

Classificazioni di uso del suolo con Reti Neurali su serie storica di dati LANDSAT della Puglia settentrionale

Antonio Novelli

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica (DICATECH)
Politecnico di Bari, via Orabona 4, 70126 Bari (BA) – Italy,
Tel: +39 080 5963417, e-mail: antonio.novelli@poliba.it

Riassunto

L'analisi dei cambiamenti dell'uso del suolo nel tempo è un tema di grande interesse per la comunità scientifica coinvolta nella gestione della dicotomia tra tutela del territorio e sviluppo economico sostenibile. In risposta a ciò, le attuali tecnologie satellitari sono la connessione fra necessità di aggiornamento cartografico periodico e disponibilità di informazioni ufficiali di riferimento.

Il programma LANDSAT, gestito congiuntamente dalla NASA e dall'USGS, ha prodotto dal 1972 in poi, nel telerilevamento civile, il più vasto archivio di immagini satellitari per lo studio dei cambiamenti ambientali.

Nel presente lavoro si sono acquisite e processate sei scene LANDSAT (per gli anni 1984,1987, 2001, 2003, 2009, 2011) ricoprenti un arco temporale di 27 anni, appropriato per effettuare classificazioni di uso del suolo multi-temporali. L'area di studio, localizzata a nord della Puglia, è stata classificata mediante Reti Neurali Artificiali poiché in letteratura scientifica sono considerate uno strumento efficace nel trattamento di serie storiche di immagini satellitari, anche in casi di carenza di dati di verità a terra. Le reti neurali possono essere implementate mediante calcoli multi-tread e, una volta addestrate, mostrano la capacità di stimare relazioni non lineari fra dati di input e dati target (output). Inoltre, sono in grado di generalizzare, ovvero di fornire risultati robusti, anche in risposta a dati di input caratterizzati da informazioni incomplete, affetti da errori o imprecisioni.

Abstract

The analysis of the land use changes is a topic of great interest for the scientific community handling the dichotomy between environmental protection and sustainable economic development of the territory. In response to this, existing satellite technologies are the connection between the need of periodic cartographic updating and availability of official references.

The LANDSAT program, managed by NASA and USGS, has been acquiring since 1972 the largest archive of images for the study of environmental change (remote sensing for civil purposes).

In this case of study, were collected and processed six scenes covering a period of twenty-seven years (years 1984,1987, 2001, 2003, 2009, 2011), appropriate for multi-temporal land use and land cover (LULC) classifications. The study area, located in the northern Apulia, was classified by means of Artificial Neural Network (ANN) since this approach has been considered an effective instrument in the time series processing of satellite images, even in case of ground truth lack. ANNs can be implemented by parallel computation and, after training, they show the ability to estimate non-linear relationship between input and desired output (targets). Additional superior advantages include the generalization capability, that is the capability to provide robust results, even with incomplete inputs characterized by partial information or affected by errors or inaccuracies.

Introduzione

Il *Remote Sensing* e i dati basati su rilevamenti satellitari hanno il potenziale per fornire una base informativa geospaziale aggiornata a supporto del monitoraggio del territorio (Crocetto e Tarantino, 2009; Figorito *et al.*, 2012). Molti casi di studio testimoniano che l'archivio dei dati LANDSAT è utilizzato in molte discipline come strumento per conseguire una migliore comprensione della superficie terrestre e dell'impatto umano sull'ambiente (Güler *et al.*, 2007; Kidane *et al.*, 2012; Karaburun *et al.*, 2010; Telesca *et al.*, 2009; Nolè *et al.*, 2012; Minale and Rao, 2012; Hadeel *et al.*, 2010). Le caratteristiche dello strumento (30 m di risoluzione spaziale per VIR / NIR e 120 m per TIR, 185 km di *swath width*, 16 giorni di risoluzione temporale) sono intenzionalmente tarate per rilevare i processi che interessano la superficie terrestre a scala locale e regionale (NASA_Space_Flight_Center).

L'utilizzo dell'approccio delle Reti Neurali Artificiali, nei problemi di classificazione, è pratica ormai consolidata (Weng, 2009): i vantaggi derivanti dal loro utilizzo (natura non parametrica, regione di decisione arbitraria, l'adattamento a diversi tipi di strutture di dati e di input, valori di output *fuzzy*) (Paola and Schowengerdt, 1995; Aquilino *et al.*, 2013) hanno determinato la preferenza, nel seguente studio, di tale modello.

