

Stima delle variazioni della superficie allagata in risaia nel distretto lombardo-piemontese tramite dati MODIS per il periodo 2000-2014

Luigi Ranghetti (*), Lorenzo Busetto (*), Alberto Crema (*),
Mauro Fasola (**), Elisa Cardarelli (**), Mirco Boschetti (*)

(*) Institute for Electromagnetic Sensing of the Environment, Consiglio Nazionale delle Ricerche
Via Bassini 15, 20133 Milano, Italy, ranghetti.l@irea.cnr.it

(**) Department of Earth and Environmental Sciences, Università di Pavia
Via Ferrata 9, 27100 Pavia, Italy

Riassunto

In questo lavoro viene presentato un metodo di stima da dati MODIS delle superfici risicole allagate. La procedura per la calibrazione e validazione del metodo è stata eseguita utilizzando sia informazioni raccolte direttamente in campo, sia immagini a maggiore risoluzione (Landsat 8). Le stime nel periodo 2000-2014 hanno evidenziato una progressiva generale diminuzione delle superfici allagate, in accordo con la diffusione della semina in asciutta in risicoltura.

Abstract

In this work we present a method to estimate water fraction in ricefields using MODIS data. Model calibration and validation has been performed using both field information and higher resolution images (Landsat 8). Estimations in the period 2000-2014 showed a diffused reduction of water fraction, according with the diffusion of dry seeding in ricefields.

Abstract esteso

Le pratiche agronomiche di coltivazione del riso sono molto diverse a livello mondiale in relazione alle condizioni climatiche e allo sviluppo economico; tuttavia l'allagamento periodico delle camere di risaia è una pratica ricorrente, che interessa il 90% delle superfici coltivate a riso (Maclean *et al.*, 2002). Nel distretto risicolo lombardo-piemontese (v. fig. 1), la più grande area risicola d'Europa, le camere vengono tradizionalmente allagate prima della semina (tra fine aprile a inizio giugno), e l'acqua viene mantenuta fino alla maturazione lattea (fine di agosto) salvo asciutte periodiche (Balsari *et al.*, 1989). Una pratica alternativa è quella della semina in asciutta, che prevede il mantenimento di superfici non allagate fino allo sviluppo delle prime 2-4 foglie (circa un mese dopo la semina); questa pratica, di fatto inesistente fino agli anni '90 (Balsari *et al.*, 1989), si sta diffondendo sempre più, passando dal 16% del totale delle risaie nel 2004 al 33% nel 2014 (Ente Nazionale Risi, 2015). Quantificare le differenze temporali nella presenza di superfici allagate è importante non solo dal punto di vista agronomico-ambientale, in quanto le pratiche utilizzate influenzano la richiesta d'acqua (Regione Lombardia, 2014), ma anche dal punto di vista ecologico: il distretto risicolo lombardo-piemontese costituisce infatti un'importante area di foraggiamento per diverse specie di ardeidi, soprattutto durante il periodo di nidificazione, durante il quale la disponibilità trofica nelle camere allagate è maggiore (Fasola e Ruiz, 1996). Una riduzione dell'habitat di foraggiamento può in parte spiegare la riduzione della consistenza delle popolazioni verificatesi negli ultimi 10 anni per alcune specie (Fasola *et al.*, 2014).

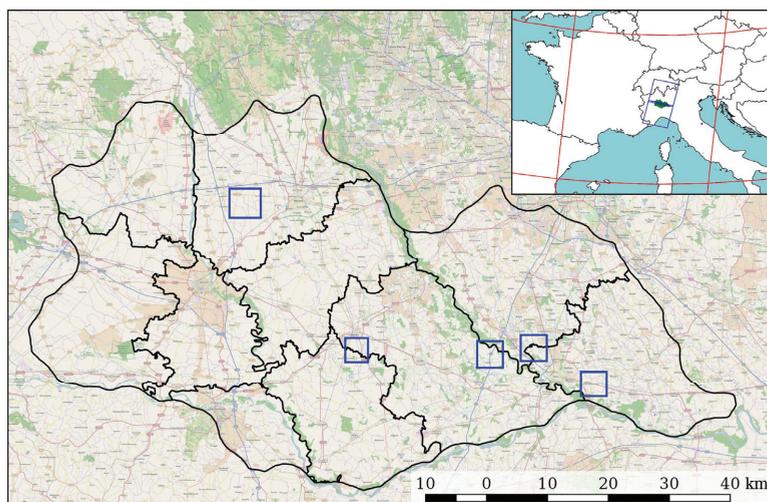


Figura 1 - Posizione del distretto risicolo lombardo-piemontese (sfondo: OpenStreetMap); le aree blu delimitano i sei siti di raccolta dati, le linee nere rappresentano i dieci sotto distretti considerati per le previsioni temporali.

