Sistema automatico per il conteggio di alberi di ulivo da immagini telerilevate

Alessandro LEONE (*), Cosimo DISTANTE (*), Marco DE BERNART (*),
Lorenzo VASANELLI (**), Marco PALAZZO (**)

(*) CNR – IMM Sezione di Lecce, Via Provinciale per Arnesano, 73100 Lecce
(**) DII – Università di Lecce, Via Provinciale per Arnesano, 73100 Lecce

Il presente lavoro propone una tecnica automatica di *image processing* per il conteggio di alberi di ulivo e per l'estrazione delle relative informazioni dimensionali, a partire da immagini pancromatiche *QuickBird* ad alta risoluzione, senza l'impiego di metriche aprioristiche attinenti la coltura in esame.
L'approccio ricorre ad algoritmi di miglioramento della qualità delle immagini basate sull'equalizzazione adattiva dell'istogramma, nonché a schemi di *smoothing* selettivo ed *enhancement* dei bordi per l'esaltazione delle strutture in alta frequenza, in accordo ad un appropriato modello dell'equazione di diffusione non-lineare del calore. Successive operazioni morfologiche di apertura e chiusura consentono la riduzione del rumore ed il recupero dei bordi corrotti dallo schema di *smoothing*. L'attività di segmentazione prevede l'impiego della *Trasformata Watershed Marker Controlled*, garantendo notevoli capacità nella localizzazione degli alberi di ulivo e nella valutazione delle corrispondenti informazioni morfometriche.

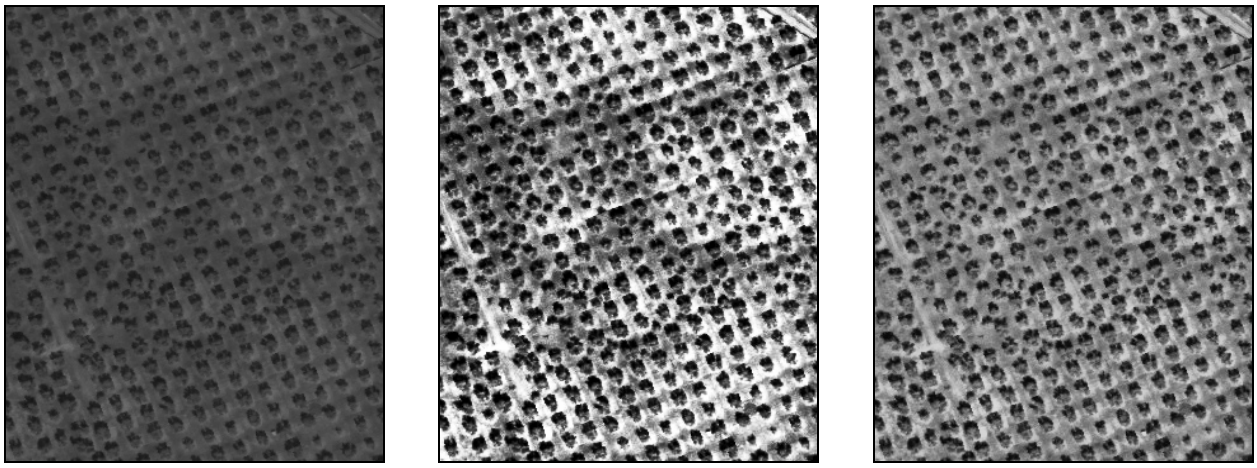
Abstract
This paper presents a fully automated image processing scheme for olive trees counting and dimensional information extraction, by using high resolution panchromatic images acquired by QuickBird, when no information is used about the olive growing.
The proposed scheme uses a histogram adaptive equalization for image enhancement and a combined approach for selective smoothing and edges enhancement for high frequency extraction, according to non-linear diffusion equation model. Open/close morphological operators are used to control noise level and to recover corrupted edges. The segmentation step is performed by using the Marker Controlled Watershed Transform, providing good performances both in the olive trees extraction process and in the morphometric information evaluation step.

