

## Valutazione comparativa di tecniche di change detection applicata alla rilevazione di aree interessate da discariche

Carmine Massarelli (\*), Annamaria Basile (\*), Vito Felice Uricchio (\*),  
Giovanni Campobasso (\*\*), Giovanna Netti (\*\*)

(\*), Consiglio Nazionale Delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque, V. le F. De Blasio, 5 – 70125 Bari  
Tel. 0805820511, fax 0805313365, e-mail carmine.massarelli@ba.irsra.cnr.it

(\*\*) Regione Puglia, Assessorato alla Qualità dell'Ambiente, V. le delle Magnolie 6-9 – 70126 Modugno (Ba)  
Tel. 0805404395, fax 0805403969

### Riassunto

L'intero territorio è stato coinvolto ed è coinvolto – in modo più o meno diretto e continuativo – da fenomeni di antropizzazione e rinaturalizzazione che ne hanno caratterizzato e modificato l'ambiente nel corso del tempo.

Nella comprensione, investigazione e valutazione di dinamiche territoriali, con i relativi impatti ambientali, la cartografia e le immagini satellitari, in serie storiche, possono rilevarsi strumento utile di analisi, costituendo all'occorrenza un punto di osservazione privilegiato per comprendere l'evoluzione dello stato territoriale ed ambientale di determinate porzioni di territorio: analizzare le carte tematiche di ieri, giustapporre a quelle di oggi, correlare i risultati dell'*overlay mapping* con ulteriori dati a disposizione per comprendere e spiegare quanto è accaduto e quanto oggi ci circonda, rappresenta il punto di partenza per l'attuazione di futuri Piani di Gestione del territorio sempre più sostenibili.

Il dato di partenza che muove l'esperienza *in itinere* è l'evidenza che in un recente passato, tra gli anni '80 fine anni '90, in stato di emergenza rifiuti, prima che la creazione degli Ambiti Territoriali Ottimali (ATO) per la gestione dell'intero ciclo dei rifiuti assicurasse la presenza di impianti per il trattamento e lo smaltimento degli stessi, il territorio regionale pugliese è stato caratterizzato da un proliferare di discariche d'emergenza, autorizzate ex art. 12 del DPR 915/82 e art. 13 del D.Lgs. 22/97, sprovviste delle necessarie misure di sicurezza impiantistiche e costruttive.

Al fine di comprendere l'entità del fenomeno, non sempre documentato, e di ricostruire un quadro conoscitivo esaustivo del territorio regionale si applicheranno, testandole e comparandole, tecniche evolute di elaborazione d'immagini per identificare le differenze territoriali, avvenute nel tempo, in grado di fornire indicazioni volte all'individuazione, il più accurata possibile, delle discariche realizzate in regime d'emergenza nonché delle possibili modificazioni relative all'uso del suolo nei territori circostanti.

### Abstract

The territory was and is involved in human and naturalization phenomena that have characterized and modified the environment over the time.

In the understanding, investigation and evaluation of territorial dynamics, with their environmental impacts, mapping and satellite imagery, can be provide a useful tool of analysis bringing a vantage for understanding the evolution of the territorial and environmental condition of things: to analyze the earlier thematic maps, to overlay to those of today, to correlate the results with additional data available to understand and explain what happened and what surrounds us today, is the starting point for the implementation of future management plans of the area to make them more sustainable.

The starting point that moves the experience is the evidence that in the recent past, in the late 80s late 90s, in a state of emergency waste, before the creation of the Optimal Territorial Areas (ATO) for the management of the entire waste cycle would ensure the presence of facilities for the treatment and disposal of the waste, the region of Puglia has been characterized by a proliferation of emergency landfills, authorized with the article 12 of Presidential Decree 915/82 and art. 13 of Legislative Decree no. 22/97, but missing of necessary safety measures and plant construction.