In questo studio è stato perfezionato un metodo di stima delle superfici risicole allagate da dati MODIS (*dataset* MOD09A1), utilizzando l'indice spettrale $NDSI_{B1B7}$ (*Normalized Difference Spectral Index* tra le bande MODIS B1 e B7), indice che ha dimostrato di essere il più sensibile nell'individuazione della presenza d'acqua (Boschetti *et al.*, 2014). I dati MODIS sono uno dei *dataset* satellitari più utilizzati per lo studio di fenomeni con variazioni stagionali; tuttavia la loro risoluzione spaziale (500 metri) non consente di distinguere le diverse camere di risaia, non rendendo possibile un confronto diretto con le informazioni di campo. La procedura per il perfezionamento del modello predittivo è stata quindi eseguita in 3 fasi, di seguito descritte (maggiori dettagli in Ranghetti, 2015; Ranghetti *et al.*, in preparation). Le analisi sono state svolte utilizzando il software R 3.1.1 (R Core Team, 2014).

Generazione di mappe di allagamento ad alta risoluzione a partire da dati Landsat: nel 2013 sono state raccolte informazioni di campo sullo stato di allagamento delle risaie in 6 aree campione (circa 1000 ettari ciascuna); queste sono servite per la determinazione di un valore soglia dell'indice NDSI calcolato sulle bande *Red* e *SWIR-2* di tre immagini Landsat (DOY 133, 149 e 165) per la discriminazione dei pixel allagati e non allagati. La soglia determinata su un campione di 4000 *pixel* ($NDSI = 0,3206$) ha mostrato una buona robustezza quando applicata su dati indipendenti delle immagini Landsat di maggio (OA = 92,0 %, DOY 133 e 149). Tale valore di accuratezza decresce includendo anche l'immagine di giugno (OA = 85,3 %, DOY 133, 149 e 165) a causa delle situazioni di mistura a seguito della crescita del riso; per questa ragione ad ogni *pixel* è stato anche associato un valore di attendibilità delle stime basato sull'indice NDVI, la cui relazione con la biomassa fotosintetizzante è nota (Reed *et al.* 1994; Pettorelli *et al.* 2005): maggiore è il valore di NDVI, minore è l'attendibilità della stima della frazione d'acqua.

Calibrazione del metodo di stima della frazione d'acqua: le mappe di allagamento basate su dati Landsat sono state comparate con tre immagini MODIS (indice $NDSI_{B1B7}$), utilizzando i soli *pixel* con data di acquisizione che differiva per un massimo di un giorno. Dopo aver riscalato entrambe le immagini Landsat e MODIS su una griglia di 1×1 km, la calibrazione è stata eseguita su un campione di 420 *pixel* utilizzando una *censored regression* di second'ordine tra la frazione d'acqua derivata da Landsat e l'indice spettrale da MODIS, ottenendo la relazione

$$\text{Frazione d'acqua} = (-0.14 \pm 0.13) NDSI^2 + (1.11 \pm 0.07) NDSI + (0.19 \pm 0.01) \quad [1]$$

