

Monitoraggio dell'umidità dei suoli per un corretto uso delle risorse idriche

Andrea Lugli (*), Alessandro Seravalli (*), Michele Solmi (**),
Davide Rondini (**), Ilihc Ghinello (**), Luca Boni (**)

(*) Geo-SmartLab-SIS.TER, via Selice 84a Imola (BO), tel. 0542.364030, fax 0542.367917
e-mail a.seravalli@sis-ter.it

(**) Consorzio della Bonifica Renana, via S. Stefano, 56 (BO), tel. 051.295111, fax 051.295270
e-mail segreteria@bonificarenana.it

Riassunto

Nella nota si riporta il confronto dei risultati ottenuti con due diverse metodologie per l'estrazione del dato di umidità superficiale del suolo da immagini satellitari Landsat 8: tasseled cap e soil moisture index. L'area campione considerata è ricompresa nel distretto di pianura del Consorzio della Bonifica Renana, in provincia di Bologna e Ferrara. La validazione è avvenuta in ambiente GIS tramite confronto con misure igrometriche effettuate in campo e con i dati relativi alle previsioni di irrigazione forniti dal Consorzio di Bonifica. La finalità è quella di sviluppare uno strumento per il monitoraggio areale dell'umidità del suolo, parametro ambientale importante per dimensionare in maniera appropriata le pratiche irrigue.

Abstract

This note is about the comparison of the results obtained with two different methods for surficial soil moisture extraction from Landsat 8satellite imagery: tasseled cap and soil moisture index. The considered sample area is included in the plain district of the Consorzio della Bonifica Renana (a land reclamation and drainage authority), in the province of Bologna (Italy). Results validation took place in GIS environment by comparison with soil moisture in field gauges and with data on planned irrigations provided by Bonifica Renana. The aim is to develop a tool for monitoring areal soil moisture, which represents an environmental parameter important to appropriately size irrigation.

Introduzione

Il Consorzio della Bonifica Renana svolge il compito di garantire un approvvigionamento idrico ed una azione preventiva e manutentiva del territorio di pianura e di montagna garantendo ad esempio agli agricoltori benefici irrigui. Nell'ambito di un ampio processo di informatizzazione il Consorzio ha messo a punto procedure volte a monitorare e verificare le modalità d'uso della risorsa idrica in comparazione al consiglio irriguo. La prima fase del progetto ha richiesto un interfacciamento con gli agricoltori al fine di ottenere tutte le informazioni culturali necessarie alla previsione delle necessità irrigue e, conseguentemente, alla gestione delle criticità.

Il presente lavoro si inserisce nella definizione di un metodo e di un sistema volto ad accertare la veridicità delle dichiarazioni irrigue, al fine di individuare le superfici non dichiarate.

Per rispondere a queste esigenze si è sperimentato un monitoraggio da satellite, individuando Landsat 8 come sensore più appropriato in quanto le scene sono rese disponibili gratuitamente dal Servizio Geologico degli Stati Uniti (USGS) anche per applicazioni commerciali. Da un punto di vista metodologico per questo tipo di monitoraggio come tecnica sarebbe stata senz'altro più indicata la polarimetria SAR (Synthetic Aperture Radar) da satellite, sia per la maggiore attendibilità dei risultati sia perchè, trattandosi di un sensore attivo, la presenza di nuvole non

impedisce il processamento. Al momento le scene SAR polarimetriche presentano ancora costi non indifferenti, soprattutto per applicazioni a larga scala e con ripetizioni abbastanza ravvicinate nel tempo. Il dataset Landsat 8 che si è processato è costituito da 5 scene, acquisite durante la stagione irrigua 2015, da maggio a luglio. Queste scene sono caratterizzate da una risoluzione temporale di 16 giorni e da uno spacing variabile a seconda delle diverse bande, in particolare di 30 m nel multispettrale e di 100 m nelle due bande acquisite nell'infrarosso termico (TIR, thermal infrared), comunque adeguata per questo tipo di applicazione (si consideri che nell'area d'interesse la superficie media dei singoli appezzamenti è di circa 3.5 ha).