In order to understand the extent of the phenomenon, not always documented, and to reconstruct a comprehensive framework of knowledge of the region will be applied, testing and comparing advanced techniques of image processing to identify regional differences, which took place over time, to provide guidelines for the identification, as accurate as possible, landfills done under emergency management as well as possible changes related to land use in the surrounding areas.

### Introduzione

La Regione Puglia nel corso degli ultimi anni ha introdotto importanti innovazioni tecnologiche, organizzative e gestionali finalizzate al controllo ed alla tutela del territorio e dell'ambiente basate sull'applicazione di metodologie di prevenzione più efficaci miranti anche alla scoperta di illeciti nonché all'individuazione certa dei responsabili. Il rapporto sinergico tra Forze dell'Ordine impegnate nel settore ambientale quali Comando Tutela Ambiente dei Carabinieri, Guardia di Finanza e Corpo Forestale dello Stato, con la Regione Puglia, ARPA Puglia e l'Istituto di Ricerca Sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche, consente di arricchire le esperienze e competenze facendole convergere verso la soluzione delle problematiche ambientali scaturite spesso dalle condotte illecite. Il deciso impegno della Regione Puglia, delle Forze dell'Ordine dell'ARPA Puglia e del CNR-IRSA, con un'intensa attività di controllo, di monitoraggio dell'ambiente e dei fenomeni criminosi ha portato, negli ultimi anni al sequestro di **n. 2.416** siti potenzialmente contaminati. Inoltre, nella regione sono ad oggi state individuate un totale di circa 138 discariche di cui circa il 4,22% realizzate durante il regime di Emergenza Socio-Economico-Ambientale che ha caratterizzato la regione Puglia negli anni 1994-2007<sup>1</sup>).

Al fine di poter individuare con maggiore certezza la presenza di trasformazioni del territorio legate alla presenza di discariche aperte in regime di emergenza, ma anche a sostanziali modificazioni della destinazione d'uso del suolo, sono state applicate differenti tecniche di *change detection* utilizzando immagini acquisite con il Landsat (Griffiths, 1988; Jensen, 1996; Ridd et al., 1998) al fine di individuare come si evolvono le aree prossime ad alcune di queste discariche censite e di conseguenza quali possono essere le zone interessate dalla presenza di altre discariche di cui si è persa traccia. Verranno riportate solo immagini che non permettono l'identificazione del territorio ad oggi oggetto di ulteriori approfondimenti da parte degli Enti competenti.

### Materiali e metodi

Lo studio è stato indirizzato ad un'area del Salento complessivamente di circa 77.000 ettari al fine di individuare grandi aree di cambiamento relazionabili anche alla presenza di discariche ex art.12 (Figura 1).

Per l'elaborazione sono state utilizzate due immagini Landsat, risalenti entrambe al mese di giugno, una del 2000 e l'altra del 2013.

Le immagini, disponibili sul portale dell' U.S. Geological Survey, hanno una risoluzione di 30x30m. Il numero totale di pixel è di 863,178. Per le elaborazioni sono state utilizzate le bande 1,2,3,4 e 8 della Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), anno 2000, e le bande 2,3,4,5,8 e 9 della Landsat 8 Operation Land Imager (OLI) and Thermal Infrared dell'anno 2013.

Il sistema di riferimento utilizzato è il WGS 84 / UTM zone 33N (Projected coordinate system EPSG:32633).

<sup>1</sup> ex art. 12 del DPR 915/82; art. 13 D.Lgs. 22/97; OPCM n.3077/2000; Decreto del Commissario Delegato Emergenza Rifiuti 6 marzo 2001, n. 41 - Piano di gestione dei rifiuti e delle bonifiche delle aree inquinate. Dati aggiornati al 31 dicembre 2013 dal CNR-IRSA.

Dopo la fase di pre-processamento, le immagini sono state elaborate con tre differenti tipologie di tecniche. Considerata la non disponibilità di una *reference map* per l'area di riferimento, vengono riportati i valori di accuratezza delle indagini secondo quanto presente in letteratura con la Kappa analisi.