Nel seguente caso di studio sei scene LANDSAT TM/ETM+ (*Thematic Mapper / Enhanced Thematic Mapper Plus*) sono sottoposte a classificazione mediante l'utilizzo delle Rete Neurali Artificiali. Al fine di esaltare il contenuto informativo implicitamente presente al loro interno si è deciso di ricavare, per ogni scena originale, nove bande sintetiche da usare come input per il processo di classificazione.

Dati e Metodi

Per il presente lavoro si sono esaminate le serie storiche del *Thematic Mapper* (TM) del LANDSAT 5 e dell'*Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) del LANDSAT 7 in quanto accomunate da medesima risoluzione radiometrica, spettrale e geometrica (per la quota parte multispettrale della sensoristica messa a disposizione). Le scene risultate compatibili sono sei, di cui tre ricadenti nel periodo estivo (27/06/1984, 18/07/2003, 22/06/2011) e le restati in quello tardo primaverile (anni 19/05/1987, 01/05/2001, 16/06/2009). Come input di classificazione, relativo ad ogni scena, si è scelto di convertire gli originali valori di riflettanza in valori "sintetici" in grado di esibire un'augmentata separabilità spettrale nel processo iterativo di individuazione dalla legenda.

Area di studio

Il caso di studio ha riguardato l'area del Gargano, dei bacini del Candelaro, Cervaro, Carapelle e buona parte dell'area relativa alle saline di Margherita di Savoia e del bacino dell'Ofanto. La prevalente attività agricola rende il territorio estremamente frammentato nella quota parte interessata dal Tavoliere delle Puglie. Complessità territoriale è presente anche sul territorio del Gargano sul quale coesistono ben cinque distretti geologico-morfologici (PTCP della Provincia di Foggia).

Pre-elaborazioni

Il pre-processamento è richiesto per ottenere i dati in una forma utilizzabile per analisi quantitative e per migliorare la comparabilità spaziale (Foody *et al.*, 2003). Come *step* iniziale la scena è stata corretta radiometricamente, mediante procedure consolidate in letteratura, per ottenere dal dato LANDSAT i valori di riflettanza extra-atmosferica (Chander *et al.*, 2009). Tutte le scene sono state in seguito sottoposte a normalizzazione radiometrica (Smith e Milton, 1999; Schroeder *et al.*, 2006; Tarantino *et al.*, 2008).

Al fine di esaltare il contenuto informativo implicitamente presente in ogni scena si sono utilizzati la banda termica, gli indici di vegetazione e si è ricorso a tecniche di riduzione di dimensionalità del dato. I risultati di tali elaborazioni sono stati utilizzati come input per il processo di classificazione.

Si è scelto di utilizzare la banda termica al fine di aggiungere un ulteriore discriminante per quelle superfici particolarmente sensibili alle variazioni di temperatura. Le tecniche di riduzione di dimensionalità del dato sono state utili per preservare l'intero contenuto informativo in un ristretto numero di bande (come per l'analisi delle componenti principali e la *tasseled cap*). L'utilizzo degli indici di vegetazione deriva dal proposito di voler discriminare sia gli stadi della vegetazione presente che le principali tipologie.

Definizione della legenda

L'informazione di *ground-truth* relativa alla sei scene è stata tratta dagli strumenti messi a disposizione dal software Google Earth (fino al 2003) e per le date precedenti si è fatto riferimento ad evidenze e testimonianze di natura storica-economica. La definizione della legenda è avvenuta mediante un processo iterativo partito dall'analisi dell'UDS 2006 della Regione Puglia (Carta Regionale di Uso del Suolo) e validato, classe per classe, mediante analisi di separabilità. In Figura 1 sono scritte le classi individuate.

0. Clouds/ unclassified zones.	7. Olive grow or Orchard.
1. Bare soil with high reflectance in RGB channels.	8. Built-up Area.
2. Arable Crop (e.g. cereals; forage; grains; tomato; cabbage); including vineyard; with senescent or low density planting.	9. Arable Crop (e.g. cereals; forage; grains; tomato; cabbage); including vineyard; with high leaf area.
3. Shrub and low density orchard.	10. Forest (broadleaved and coniferous).
4. River channel and wetland.	11. Marsh.
5. Orchard or vegetation.	12. Salt plane.
6. Greenhouse or plastic cover vineyard.	13. Lake.