L'area campione nella quale è stata condotta la sperimentazione è rappresentata dal distretto di pianura del Consorzio della Bonifica Renana, in provincia di Bologna. Quest'area si estende per una superficie di 1327 kmq ed è prevalentemente caratterizzata da colture seminate (grano, barbabietola, mais, medica, patata).

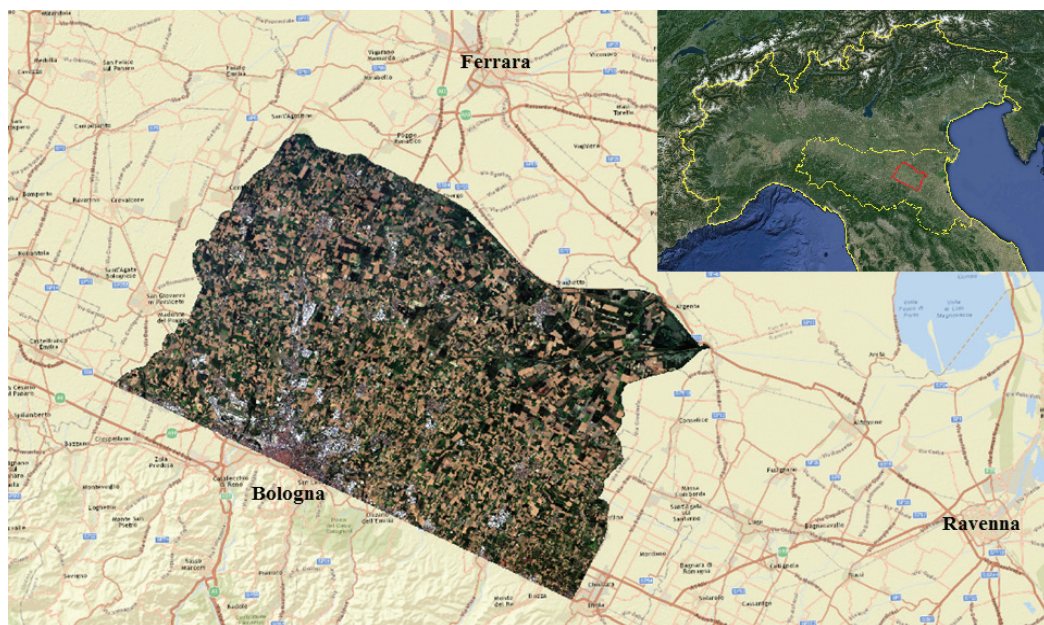


Figura 1 - Clip di un'immagine Landsat 8 in corrispondenza dell'area d'interesse, corrispondente al distretto di pianura del Consorzio della Bonifica Renana, in provincia di Bologna.

Tra le diverse scene disponibili nel periodo considerato si scelto di processare solo quelle che nell'area d'interesse presentavano la copertura nuvolosa minore possibile e che non erano state precedute da precipitazioni importanti nei cinque giorni precedenti l'acquisizione: trattandosi infatti di una sperimentazione finalizzata al controllo dell'irrigazione è importante che l'umidità del suolo agricolo non dipenda anche dalle precipitazioni.

Tasseled Cap e Soil Moisture Index

Si sono considerati due tra gli indici più utilizzati per l'estrazione del dato di umidità superficiale del suolo da immagini satellitari multispettrali, tasseled cap transformation (TCT) e soil moisture index (SMI) (per una rassegna dei diversi metodi si veda ad esempio Wang, Qu, 2009). Ad oggi non sono ancora disponibili tool specifici per il calcolo di questi indici per Landsat 8 e quindi si sono implementate apposite routine in IDL (Exelis VIS) e Matlab (MathWorks). Per quanto riguarda TCT i coefficienti necessari per il calcolo della trasformazione per immagini Landsat 8 sono stati

tratti da Baig et al. 2014. Si sono considerate le tre componenti principali della trasformazione, brightness, greenness e wetness:

- brightness, traducibile in italiano come intensità di radianza (Gomasca, 2004), esprime la riflettanza complessiva del suolo;
- greenness (indice di verde), è associata al contenuto di verde della vegetazione;
- wetness (indice di umidità), è collegata all'umidità e alla presenza di acqua

Da precisare che la combinazione di queste tre componenti della trasformazione non costituisce un vero e proprio indice di umidità del suolo, per quanto sia strettamente legata a questo parametro: si è analizzata la TCT più che altro per la validazione incrociata del dato ricavato dal SMI che si è implementato. Negli anni in letteratura sono stati pubblicati diversi tipi di indici che consentono di estrarre il dato di umidità del suolo a partire da immagini multispettrali, sostanzialmente tutti appartenenti a quella famiglia di algoritmi che in letteratura è nota come 'metodo del triangolo' (Carlson, 2007).

In particolare questa definizione è dovuta alla caratteristica forma assunta dal grafico NDVI/TIR, che appunto ricorda quella di un triangolo (figura 2). Il SMI che si è implementato (Brooks et al. 2009) può essere considerato una variante del TVDI (Temperature-Vegetation Dryness Index, in Sandholt et al. 2002) e si calcola come:

$$SMI = \frac{T_{s_{max}} - T_s}{T_{s_{max}} - T_{s_{min}}} \quad [1]$$

dove T_s è la temperatura superficiale di ogni pixel della banda TIR (TIR1 o TIR2), $T_{s_{min}}$ e $T_{s_{max}}$ corrispondono invece all'equazione delle due rette che ne definiscono il comportamento in funzione dell'NDVI, rappresentate in figura 2 rispettivamente come wet edge e dry edge:

$$\begin{aligned} T_{s_{max}} &= a_1 * NDVI + b_1 \\ T_{s_{min}} &= a_2 * NDVI + b_2 \end{aligned} \quad [2]$$

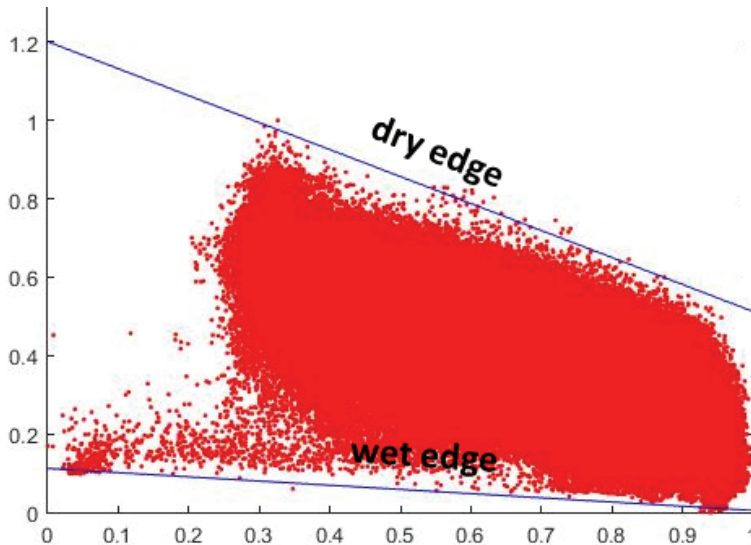


Figura 2 - Grafico NDVI-TIR. Entrambe le grandezze sono normalizzate, NDVI in ascissa, TIR in ordinata.

I coefficienti dell'equazione delle rette sono ricavati tramite regressione lineare considerando i punti che definiscono gli estremi inferiore e superiore della "frontiera" che racchiude lo spazio NDVI/TIR. L'indice che si ottiene come risultato è sempre compreso tra 0 e 1, corrispondenti rispettivamente a secco e umido. Nonostante non fosse strettamente necessario si è preferito considerare grandezze normalizzate (sia T_s che NDVI), in modo da evitarne la dipendenza dalle condizioni ambientali della specifica acquisizione (Carlson, 2007) e riuscire a confrontare i risultati relativi ad immagini differenti.