Introduzione

L'istituzione del registro oleicolo comunitario (normativa CEE del 21/01/1975) ha evidenziato quanto sia forte l'esigenza di gestire le informazioni attinenti gli oltre cinquecento milioni di alberi di ulivo presenti nei paesi del bacino del Mediterraneo e che fanno di tale coltura una delle più importanti dell'UE. Al fine di attuare quanto sancito a livello comunitario dal Regolamento CE n.3788/85, il presente lavoro intende fornire uno strumento per il rilevamento ed il conteggio automatico degli alberi di ulivo (codice *Corine* 223) nell'intento di rilevare statistiche ed informazioni di interesse quali aree, diametri e posizione dei rispettivi centri (più in generale, tale strumento può essere esteso al monitoraggio di specie arboree protette e/o censite).
L'analisi di quanto proposto in letteratura ha evidenziato la presenza di una modesta quantità di contributi scientifici che facciano uso di tecniche automatiche di *image processing* da dati telerilevati. I lavori più rilevanti sono il progetto 'Olistat' ed 'Olicount' (Kay S. et al, 1998), il primo finanziato dall'UE, il secondo dall'istituto francese JRC. Tali lavori sono difficilmente

confrontabili per la diversità delle immagini utilizzate, per la diversità dei metodi usati per la stima degli errori, per la presenza di un elevato numero di parametri che influenzano i metodi stessi e per la mancanza di dati numerici precisi.
Nel presente studio sono state utilizzate immagini *QuickBird* georeferenziate di tipo *Ortho Ready Standard* (provviste di correzioni radiometriche, di sensore e geometriche) impiegando la banda pancromatica a risoluzione spaziale di 0.7m. Tuttavia, l'immagine RGB a risoluzione spaziale di 2.8m è stata preliminarmente impiegata per la definizione della relazione omografica esistente con l'immagine pancromatica, permettendo l'utilizzo dello schema di classificazione di aree tematiche (uliveto, centro urbano, seminativo) proposto in (Distante C. et al., 2005).

Equalizzazione adattiva dell'istogramma a contrasto limitato
Al fine di migliorare la qualità dell'immagine pancromatica in input allo schema, il presente lavoro utilizza un'equalizzazione adattiva dell'istogramma a contrasto limitato (CLAHE) proposto in (Pizer S.M. et al., 1987), fornendo risultati decisamente migliori rispetto alle tecniche tradizionali di *enhancement*. L'attività accentua il contrasto dell'immagine pancromatica soprattutto in condizioni di illuminazione non uniforme (ad esempio, in situazioni meteo variabili) o scarsa illuminazione della scena, rendendo più evidente la differenza tra *foreground* (le chiome degli alberi) e *background*, ovvero esaltando l'informazione in alta frequenza relativa ai bordi delle chiome.
Lo schema suddivide l'immagine in regioni quadrate 8×8 che sono equalizzate considerando come trasformazione di *mapping* dei livelli di grigio una funzione monotona non decrescente in modo da modificare l'istogramma iniziale in una nuova distribuzione di tipo Rayleigh. Una successiva attività di interpolazione dei pixel di confine di regioni adiacenti limita la presenza di artefatti garantendo comunque un costo computazionale sempre contenuto. Si può osservare come l'immagine equalizzata in accordo allo schema CLAHE (Figura 1.c) presenti un contrasto decisamente aumentato rispetto all'immagine telerilevata (Figura 1.a).



(a) (b) (c)

Figura 1 – In (a) l'immagine pancromatica relativa ad una regione classificata come uliveto. A seguito dell'equalizzazione CLAHE (c) si ha un miglioramento della qualità dell'immagine ed una uniformità della luminosità rispetto a tecniche standard di equalizzazione (b).