Figura 1 □ Area di Studio.

## Risultati

Si riportano le immagini di uno spaccato di territorio interessato dalla presenza di discariche ex art. 12 di circa quarantamila ettari, ossia un'area inferiore a quella di studio per ragioni di riservatezza. Nelle immagini sono riportate le ubicazioni delle discariche ex art. 12 (piccoli poligoni verdi) indicate in Figura 2 da frecce nere. Tra le tecniche note, quelle utilizzate in questo lavoro sono sia *pixel-based* (image classification e post-classification, image differencing, image rationing, image regression) e sia *transformation-based* (vegetation index differencing).

### 1. Image classification e post-classification

Questa tecnica classifica separatamente due immagini acquisite in tempi differenti e poi implementa una comparazione pixel per pixel. I vantaggi consistono nel fatto che minimizza le variazioni dovute all'atmosfera, ai sensori ed all'ambiente in generale, di contro richiede più tempo per essere implementata ed una certa esperienza sia nell'elaborazione che nella conoscenza del territorio.

È stata dunque realizzata una classificazione con l'algoritmo di maggiore verosimiglianza suddividendo il territorio in tre sole classi: urbano, agricolo e naturale. Nelle immagini (Figura 2 e Figura 3) sono riportati i risultati di tale classificazione.

Al fine di individuare aree possibili dove le attività di coltivazione di discarica siano terminate, abbiamo considerato quelle che possono essere le trasformazioni evidenti del territorio considerando i passaggi da un ambiente urbanizzato ad uno agricolo od al più naturale.

Pertanto riportiamo (Figura 4) la mappa tematica che individua i cambiamenti di uso del suolo da urbano ad agricolo e/o naturale nel corso degli anni.

Nelle zone individuate dalle discariche ex art. 12 sono evidenti dei segni di cambiamenti il che fa pensare al fatto che siano state realizzate in zone altamente produttive e soggette a trasformazione continua. Tali cambiamenti fanno ovviamente supporre che territori più ampi ed analoghi siano nelle stesse condizioni al punto che possono celare altre discariche ex art.12 di cui non c'è memoria storica.

Al fine di scremare ancor di più i risultati (in questa applicazione non sono considerati i valori soglia di significatività) abbiamo sovrapposto le mappe di bontà o qualità probabilistica della classificazione risultanti; in Figura 5 viene riportata la mappa tematica delle aree che mostrano valori di attendibilità maggiori del 70% per entrambe le classificazioni. Dalla mappa appare evidente come scompaiono tante altre zone precedentemente individuate, anche se nella zona maggiormente interessata dalle discariche si rileva ancora un valore significativo.

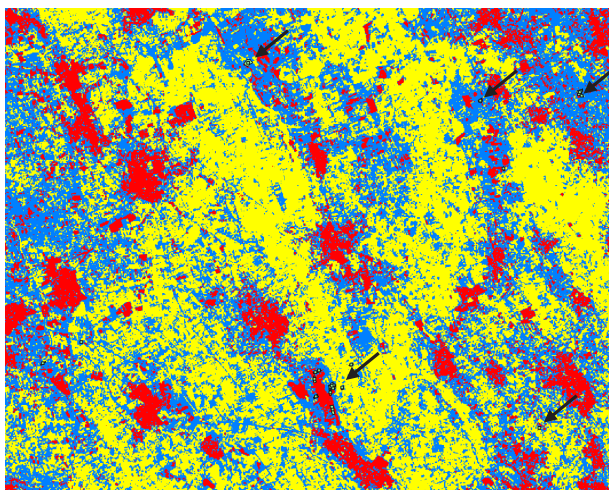


Figura 2 □ Classificazione *unsupervised* anno 2000.  
Legenda: rosso-urbano, giallo-agricolo, blu-naturale