Validazione del metodo: sono state eseguite due diverse validazioni: la prima confrontando la frazione d'acqua stimata da MODIS con l'equivalente misura ottenuta da Landsat (in modo simile a quanto fatto per la calibrazione, ovvero usando *pixel* di 1×1 km da un campione casuale indipendente), la seconda utilizzando come *ground truth* le informazioni di campo disponibili (rasterizzate su griglia MODIS). Nel primo caso abbiamo ottenuto dei buoni valori di accuratezza: EF (*modeling efficiency*; Nash e Sutcliffe, 1970) = 0,75 e RMSE (*root mean squared error*; Loague e Green, 1991) = 0,12, a conferma della validità del metodo. Nel caso del confronto con i dati di campo, poiché queste misure sono state raccolte in diverse condizioni di crescita del riso abbiamo valutato le *performance* in funzione di differenti valori di NDVI (per ridurre l'effetto maschera della vegetazione); come atteso abbiamo riscontrato un peggioramento dei risultati al crescere del valore soglia. I risultati migliori si ottengono per $NDVI < 0.33$ (EF = 0,50; RMSE = 0,22): il fatto che siano più bassi rispetto a quelli ottenuti dalla validazione MODIS-Landsat è imputabile alla minore dimensione dei *pixel* (500 m invece di 1 km), con conseguente aumento della varianza residua nel *dataset*. In entrambi i casi i risultati sono ritenuti soddisfacenti, soprattutto in relazione all'eterogeneità colturale che caratterizza il distretto risicolo (mistura di risaie allagate, risaie in asciutta e altre coltivazioni).

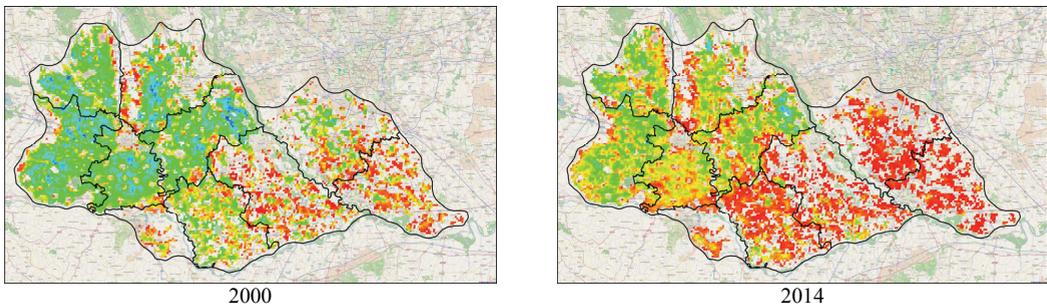


Figura 2 - Esempi di mappe di allagamento medio (metà aprile – fine maggio) stimate da MODIS per gli anni 2000 e 2014; la scala cromatica varia tra 0 (allagamento assente, rosso) e 1 (allagamento completo, blu).

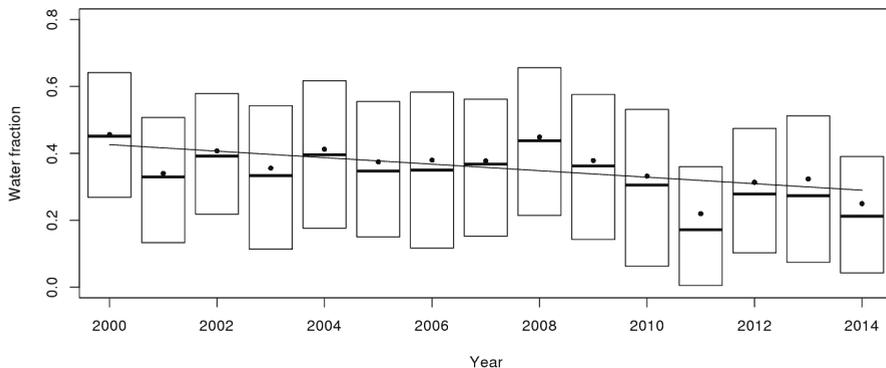


Figura 3 - Distribuzione dei valori di allagamento medio annuo nei pixel dell'area risicola; i punti sono i valori medi delle distribuzioni, la linea rappresenta il trend temporale descritto nel testo.