Il modello di diffusione non-lineare
La fase di equalizzazione fornisce un'immagine di qualità superiore rispetto alla banda pancromatica dal momento che il contrasto è aumentato. Tuttavia, l'immagine equalizzata non è ancora disponibile per la segmentazione in quanto affetta da rumore; l'introduzione di uno schema di *smoothing* è necessario onde garantire una limitazione del problema. L'adozione di schemi di filtraggio passa-basso impedisce una corretta applicazione delle tecniche di segmentazione poiché sono evidenti i fenomeni di degrado dell'immagine (sfocamento) con possibile perdita

dell'informazione in alta frequenza (i bordi). Tecniche di *denoising* ed *enhancement* possono essere combinate per fornire un equo compromesso tra limitazione del rumore e mantenimento dei bordi.
Il presente lavoro utilizza un'efficace tecnica di filtraggio spaziale basata sull'analisi spazio-scala (Witkin A.P., 1983) ovvero impiegando l'equazione di diffusione del calore in modo da applicare la fase di *edge enhancement* contestualmente a quella di filtraggio del rumore.
L'idea di base consiste nel filtrare spazialmente l'immagine iniziale $I_0(x, y)$ con un filtro 2D simmetrico Gaussiano $G(x, y)$ avente deviazione standard t via via crescente:

$$I(x, y, t) = I_0(x, y) * G(x, y, t) \qquad [1]$$

dove $I(x, y, t)$ rappresenta la famiglia di immagini di output filtrate a diversi livelli di *smoothing*. Si osserva come a bassi valori di t corrispondano attività di *smoothing* piuttosto modeste, mentre per alti valori del parametro l'effetto di sfocamento risulta sempre più marcato.
La stessa famiglia di immagini può essere ottenuta come soluzione dell'equazione di conduzione del calore (o equazione di diffusione non-lineare) data da:

$$\begin{cases} I_t(x, y, t) = c\Delta I(x, y, t) = c\left[I_{xx}(x, y, t) + I_{yy}(x, y, t)\right] \\ I(x, y, 0) = I_0(x, y) \end{cases} \qquad [2]$$

dove c rappresenta la costante di diffusione, Δ l'operatore Laplaciano ed I_t la derivata parziale di I rispetto al tempo. La soluzione dell'equazione differenziale [2] è costituita da una famiglia di funzioni dipendenti linearmente dal parametro t.
Due proprietà, comuni alla famiglia di immagini nell'equazione [1] ed alla soluzione dell'equazione [2], giustificano l'uso dell'equazione di diffusione del calore nell'analisi spazio-scala:
a) Causalità: all'aumentare del parametro di *scaling* il livello di rumore è non crescente e non vengono generati dettagli spuri (non presenti nell'immagine iniziale).
b) Omogeneità e isotropia: lo sfocamento dell'immagine all'aumentare del parametro di *scaling* è spazio-invariante.
Al fine di non perdere le strutture in alta frequenza applicando il processo di *smoothing*, in (Malik J. et al., 1987) si suggerisce una procedura di esaltazione dei bordi contestualmente alla fase di eliminazione del rumore, preservando i bordi ad ogni livello di scala. Nell'equazione [2] la costante c è sostituita con una funzione spazio variante pervenendo a:

$$I_t(x, y, t) = DIV\left[c(x, y, t)\nabla I\right] = c(x, y, t)\Delta I + \nabla c \cdot \nabla I \qquad [3]$$