Figura 1 - Legenda implementata per le sei scene analizzate.

Analisi di separabilità spettrale

L'analisi di separabilità è una procedura usata nei problemi di *pattern recognition* per verificare se la dimensionalità del dato posseduto sia statisticamente sufficiente per gli scopi prefissi (Yektai e Bhattacharya, 2011). Il suo utilizzo è necessario data l'impossibilità di trovare manualmente dei pixel che possano considerarsi *end-member* realistici delle classi precedentemente elencate. Nel presente lavoro è stata eseguita servendosi della distanza di *Jeffries-Matusita* (JM) (Bruzzone et al., 1995) la cui espressione implementata mediante il software ENVI[®] consiste nella seguente formulazione matematica:

$$JM = 2(1 - e^{-B}) \quad [6]$$

Con B distanza di *Bhattacharya*. La distanza di JM, dalle prove fatte, è risultato il parametro più severo (rispetto, ad esempio, alla divergenza trasformata che presenta caratteristiche simili). L'incremento di separabilità mediato su tutte le classi è dell'8.15% con punta massima su singola classe del 57% (esibito dalla classe 7 nei riguardi della classe 5).

Dati di training e verifica

La selezione dei pixel utilizzati per il training della rete neurale e per le verifiche di accuratezza è avvenuta mediante un campionamento stratificato e casuale (Congalton, 1991) di 1000 pixel per classe (per scena), per la procedura di training, e di 150 pixel per classe, per le procedure di verifica dell'accuratezza. La validità dei pixel è stata verificata tramite il software Google Earth (fino al 2003) e basandosi su testimonianze di natura storico-economica per le date precedenti.

Reti neurali implementate

In questo studio è stata implementata un'architettura di rete neurale che va sotto il nome *Feed-Forward Backpropagation Neural Network*, usata comunemente per risolvere problemi di *pattern recognition*. Il numero di neuroni e di strati nascosti è uguale per tutte e sei le scene. Il modello è stato implementato mediante l'utilizzo del software Matlab[®]. In Figura 2 si fornisce una rappresentazione schematica dell'architettura di rete fornita dal software stesso: benché sintetica, in essa sono presenti tutti gli elementi distintivi del modello usato.

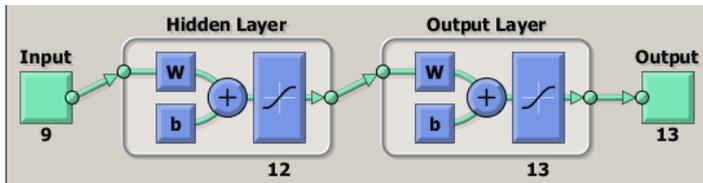


Figura 2 - Architettura di rete relativa all'input costituito da bande sintetiche.

Tra i vari algoritmi di training la scelta è ricaduta sull'algoritmo *Trainscg* (Møller, 1993) il quale ricade nella categoria di algoritmi altamente performanti nel caso di un grande numero di pesi. In particolar modo i dataset di input-target (**I-T**) sono stati organizzati in maniera tale da generare (con estrazione random a percentuali predefinite) tre set di dati di cui il 70% dei vettori I-T viene usato per addestrare la rete, il 15% dei vettori I-T sono usati per validare la capacità di generalizzazione della rete (l'addestramento sul primo set continua fino a quando l'errore relativo al secondo set non viene ridotto al fine di ridurre il problema dell'overfitting), il 15% dei vettori I-T sono usati per effettuare un altro test di generalizzazione della rete su dati che la stessa non ha processato nell'addestramento.

Risultati e accuratezza

Il *training* delle reti neurali (una per scena) ha prodotto elevati gradi di convergenza e nella Tabella 1 se ne riportano i dati fondamentali.

Year	Best validation Performance	Epoch
2011	0.004165	1712
2009	0.0022218	662
2003	0.0014576	829
2001	0.002671	1226
1987	0.004165	1712
1984	0.0035561	2430

Tabella 1 - Risultati dell' addestramento delle reti neurali.