Inoltre, considerando grandezze normalizzate, non si sono osservate differenze significative tra i risultati ottenuti con le due bande dell'infrarosso termico (TIR1 e TIR2) di Landsat 8.

Tra le operazioni propedeutiche, oltre alla calibrazione e al ricampionamento del TIR a 30 m, si ricorda che per evitare di falsare la definizione dello spazio NDVI/TIR è necessario mascherare sia le nuvole (rispetto ad una soglia individuata immagine per immagine) che le acque (corsi d'acqua, aree bagnate, stagni e fossi).

Validazione

La validazione dei risultati ottenuti è avvenuta in ambiente GIS tramite confronto con misure igrometriche effettuate in campo e con i dati relativi alle previsioni di irrigazione forniti dal Consorzio di Bonifica. Ogni campagna di misure igrometriche è constata di almeno una decina di rilevazioni, in più siti per i diversi tipi di coltura. Le rilevazioni sono state effettuate nelle ore a cavallo dell'acquisizione delle immagini, utilizzando un igrometro WatchDog con sonda WaterScout SM100 (Spectrum Technologies).

Per ogni sito si sono effettuate misure a tre profondità diverse rispetto al piano di campagna, 5 cm, 10 cm e 15 cm, cercando il più possibile di inserire la sonda orizzontalmente in una delle pareti dello scasso praticato nel terreno, in modo da evitare l'effetto di un gradiente verticale nella rilevazione (figura 3). Considerare misure igrometriche a differenti profondità è funzionale a chiarire il significato di "umidità superficiale", ad esempio, nel caso di colture seminate e di terreni incolti, il dato rilevato da satellite è da riferire ad una profondità di 5-10 cm dal piano di campagna. Rimane da indagare in maniera più approfondita il comportamento osservato per le colture arboree (es. frutteto a foglia larga con interfalari stretti): qui il dato potrebbe riferirsi anche a strati più profondi (la cosiddetta "root zone", zona delle radici, compresa tra i 15 e 200 cm) in quanto, essendo il SMI sostanzialmente una funzione dell'NDVI, riflette la rigogliosità della pianta e quindi la disponibilità di acqua a livello delle radici.

Per via della relativa scarsità dei dati ad oggi disponibili per il momento non è ancora possibile effettuare in maniera robusta una validazione su base statistica rispetto alle misure igrometriche ed esprimere il grado di corrispondenza tramite un indice di correlazione.



Figura 3a - Scasso praticato nel terreno per l'inserimento della sonda igrometrica.



Figura 3b - Sonda igrometrica inserita nel terreno ad una profondità di circa 5 cm dal piano di campagna.

E' comunque possibile affermare che il dato rilevato da satellite (sia tramite SMI che TCT) trova in generale una buona corrispondenza con le misure igrometriche e i sopralluoghi effettuati.

Inoltre, sempre in ambiente GIS, si è considerata la correlazione tra il dato rilevato e le caratteristiche pedologiche dei terreni, in particolare il contenuto percentuale di argilla (Regione Emilia-Romagna, 2007), che rappresenta il fattore più importante nel determinarne la maggiore o minore permeabilità e quindi la capacità di trattenere l'acqua. Per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici, trattandosi di un territorio pianeggiante l'effetto del gradiente topografico nel determinare variazioni locali dell'umidità superficiale è del tutto trascurabile. A livello tettonico la presenza in parte dell'area d'interesse di un sistema di anticlinali e sinclinali ("pieghe ferraresi") parrebbe non avere alcun riscontro riconoscibile nelle variazioni spaziali di umidità superficiale (non è in generale chiaramente riconoscibile alcun pattern spaziale a "bassa frequenza"). Verifiche sono al momento ancora in corso per quanto riguarda un'eventuale correlazione con il sistema delle falde e con l'altezza presentata dalla falda epidermica in corrispondenza delle acquisizioni.