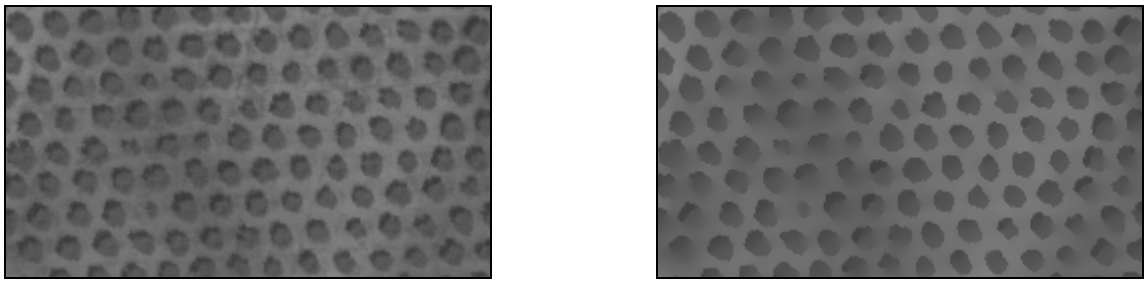
dove DIV indica l'operatore divergenza e ∇ rappresenta il gradiente rispetto alle coordinate spaziali x ed y. Qualora c fosse una costante, l'equazione [3] si ridurrebbe a $I_t(x, y, t) = c\Delta I$ che rappresenta la diffusione isotropica dell'equazione [2]. Normalmente la funzione $c(x, y, t)$ dipende dal gradiente di I, ovvero:

$$c(x, y, t) = g\left[\left|\nabla I(x, y, t)\right|\right] \qquad [4]$$

Dalla [4] si osserva che se il gradiente è alto (ad esempio in prossimità dei bordi delle chiome), l'attività di diffusione è limitata o trascurabile, viceversa se è basso (ad esempio all'interno di una stessa regione) la diffusione è più marcata (g è una funzione non negativa, monotona decrescente, tale che $g(0) = 1$).
In (Malik J. et al., 1987) si è proposta la seguente espressione della funzione g:

$$g(\nabla I) = e^{-(|\nabla I|/k)^2} \qquad [5]$$

con k definito utilizzando lo stimatore di rumore proposto in (Canny J., 1986) e pari al 90% del valore dell'integrale del gradiente dell'immagine. La Figura 2.b riporta l'effetto della procedura di *smoothing*/*edges enhancement* in accordo all'equazione [5] relativa all'immagine in Figura 2.a. Si osserva come l'immagine sia decisamente nitida con chiome ben visibili rispetto allo sfondo uniforme (in alcune regioni è accentuata la presenza delle ombre delle chiome).



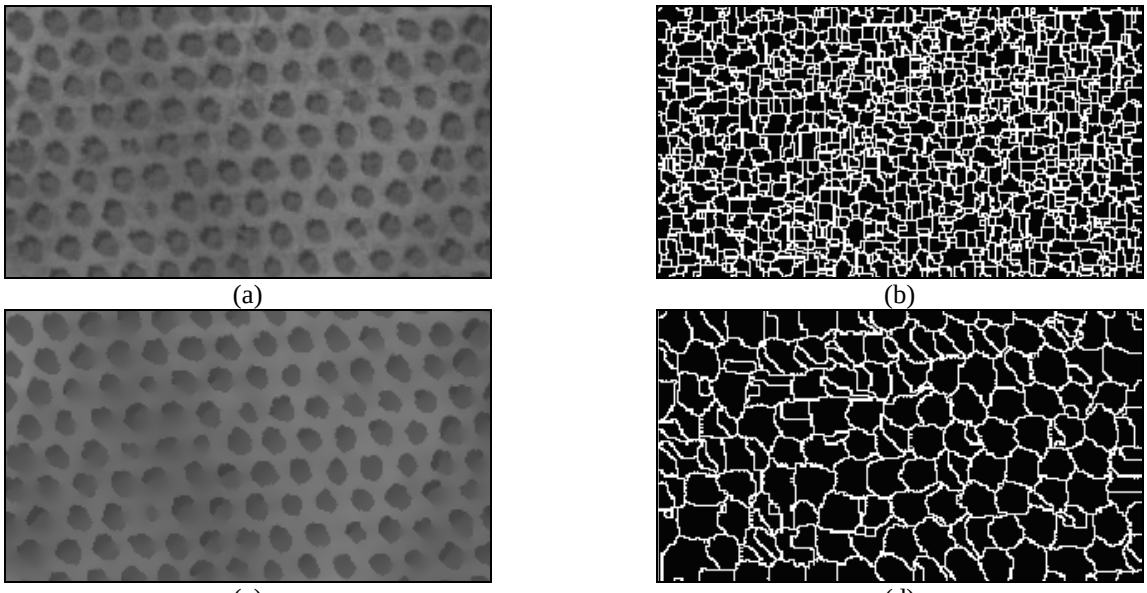
(a) (b)