Con questo metodo è stato quindi stimato da dati MODIS l'allagamento medio annuale tra metà aprile e inizio giugno (periodo di semina del riso) negli anni 2000-2014 (v. fig. 2). Oltre al distretto risicolo nel suo insieme, sono stati analizzati anche dieci sotto distretti costituiti da gruppi di comuni appartenenti a differenti distretti irrigui, così da poter considerare anche la variazione spaziale. Le stime hanno evidenziato una progressiva generale diminuzione delle superfici allagate (globalmente di $-0,973 \pm 0,303\%$ all'anno; $t = -3,209$; $p\text{-value} = 0,0068$; v. fig. 3), statisticamente

significativa in 9 dei 10 sotto distretti considerati; l'andamento è in accordo con la progressiva diffusione della semina in asciutta. Inoltre la frazione d'acqua media negli anni considerati non risulta uniforme tra i diversi sotto distretti, ma maggiore nei cinque sotto distretti nord-occidentali (quantificata mediamente nel $0,43 \pm 0,13\%$ delle aree risicole) rispetto a quelli sud-orientali ($0,13 \pm 0,10\%$): questo è giustificabile con la maggior omogeneità colturale della prima area (Novarese, Vercellese e Robbiese) rispetto alla seconda (Lomellina, Milanese, Pavese e Oltrepò Casalese), oltre che con la maggior disponibilità idrica che caratterizza le zone nord-occidentali. In conclusione, lo studio ha evidenziato la validità del metodo di stima della frazione d'acqua delle superfici risicole da dati MODIS; la relativa applicazione al distretto risicolo lombardo-piemontese nel quindicennio 2000-2014 ha inoltre mostrato la presenza di differenze nella gestione idrica sia a livello spaziale (tra aree nord-occidentali e sud-orientali) che temporale (con una significativa diminuzione delle superfici allagate). Questo tipo di informazioni saranno utili nelle analisi delle dinamiche di popolazione degli ardeidi. Il lavoro è stato parzialmente supportato dal MIUR (PRIN 2010-2011, 20108 TZKHC) e dal settimo programma quadro di ricerca dell'Unione Europea (FP7 2007-2013, progetto ERMES, convenzione n. 606983).

Riferimenti bibliografici

- Balsari P., Bocchi S., Tano F. (1989), "First test results of rice sowing on dry soil by pneumatic fertilizer spreader", in *Proceedings of the Eleventh International Congress on Agricultural Engineering*, Dublin, Ireland, pp. 1673–1679.
- Boschetti M., Nutini F., Manfron G., Brivio P. A., Nelson A. (2014), "Comparative Analysis of Normalised Difference Spectral Indices Derived from MODIS for Detecting Surface Water in Flooded Rice Cropping Systems", *PLoS ONE*, 9, 2, e88741.
- Ente Nazionale Risi (2015), *XLVIII Relazione Annuale Anno 2014*, http://www.enterisi.it/upload/enterisi/bilanci/Relaz.Annuale2014low_15916_256.pdf.
- Fasola M., Cardarelli E., Pellitteri-Rosa D., Ranghetti L. (2014), "The recent decline of heron populations in Italy and the changes in rice cultivation practice", in *25th International ornithological congress, Ornithological Science*, Supplement, The Ornithological Society of Japan, Campos do Jordão, SP, Brazil, vol. 13.
- Fasola M., Ruiz X. (1996), "The value of rice fields as substitutes for natural wetlands for waterbirds in the Mediterranean Region", *Waterbirds*, 19:122-128.
- Loague K., Green R. (1991), "Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application", *Journal of Contaminant Hydrology*, 7:51-73.
- Maclean J., Dawe D., Hardy B., Hettel G. (2002), *Rice almanac*, Wallingford, Oxon.
- Nash J., Sutcliffe J. (1970), "River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles", *Journal of Hydrology*, 10:282-290.
- Pettorelli N., Vik J., Myrseterud A., Gaillard J. M., Tucker C., Stenseth N. (2005), "Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change", *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 9:503-510.
- R Core Team (2014), *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <http://www.R-project.org>.
- Ranghetti L. (2015), *Using remotely sensed estimators to detect temporal trends of ecological predictors: the cases of nutritional content of alpine grasslands and water management in ricefields* (Ph.D. Thesis), Università degli Studi di Pavia.
- Ranghetti L., Busetto L., Crema A., Fasola M., Cardarelli E., Boschetti M. (in preparation), "Testing estimation of water surface in Italian rice district from MODIS satellite data".
- Reed, B., J. Brown, D. Vanderzee, T. Loveland, J. Merchant and D. Ohlen (1994), 'Measuring phenological variability from satellite imagery', *Journal of Vegetation Science*, 5, 5:703–714.
- Regione Lombardia (2014), *Gestione della risorsa irrigua*, <http://www.biogesteca.unimi.it/page20>.