All'interno del progetto, il Consorzio della Bonifica Renana ha integrato anche il consiglio irriguo di Irrinet (Mannini et. al., 2013), il quale fornisce un'informazione direttamente all'agricoltore indicando tempi e volumi di adacquamento.

Questi consigli irrigui sono generalmente seguiti ed è quindi presumibile che le colture per le quali si è data indicazione di irrigare poi lo siano state effettivamente. Nonostante la verità a terra sia rappresentata dalle misure igrometriche anche queste informazioni (accessibili in via telematica e per questo molto meno costose da reperire) possono quindi rappresentare un elemento di validazione, per quanto indiretta. Si sono considerati come probabilmente irrigati quegli appezzamenti con una coltura irrigua nel periodo d'osservazione e con una tipologia di impianto di irrigazione "a pioggia" sul terreno (il cui apporto di acqua è senz'altro più facilmente rilevabile rispetto a quello degli impianti "a goccia"). Questa metodologia di validazione è ancora da affinare in quanto non sono pochi i casi di mancata corrispondenza, a volte anche in contraddizione con le misure igrometriche effettuate.

Risultati

A livello di validazione incrociata si osserva sostanzialmente un buon accordo tra i risultati ottenuti con TCT e SMI, nonostante quest'ultimo metodo consenta di apprezzare con una sensibilità maggiore le variazioni di umidità a livello spaziale (figura 4).

Le colture che nel periodo di acquisizione delle immagini non erano irrigate (ad esempio vite) risultano sempre meno umide di quelle che invece si trovavano nella loro fase irrigua (es. patate).

Una volta validato, il valore del soil moisture index è stato associato con una procedura GIS alla sagoma delle particelle agricole precedentemente estratte dalla segmentazione di ortofoto effettuata utilizzando il software eCognition (Trimble). Le ortofoto che sono state segmentate, rese disponibili dalla Regione Emilia Romagna, sono di qualche anno precedenti (volo Agea 2011, pixel 50 cm) alle immagini satellitari ma i cambiamenti intercorsi nella suddivisione fondiaria sono sostanzialmente trascurabili ai fini di questa indagine.