Figura 2 – (b) output dell'attività di smoothing/enhancement rispetto all'immagine pancromatica (a) quando il modello di Malik è adottato nell'equazione di diffusione del calore. Il miglioramento della qualità dell'immagine è evidente: le chiome degli alberi sono distinte rispetto al background.

La Trasformata Watershed Marker Controlled

La Trasformata *Watershed* (Vincent L. et al., 1991) è uno dei metodi di segmentazione basati su regioni derivante dall'uso di concetti di natura orografica. Quando una superficie topografica viene inondata dall'acqua, nelle regioni depresse si formano dei bacini e, man mano che l'inondazione prosegue, onde evitare l'unione di bacini relativi a depressioni differenti, vengono costruite delle dighe. Al termine del processo di inondazione emergeranno sia i bacini di raccolta (*catchment basins*), sia le dighe (*watershed lines*) che separano i bacini, ciascuno dei quali contiene solo un punto di minimo.

La Trasformata *Watershed* produce un'immagine in cui tutti i punti dello stesso bacino sono etichettati ugualmente ed in modo univoco, mentre etichette differenti sono usate per i punti appartenenti alle linee *watershed*. L'applicazione diretta dell'algoritmo ad una immagine affetta da rumore (Figura 3.a) comporta fenomeni di over-segmentazione, dovuti al fatto che ad ogni piccola variazione nei livelli di grigio dell'immagine viene generato un nuovo bacino (Figura 3.b e Figura 3.c). Risulta pertanto fondamentale applicare, precedentemente l'attività di segmentazione, le strategie di *smoothing* selettivo ed *enhancement* illustrate nella sezione precedente.



(a) (b)

(c) (d)

Figura 3 – In (b) si osserva il fenomeno di over-segmentazione derivato dall'applicazione diretta della Trasformata Watershed sull'immagine rumorosa pancromatica (a). Il fenomeno è meno accentuato (d) se preventivamente sono condotte attività di enhancement (c).

I problemi di cui sopra possono essere limitati mediante l'impiego della Trasformata *Watershed Marker Controlled*. In tal caso si contrassegnano tutti gli oggetti di *foreground* e di *background* e si

esegue il processo di inondazione della superficie topografica imponendo che i minimi della funzione corrispondano agli elementi del *marker set*. Alla fine del processo si formeranno tanti bacini di raccolta quanti sono gli elementi del *marker set*. La procedura può essere implementata modificando la superficie topografica di partenza in modo che i minimi vengano ricollocati in corrispondenza del *marker set* ed applicando successivamente la Trasformata *Watershed* sulla nuova superficie.
L'attività chiave nell'applicazione della Trasformata *Watershed Marker Controlled* è, quindi, la scelta del *marker set* che deve tenere traccia degli oggetti da estrarre. In immagini grandi e con oggetti non omogenei per forma o dimensione, si potrebbe verificare l'incapacità di individuare correttamente alcuni oggetti (ad esempio quelli molto piccoli) o, viceversa, di individuare molti più oggetti di quanti non realmente presenti (over-segmentazione) sebbene le prestazioni, in ogni caso, siano migliori rispetto alla tradizionale Trasformata *Watershed*. Nel presente studio, il *foreground marker set* è stato definito in accordo all'output delle operazioni morfologiche (Young I.T. et al., 1995 – Beucher S., 1992) di apertura/chiusura e dilazione/erosione su regioni quadrate 3×3 pancromatiche, a seguito della fase di *smoothing*/*enhancement* dei bordi di cui al paragrafo precedente.
Semplici operazioni di conteggio dei pixel appartenenti ai bordi delle chiome degli alberi hanno permesso, infine, la definizione di statistiche ed informazioni attinenti sia le dimensioni delle piante, sia l'occupazione percentuale della coltura in aree di estensioni note.