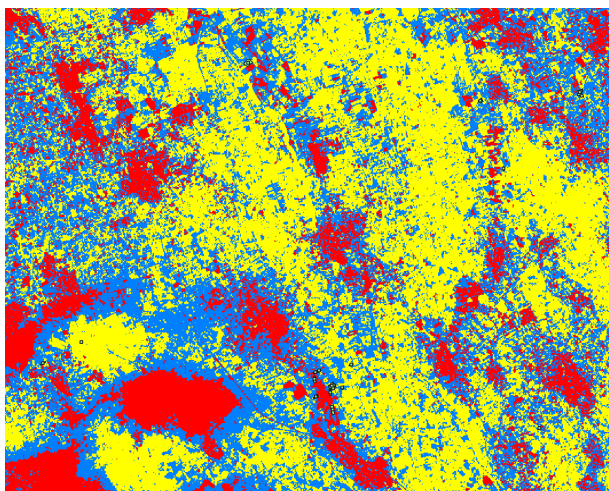


Figura 3 □ Classificazione *unsupervised* anno 2013.  
Legenda: rosso-urbano, giallo-agricolo, blu-naturale

## 2. Image rationing

L'utilizzo degli indici di vegetazione enfatizza le differenze nella risposta spettrale di differenti tipologie di vegetazione e riduce gli impatti della topografia e dell'illuminazione.

La tecnica dell'*image rationing* consiste nel calcolare il rapporto tra DN di pixel corrispondenti di due immagini in differenti momenti temporali. L'individuazione delle soglie di attendibilità è stata fatta tramite il metodo del percentile (Devore, 2004).

Sono dunque stati calcolati i valori dell'indice *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) per entrambe le mappe ed è stato effettuato il rapporto seguendo i dettami di Ilsever et al. (2012). In seguito è stata individuata la soglia di significatività dei valori dei pixel. In Figura 6 sono mostrati i pixel significativi: quelli in verde rappresentano un aumento del valore dell'NDVI, quelli in rosso una diminuzione. Nelle zone interessate dalle discariche ex art. 12 sembrano essere maggiormente diffusi pixel di colore verde proprio ad indicare che la vegetazione diventa più rigogliosa e fitta perché, in genere, tali aree restano indisturbate e lontane dalla mano dell'uomo o comunque sono soggette ad opere di rinaturalizzazione. Di contro le aree rosse rappresentano le aree in cui la vegetazione diminuisce e dunque rappresentano l'espansione urbana con tutte le sua attività connesse: nuove zone industriali, nuove cave, nuove discariche, nuove grandi infrastrutture che potenzialmente celano zone interessate da smaltimenti illeciti di rifiuti.

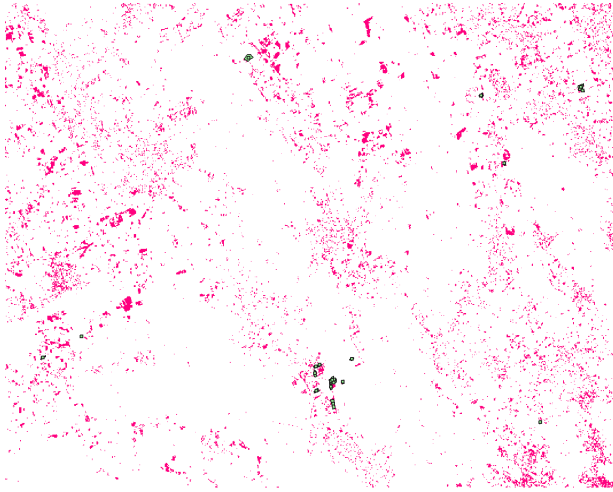


Figura 4 □ Pixel che identificano le zone del territorio ad uso agricolo e/o naturale da uso urbano.

