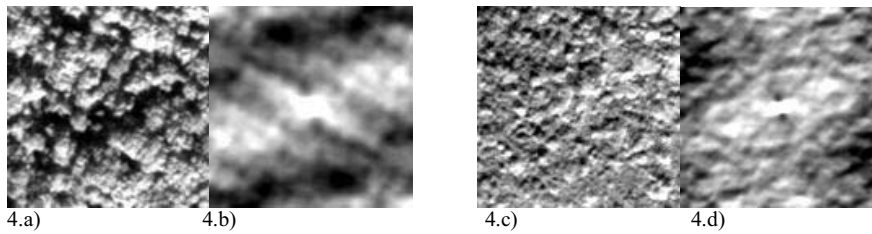


Figure 4. Due regioni non orientate: 4.a) Boschi sempre Verdi (lecceta); 4.b) variogram normalizzato; 4.c) area erbosa cespugliosa; 4.d) corrispondente variogramma normalizzato. La soglia sperimentale usata $K_p = 0.65$ permette di evitare il calcolo di $A(\alpha)$ per queste due regioni che non hanno tessitura orientata.



Risultati

Le dimensioni della finestra mobile $W_x = W_y$ sono state scelte sulla base dei valori di periodo noti per le pratiche agricole della regione e misurati direttamente sull'immagine originale. Tali valori variano da 15 pixels per uliveti secolari a 22 pixels per uliveti giovani. Nel nostro caso, è stata scelta una finestra di dimensioni 125 x 125 pixels allo scopo di includere un alto numero di periodi per una prima accurata valutazione del variogramma. Successivamente si è considerata una finestra di dimensioni minori, cioè 65x65, che è in grado di garantire ancora una stima accurata di orientazione e periodo ad un minor costo in termini di tempi di calcolo, ancora troppo elevati quando si deve considerare il processo sull'intera immagine pancromatica.

Si sono considerate diverse regioni di dimensioni 125x125 appartenenti sia a classi orientate (uliveti) con differenti orientazioni e periodicità che a classi non orientate (erba e boschi); da queste si sono ricavate le misure sperimentali di k_0 , k_e , k_p .

Per $k_0 = D/2$ si è trovato un valore di circa 3 pixels, come in [R.T. Sanz, 2006]. Tale valore di k_0 corrisponde ad un diametro D del texton (chioma dell'ulivo) sull'immagine originale, in cui $\Delta(DN) \cong 5$. Dopo aver eseguito diversi test di orientazione con valori di k_e variabili da 20 a 50 pixels, si è fissato il suo valore a 30 pixels adottando il seguente criterio di scelta:

$$k_e \approx \frac{W_x - 1}{4} = \frac{W_y - 1}{4}$$

Per k_p si è trovato un valore pari a 0.65 come miglior compromesso tra i valori di $e_{in}e_{out}$ ottenuti con k_e variabile da 20 a 50 pixels per differenti regioni (orientate e non).

La validazione è fatta con dati a terra. Per differenti uliveti (secolari e più giovani, meno densi) è mostrato il variogramma normalizzato in Figura 1.b sino a Figura 3.b, per boschi ed aree ad erba e cespugli in Figura 4.b and Figura 4.d. Inoltre, per differenti aree ad uliveto la varianza cumulative ed i valori estratti dopo il filtraggio di $A(\alpha)$, sono forniti come segue: l'orientamento principale θ_1 e secondario θ_2 , i valori di T_1 e T_2 , da Figura 1 a 3 in c) ed), rispettivamente.

Conclusioni e lavoro futuro

L'algoritmo VBTA, proposto ed applicato in R.T. Sanz, (2006) su immagini aeree, è stato applicato per la caratterizzazione degli uliveti in immagini QuickBird. La qualità dell'immagine da satellite considerata non ha richiesto particolari filtri come nel caso delle immagini da aereo. Uno dei limiti dell'applicazione dell'algoritmo è legata ai tempi computazionali. Lavoro futuro sarà quello di testare l'algoritmo su immagini campionate. Un altro problema è legato alla scelta delle soglie K_θ , K_e and K_p . Per superare questo problema si pensa di utilizzare la conoscenza a priori relativa alle pratiche agricole e quindi ai valori massimi e minimi dei periodi attesi per gli uliveti, vigneti, etc.

Ringraziamenti

Il lavoro è stato svolto nell'ambito di un contratto finanziato dalla MEEO s.r.l. sull'elaborazione di dati ad alta risoluzione spaziale.

Riferimenti bibliografici

- Baraldi A., Puzzolo V., Durieux L., Simonetti D., Conchedda G., Holecz F., Blonda P., (2009) "Automatic spectral rule-based preliminary classification of radiometrically calibrated SPOT-4/-5/IRS, AVHRR/MSG, AATSR, IKONOS/QuickBird and DMC/SPOT-1/-2 imagery – Part I: System design and implementation", *IEEE Trans. on Geosc. and Remote Sensing*, in press.
- R.T. Sanz, (2006) "Texture orientation and period estimator for discriminating between forests, orchards, vineyards, and tilled fields", *IEEE Trans. on Geosc. And Remote Sensing*, vol.44, 10: 2755-2760.
- A. K. Shackelford and C.H. Davis, (2003) "A hierarchical fuzzy classification approach for high-resolution multispectral data over urban areas", *IEEE Trans. on Geosc. and Remote Sensing*, vol. 41, 9: 1920-1932.