Risultati conseguiti e conclusioni
Il sistema proposto ha fornito risultati decisamente notevoli (Figura 4.b) in termini di capacità di rilevamento degli alberi di ulivo con percentuali di corretta segmentazione prossimi al 95% (le linee bianche in figura indicano il perimetro dei diversi alberi a conclusione dell'operazione di segmentazione).
In particolare, l'adozione dello schema di equalizzazione dell'istogramma mediante l'analisi adattiva a contrasto limitato ha consentito di superare gli usuali problemi che si incontrano nelle attività di *enhancement* allorquando è presente una non perfetta illuminazione della scena, consentendo di aumentare localmente il contrasto dell'immagine pancromatica di input.
Innovativo ed efficiente si è dimostrato l'uso dell'equazione di diffusione non-lineare del calore come strumento di *smoothing*/*enhancement* dei bordi per l'esaltazione delle componenti in alta frequenza e la riduzione dei fenomeni di rumore in un unico step. La Trasformata *Watershed Marker Controlled* utilizzata congiuntamente ai filtri morfologici di apertura, chiusura, dilazione ed erosione costituisce un valido metodo di segmentazione e di estrazione dei blob che rappresentano gli alberi.
Studi appropriati sono stati condotti al fine di individuare il miglior compromesso tra tutti i parametri presenti nello schema (dimensioni dei filtri morfologici, valori della deviazione standard nell'equazione di diffusione del calore, ecc.) e le performances in termini di *detection* delle chiome degli alberi.
Gli errori di segmentazione decisamente contenuti (inferiori al 5%) sono da imputare alla natura dell'immagine, ovvero alla disposizione degli alberi, alla loro densità ed alla presenza di ombre e/o di rumore. Tali inconvenienti hanno prodotto situazioni di over-segmentazione per cui, sebbene raramente, è necessaria la definizione dei parametri critici dello schema (la presenza di ombre ha parzialmente alterato le statiche attinenti le informazioni dimensionali degli alberi).
In conclusione, il rilevamento degli alberi di ulivo è avvenuto in maniera affidabile e con un esiguo dispendio computazionale. L'approccio proposto ha validità del tutto generale, per cui è facilmente adattabile alla rilevazioni di differenti colture previo limitato *tuning* del sistema.

Riferimenti bibliografici

Kay S., Peedell S., Léo O., Giardino G. (1998), "Computer-assisted recognition of Olive trees in digital imagery", *ISPRS Commission VII Symposium "Resource and Environmental Monitoring" - Budapest Hungary*, Vol. XXXII Part 7, 357-364.

Distante C., Leone A., Vasanelli L., Palazzo M., Rocca S. (2005), "Sistema di riconoscimento automatico di aree tematiche per immagini telerilevate", *IX Conferenza Nazionale Asita – Catania Italy*, 1001-1006.

Pizer S.M., Amburn E.P. (1987), "Adaptive histogram equalization and its variations", *Computer Vision Graphics and Image Processing*, 355-368.

Witkin A.P. (1983), "Scale-space filtering", *Join Conference Artificial Intelligence*, 1019-1021.