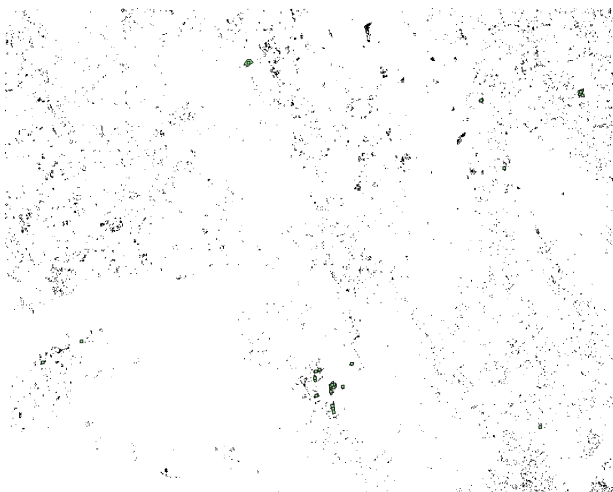


Figura 5 □ Sovrapposizione delle mappe di bontà (valori oltre il 70%) per le diverse classificazioni unsupervised.

### 3. Image regression

Questa tecnica stabilisce una relazione tra due immagini acquisite in differenti date. Con questa tecnica si assume che l'immagine 2013 sia una funzione lineare dell'immagine 2000; con questa ipotesi, possiamo calcolare una stima della prima utilizzando la regressione dei minimi quadrati con questa relazione calcolata:

$$\text{mappa L8 (2013)}^* = 2732.98 + 0.25 \cdot \text{mappa L7 (2000)}$$

In seguito è stata operata una *image differencing* tra  $\text{mappa L8 (2013)}^*$  e  $\text{mappa L8 (2013)}$  ed isolati i pixel significativi. I risultati sono mostrati in Figura 7.

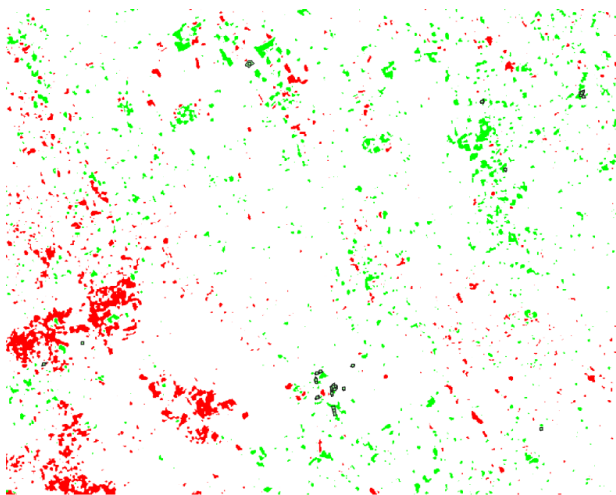


Figura 6 □ Pixel significativi in cui c□ un aumento dell'indice NDVI in verde ed una diminuzione in rosso.

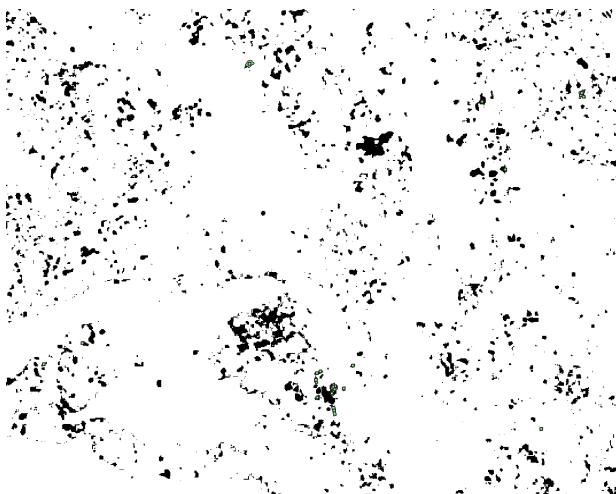


Figura 7 □ Image regression: pixel significativi.

## Discussione

Le tre differenti tecniche hanno portato risultati differenti la cui interpretazione deve necessariamente considerare gli aspetti territoriali presenti, per es. se trattasi di zona oggetto di attività estrattiva (PRAE) o a forte vocazione naturalistica al fine di compiere ulteriori indagini come per esempio la ricerca di possibili zone soggette a smaltimenti illeciti di rifiuti, tombamenti o aperture di cave non autorizzate.