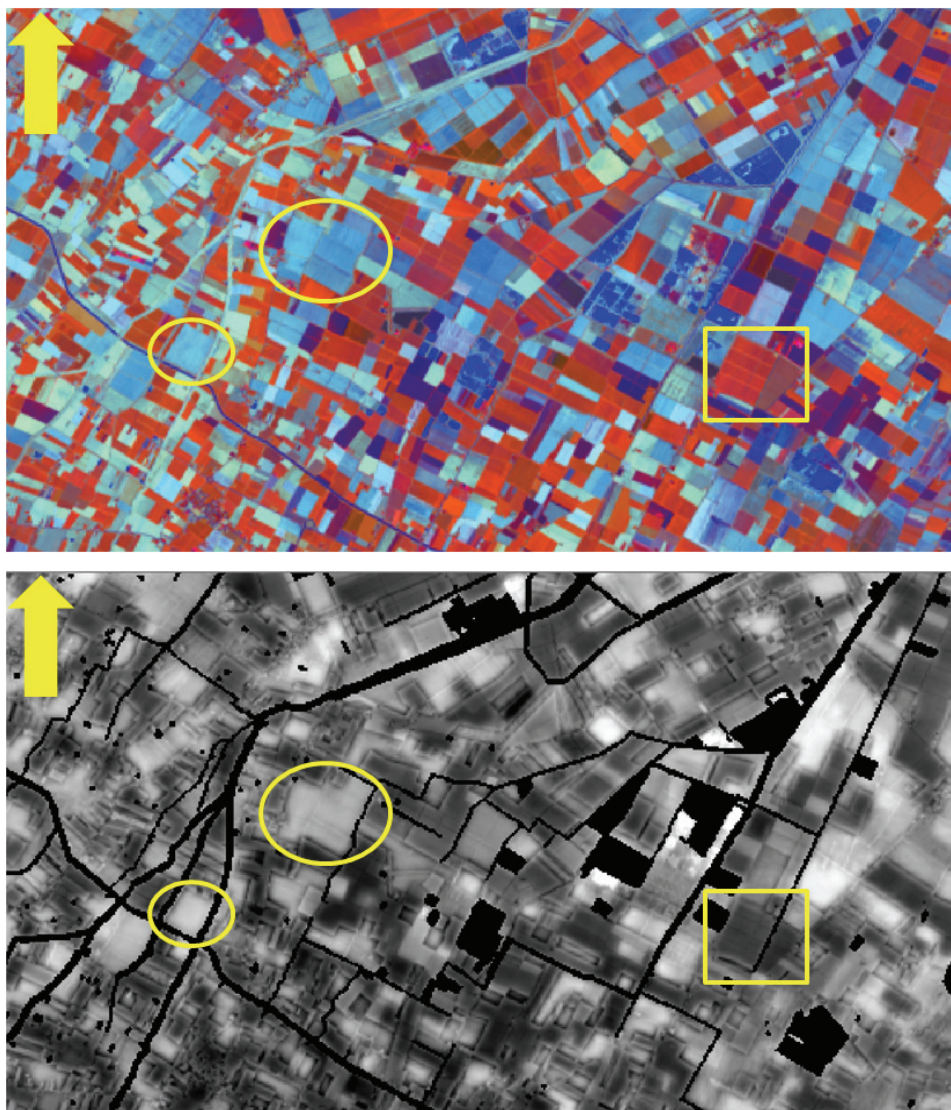


Figura 4 - Confronto tra TCT (in alto) e SMI (in basso), scala di rappresentazione 1:50000. Gli ovali e il rettangolo indicano esempi rispettivamente di aree umide e secche che è possibile individuare nelle immagini corrispondenti ad entrambi gli indici. Nel SMI sono mascherate in nero le acque (corsi d'acqua, stagni fossi).

Quel che si ottiene è una carta delle particelle classificate rispetto al tasso di umidità superficiale ripartito in tre macro-categorie:

- non umido
- abbastanza umido
- umido

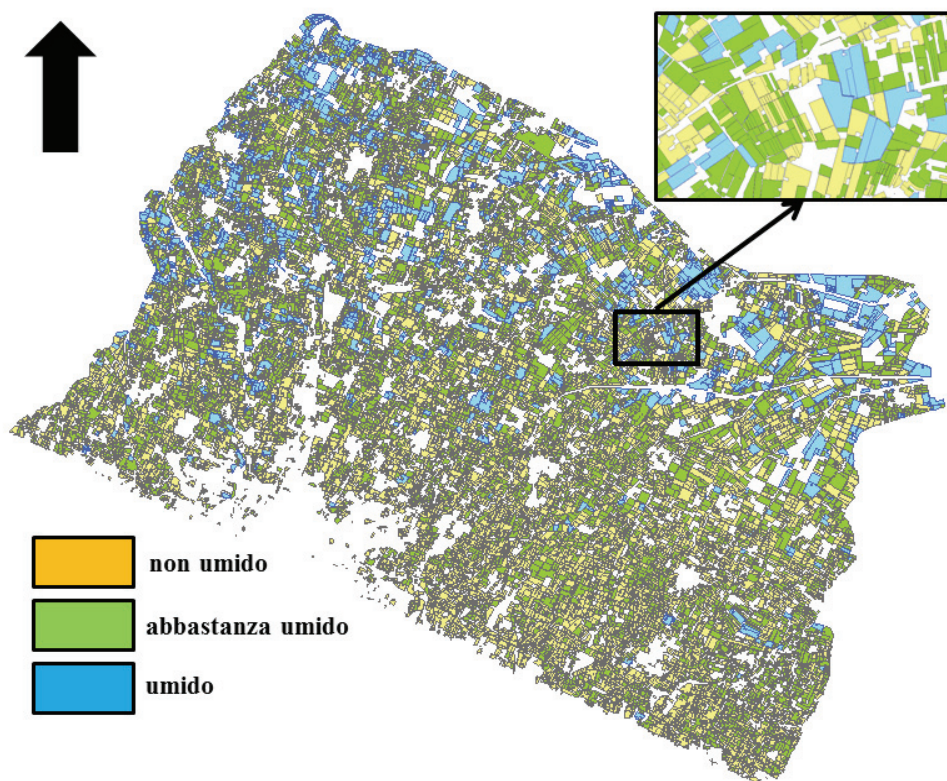


Figura 5 - Carta dell'umidità superficiale del suolo del distretto di pianura del Consorzio della Bonifica Renana, ottenuta associando alla sagoma delle particelle agricole una classificazione del soil moisture index (da immagine Landsat 8 acquisita il 10-07-2015). Scala di rappresentazione 1:275000.

Conclusioni

In futuro saranno predisposti tool di drilling e business intellingenti per l'interrogazione multitemporale di stack di immagini, in modo da ricostruirne lo sviluppo temporale.

Per quanto riguarda la validazione saranno predisposte centraline stabili che misurino l'andamento dei parametri d'interesse (temperatura, umidità del suolo e precipitazioni) nel tempo, in modo da caratterizzare sito per sito la curva dell'umidità del suolo.

Una delle prospettive di ricerca è rappresentata da un confronto con la polarimetria SAR da satellite, nonostante in assenza di nuvole si siano ottenuti risultati più che soddisfacenti anche con Landsat 8. Al di là degli aspetti scientifici questo confronto è interessante anche per via della progressiva riduzione dei costi delle scene SAR polarimetriche che nei prossimi anni le renderà accessibili per applicazioni commerciali che richiedano il processamento di dataset consistenti.

Bibliografia (in ordine alfabetico degli autori)

- Baig M., Zhang L., Shuai T., Tong Q. (2014), "Derivation of tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance", *Remote Sensing Letters*, 2014, 5(5): 423-431.
- Brooks C., Dajos T., Powell R., Bourgeau-Chavez L., Shuchman R. (2009), "MTRI forest wetlands and soil moisture", proceedings of the 2009 Streamlining Environmental and Planning Processes (NCRST-SEPP) workshop, Memphis (USA) 6-8 maggio, 2009.

Carlson T. (2007), “An overview of the ‘Triangle Method’ for estimating surface evotranspiration and soil moisture from satellite imagery”, *Sensors* 2007, 7: 1612-1629.

Gomarasca M. (2004), “Elementi di geomatica”, *Associazione Italiana di Telerilevamento*, Varese.

Sandholt I., Rasmussen K., Andersen J. (2002), “A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assesment of surface moisture status”, *Remote Sensing of Environment* 2002, 79: 213-224.

Mannini, P., Genovesi, R., & Letterio, T. (2013), “IRRINET: large scale DSS application for on-farm irrigation scheduling”. *Procedia Environmental Sciences*, 19, 823-829.

Wang L., Qu J., Zhang S., Hao X., Dasgupta S. (2007), “Soil moisture estimation using MODIS and ground measurements in eastern China”, *International Journal of Remote Sensing* 2007, 28(6): 1413-1418.

Wang L., Qu J. (2009), “Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: a review”, *Front. Earth Sci. China* 2009, 3(2): 237-247.

Regione Emilia-Romagna Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (2007), “Carta del contenuto percentuale di argilla nei suoli della pianura tra 0-30 cm”.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare l’USGS per aver reso disponibili le immagini Landsat 8

Un particolare ringraziamento al dott. Massimo Noferini (FA.MO.SA. s.r.l.) per i consigli nell’interpretazione delle misure igrometriche.