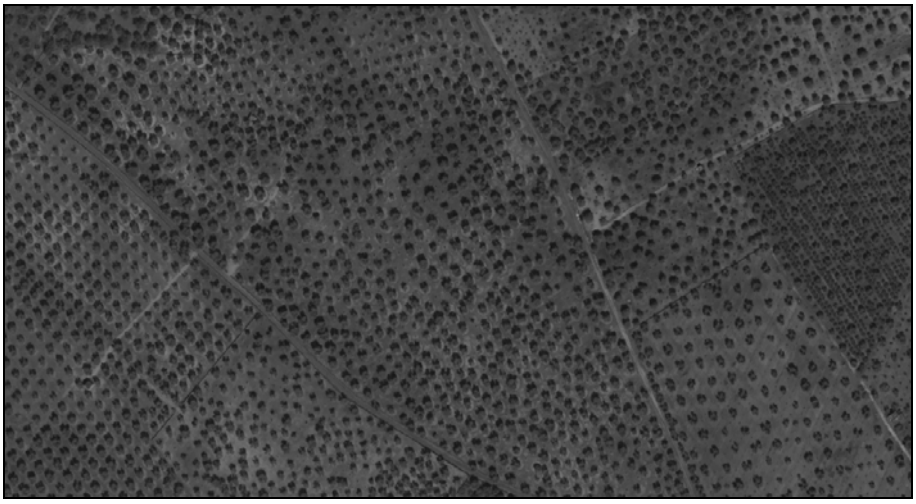
Malik J., Perona P. (1987), "Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion", *IEEE Workshop on Computer Vision – Miami USA*, 16-27.

Canny J. (1986), "A computational approach to edge detection", *IEEE TPAMI*, Vol. 8, 679-698.

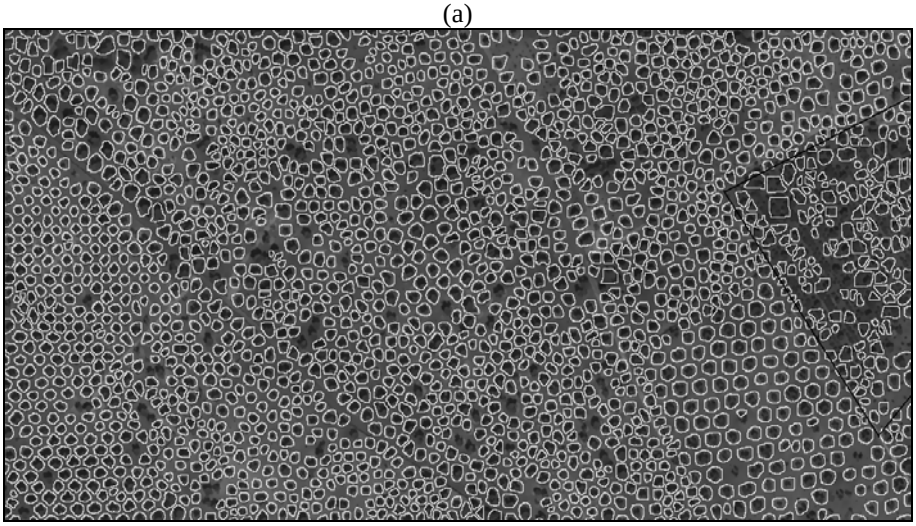
Vincent L., Soille P. (1991), "Watershed in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulation", *IEEE TPAMI*, Vol. 6, 583-598.

Young I.T., Gerbrands J.J., Van Vliet L.J. (1995), "Fundamentals of Image Processing", *PHD Pubblications.*

Beucher S. (1992), "Recent advances in mathematical morphology", *Société Italienne de Microscopie Electronique.*



(a)



(b)

Figura 4 – In (b) il risultato dell'operazione automatica di segmentazione a partire dal dato telerilevato pancromatico (a). I modesti errori compiuti nell'identificazione degli alberi sono da imputare essenzialmente al rumore ed alla presenza delle ombre degli alberi che alterano la forma delle chiome riducendo la capacità discriminatoria della Trasformata Watershed.