Nel complesso possiamo anche dedurre che il territorio negli ultimi 13 anni si è fortemente trasformato in quanto notiamo (Figura 8) il complessivo aumento di territorio ad uso naturale (forse anche per l'abbandono delle campagne, infatti la maggior parte delle conversioni derivano dal settore agricolo):

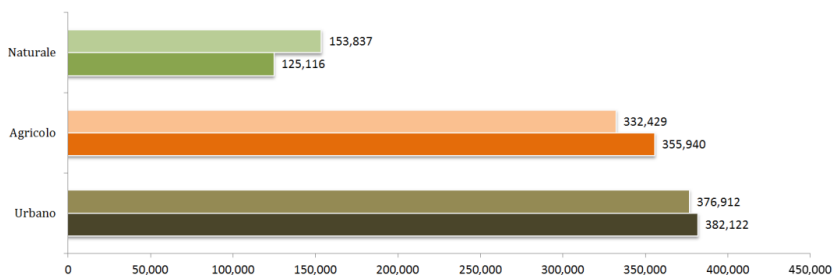


Figura 8 □ Valutazione comparativa dei cambiamenti delle classi di uso del suolo individuate in pixel.  
Legenda: in alto mappa 2013, in basso mappa 2000

La diminuzione di uso del suolo agricolo ed urbano avviene ovviamente a favore di quello naturale, e questa ne è una prova certa. Riportando in valori percentuali le aree di territorio modificato e trasformato, abbiamo in assoluto un 3.33% di territorio naturale guadagnato a fronte di una conversione di 2.72% e 0.60% rispettivamente da agricolo ed urbano. Nel complesso i cambiamenti totali, rapportati in percentuali relative e riferiti alle classificazioni del territorio in tre classi con le mappe Landsat 7 del 2000 e Landsat 8 del 2013 e post classificati con la procedura creata da Pilon et al. (1988) sono mostrati in Figura 9:

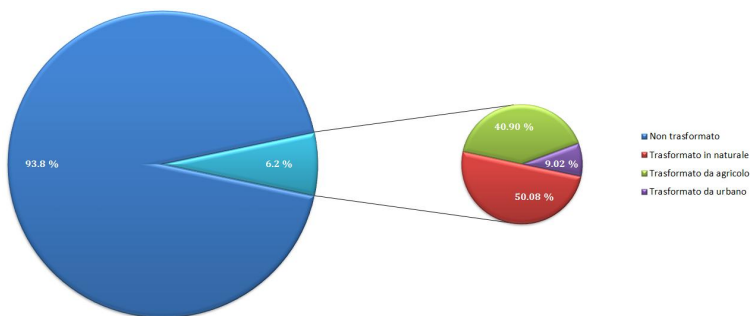


Figura 9 □ Percentuali di variazioni del territorio in riferimento alle porzioni trasformate.

Analizzando dal punto di vista di pixel e di ettari modificati in modo significativo abbiamo riassunto le informazioni nella Tabella 1 al fine di effettuare una comparazione tra i risultati delle differenti tecniche applicate:

Tabella 1 □ Comparazione tra il numero di pixel e di ettari che risultano trasformati a seconda delle tre tecniche applicate.

Confronto	1			2			3		
	celle	ettari	%	celle	ettari	%	celle	ettari	%
Trasformato	13,570	1,221.69	1.57	136,587	12,296.74	15.82	48,669	4,381.60	5.64
Non trasformato	849,608	76,489.08	98.43	726,591	65,414.03	84.18	814,509	73,329.17	94.36
Totale	863,178	77,710.77	100	863,178	77,710.77	100	863,178	77,710.77	100

In seguito si riportano per ragioni di completezza i valori della Kappa analisi indicanti l'accuratezza dei risultati delle tecniche applicate e confrontate con una *reference map*; i dati, mostrati in Tabella 2, si riferiscono a casi riportati in letteratura:

Tabella 2 □ Comparazione dei valori di accuratezza.