Un esempio di restituzione del processo di classificazione è mostrato in Figura 3. Le analisi di accuratezza hanno lo scopo di mostrare l'affidabilità delle classificazioni eseguite avendo come base di analisi i 150 pixel per classe estratti mediante un campionamento stratificato (dove gli strati sono le classi). Il parametro preso a confronto, con riferimento alle *confusion matrix* ricavate per ogni scena, è l'*Overall Accuracy* (Brivio et al., 2006) in quanto il *Kappa Coefficient* è ritenuto meno rappresentativo (Pontius Jr e Millones, 2011): nella Figura 6 si riportano tali dati.

Year	2011	2009	2003	2001	1987	1984
Overall Accuracy [%]	89	88	86	88	80	79

Tabella 2 - Overall Accuracy come stima dell'accuratezza della classificazione per ogni scena.

Conclusioni

Il caso di studio ha avuto come input il dato LANTSAT (TM ed ETM+) e ha mostrato come sia possibile, con ben tredici classi, ottenere elevati valori di accuratezza nel processo di classificazione. Buona parte del merito è da ascrivere all'utilizzo congiunto del modello di rete neurale con bande *sintetiche*, costituite da indici e trasformate in grado di esaltare il contenuto informativo implicitamente presente nel dato.

Sviluppi futuri riguardano un miglioramento della calibrazione interscena (Schroeder et al., 2006) e l'utilizzo di modelli di classificazione più evoluti per poter parlare quantitativamente, con un determinato grado di accuratezza, di *change detection*.

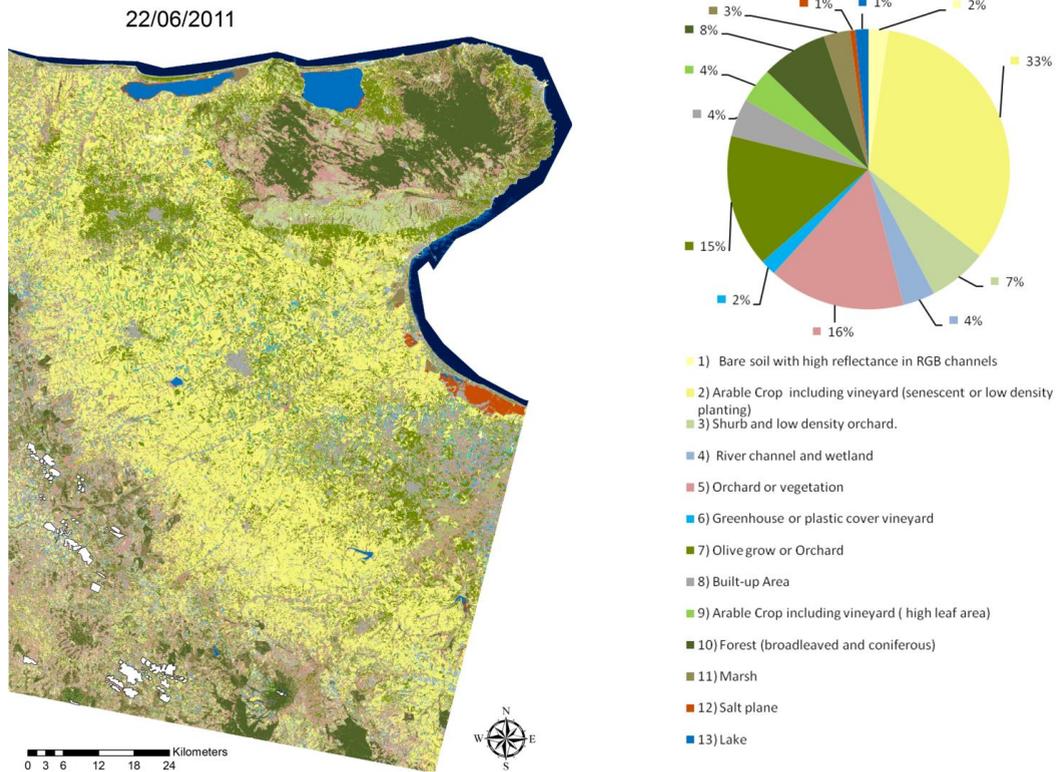


Figura 3 - Restituzione del processo di classificazione, ottenuto mediante "hardenizzazione" delle tredici mappe soft prodotte per ogni classificazione, con percentuali di aree occupate dalle singole classi (scena LANDSAT TM del 22/06/2011).