Tecnica	Valori Kappa di accuratezza (Berberoglu, 2009)	Valori Kappa di accuratezza (Hafez, 2011)
Image differencing	0.21	0.24
Image rationing	0.086	0.31
Image regression	0.42	-
Post classification	-	0.48

## Risultati

Appare evidente che il territorio vicino tali aree è soggetto a cambiamenti significativi notevoli mostrando il continuo perpetrarsi di attività in tali aree da tempo.

Il maggior numero di pixel significativi è individuato dalla seconda tecnica, mentre la tecnica che ne individua meno è la prima. La terza sembra, inoltre, in grado di aggregare maggiormente le aree significative, ed è proprio questo il risultato maggiormente interessante perché fornisce indicazioni su aree ben definite su cui poter ulteriormente investigare.

Per quel che concerne l'accuratezza dell'indagine riferibile a dati di letteratura i valori elevati ottenibili con la tecnica dell'*image regression* consentono di individuarla come la più appropriata al contesto ambientale di riferimento.

## Conclusioni

Questo studio ha comparato tre differenti tecniche di *change detection* con immagini acquisite dal sensore Landsat al fine di individuare grandi aree di trasformazione del territorio per trarre informazioni su come le aree circostanti le discariche ex art. 12 si stiano modificando nel corso del tempo, per valutare la possibile individuazione di altre aree simili ormai "dimenticate" dalle Amministrazioni e per avere un riferimento sulle zone che potrebbero essere state oggetto di smaltimenti abusivi od utilizzi non autorizzati del suolo. Le soglie di significatività sono state individuate con il metodo del percentile.

Delle tre tecniche quella di *image regression* sembra identificare con maggior aggregazione i pixel modificati a differenza dell'*image classification* e *post-classification* che fornisce una mappa più diffusa dei cambiamenti e dunque rende un po' più difficile l'individuazione di grandi aree che dovrebbero essere soggette a successivi approfondimenti.

I riscontri futuri sul territorio permetteranno di creare i presupposti per l'implementazione di un algoritmo, magari da utilizzarsi nell'ambito di reti neurali in grado di riconoscere con maggior certezza le sole aree interessate da discariche ex art. 12. Ovviamente con ciò non si preclude la possibilità di essere in grado di identificare altre componenti del suolo che al giorno d'oggi non è possibile discriminare.



### Riferimenti bibliografici

Berberoglu S., Akin A., Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern Mediterranean, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 11, Issue 1, February 2009, Pages 46-53, ISSN 0303-2434, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2008.06.002>.

Devore, J.: Probability and Statistics for Engineering and Sciences. 6 edn. Thompson (2004)).

Jensen J.R, *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Second ed., Prentice-Hall, 1996, 316.

Griffiths, G.H.: Monitoring urban change from Landsat TM and Spot satellite imagery by image differencing. In: Proceedings of the 1988 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, vol. 1, (1988)

Hafez A. Afify, Evaluation of change detection techniques for monitoring land-cover changes: A case study in new Burg El-Arab area, *Alexandria Engineering Journal*, Volume 50, Issue 2, June 2011, Pages 187-195, ISSN 1110-0168, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2011.06.001>.

Murat Ilsever and Cem Unsalam (2012). *Two-Dimensional Change Detection Methods. Remote Sensing Applications*. SpringerBriefs in Computer Science. Springer

Pilon, P.G., P.J. Howarth, R.A. Bullock, and P.O. Adeniyi, 1988. "An enhanced classification approach to change detection in semi-arid environments", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 54(12):1709-1716.

Ridd M.K., J. Liu, "A Comparison of Four Algorithms for Change Detection in an Urban Environment", *Remote Sensing of Environment* 63 (1998) 95–100.