Bibliografia

- Aquilino, M., Tarantino, E., Fratino, U., 2013. Multi-Temporal Land Use Analysis of AN Ephemeral River Area Using AN Artificial Neural Network Approach on Landsat Imagery. ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 1, 167-173.
- Brivio, P.A., Zilioli, E., Lechi, G.L., 2006. Principi e metodi di telerilevamento. CittàStudi.
- Bruzzone, L., Roli, F., Serpico, S.B., 1995. An extension of the Jeffreys-Matusita distance to multiclass cases for feature selection. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on 33, 1318-1321.

- Chander, G., Markham, B.L., Helder, D.L., 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment* 113, 893-903.
- Congalton, R.G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote sensing of environment* 37, 35-46.
- Crocetto, N., Tarantino, E., 2009. A Class-Oriented Strategy for Features Extraction from Multidate ASTER Imagery. *Remote Sensing* 1, 1171-1189.
- Figorito, B., Tarantino, E., Balacco, G., Fratino, U., 2012. An object-based method for mapping ephemeral river areas from WorldView-2 satellite data. *SPIE Remote Sensing. International Society for Optics and Photonics*, pp. 85310B-85310B-85319.
- Foody, G.M., Boyd, D.S., Cutler, M.E.J., 2003. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. *Remote Sensing of Environment* 85, 463-474.
- Güler, M., Yomralıoğlu, T., Reis, S., 2007. Using landsat data to determine land use/land cover changes in Samsun, Turkey. *Environmental monitoring and assessment* 127, 155-167.
- HADEEL, A., JABBAR, M. T. & CHEN, X. 2010. Environmental change monitoring in the arid and semi-arid regions: a case study Al-Basrah Province, Iraq. *Environmental monitoring and assessment*, 167, 371-385
- Karaburun, A., Demirci, A., Suen, I.-S., 2010. Impacts of urban growth on forest cover in Istanbul (1987–2007). *Environmental monitoring and assessment* 166, 267-277.
- Kidane, Y., Stahlmann, R., Beierkuhnlein, C., 2012. Vegetation dynamics, and land use and land cover change in the Bale Mountains, Ethiopia. *Environmental monitoring and assessment* 184, 7473-7489.
- Minale, A.S., Rao, K.K., 2012. Impacts of land cover/use dynamics of Gilgel Abbay catchment of Lake Tana on climate variability, Northwestern Ethiopia. *Applied Geomatics* 4, 155-162.
- Møller, M.F., 1993. A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning. *Neural networks* 6, 525-533.
- NASA_Space_Flight_Center, Landsat-7 Science Data User's Handbook.
- Nolè, G., Danese, M., Murgante, B., Lasaponara, R., Lanorte, A., 2012. Using spatial autocorrelation techniques and multi-temporal satellite data for analyzing urban sprawl. *Computational Science and Its Applications–ICCSA 2012*. Springer, pp. 512-527.
- Paola, J., Schowengerdt, R., 1995. A review and analysis of backpropagation neural networks for classification of remotely-sensed multi-spectral imagery. *International Journal of remote sensing* 16, 3033-3058.
- Pontius Jr, R.G., Millones, M., 2011. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing* 32, 4407-4429.
- Schroeder, T.A., Cohen, W.B., Song, C., Canty, M.J., Yang, Z., 2006. Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon. *Remote Sensing of Environment* 103, 16-26.
- Smith, G.M., Milton, E.J., 1999. The use of the empirical line method to calibrate remotely sensed data to reflectance. *International Journal of Remote Sensing* 20, 2653-2662.
- Tarantino, E., Figorito, B., Caprioli, M., 2008. Comparison of Radiometric Calibration Methods for Change Detection Analysis on LANDSAT ETM+ and ASTER Data. *BULLETIN OF GEODESY AND GEOMATICS* 2, 89-106.
- Telesca, L., Coluzzi, R., Lasaponara, R., 2009. Urban pattern morphology time variation in Southern Italy by using Landsat imagery. *Geocomputation and Urban Planning*. Springer, pp. 209-222.
- Weng, Q., 2009. *Remote sensing and GIS integration: theories, methods, and applications*. McGraw-Hill New York.
- Yektaii, M., Bhattacharya, P., 2011. A criterion for measuring the separability of clusters and its applications to principal component analysis. *Signal, Image and Video Processing* 5, 93-104.