

## Fusione di immagini telerilevate provenienti da dataset eterogenei: ricostruzione di serie temporali ad alta risoluzione spazio-temporale

Gabriele Candiani, Giacinto Manfron, Mirco Boschetti, Lorenzo Busetto, Francesco Nutini,  
Alberto Crema, Monica Pepe e Gloria Bordogna

CNR-IREA Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente  
Via Bassini 15, Milano, manfron.g@irea.cnr.it, +390223699297, +390223699300

### Introduzione ed obiettivi

Per un efficiente monitoraggio dei sistemi colturali, risulta di fondamentale importanza disporre con tempestività di informazioni circa la tipologia delle colture seminate e le dinamiche colturali in atto. Gli agro-ecosistemi europei si caratterizzano per avere forte frammentazione dei singoli appezzamenti agricoli, ampia variabilità nelle tipologie colturali ed eterogeneità di gestione agronomica inter-culturale. In queste condizioni, un sistema di monitoraggio delle produzioni primarie basato su immagini telerilevate da satellite, necessita di dati caratterizzati sia da un'alta risoluzione spaziale che temporale. Il futuro lancio dei satelliti Sentinel-2a (2015) e Sentinel-2b (2016), nell'ambito di *Copernicus* (<http://www.copernicus.eu/>), metterà a disposizione degli utenti dati ad alta risoluzione spazio-temporale (< 30m con rivisitazione di 2/3 giorni per l'Europa), facilitando così l'attività di monitoraggio ed in particolare l'analisi basata sulle serie temporali di dati satellitari. Ciò nonostante, il problema delle coperture nuvolose rimarrà comunque un ostacolo all'interpretazione ed all'elaborazione delle immagini ottiche ed avrà effetto negativo rispetto alla granularità temporale reale del dato a disposizione. Obiettivo del presente lavoro è quello di (i) applicare un innovativo algoritmo per la fusione di immagini ad eterogenea risoluzione spazio-temporale e (ii) verificare la qualità e l'utilità delle serie temporali generate per il monitoraggio delle colture agricole europee.

### Area di studio, dati e metodologia

L'area di studio è quella della Camargue caratterizzata dalla forte vocazione agricola e per la quale era a disposizione, un dataset di informazioni di campo per l'anno 2013 (324 appezzamenti di 3 aziende agricole per una superficie complessiva di 1334 ha). I dati satellitari utilizzati comprendono immagini dei sensori SPOT-4 e MODIS acquisiti nel periodo Febbraio-Giugno 2013. I dati SPOT-4 sono stati acquisiti e processati nell'ambito del progetto CNES (SPOT4-TAKE5) ed emulano le principali caratteristiche di risoluzione dei futuri dati Sentinel-2 (20 m, 5 giorni risoluzione temporale). Il prodotto MOD09A1 (500 m, *composit* a 8 giorni) sono stati utilizzati come fonte di dati a bassa risoluzione spaziale nel processo di fusione. Dal pre-trattamento degli archivi SPOT4TAKE5 e MOD09A1 sono state ricavate serie temporali dell'indice di vegetazione NDVI ( $\rho_{nir}-\rho_{red}/\rho_{nir}+\rho_{red}$ ) e dell'indice spettrale NW12 ( $\rho_{red}-\rho_{swir1620nm}/\rho_{red}+\rho_{swir1620nm}$ ), sensibile alla presenza di corpi idrici superficiali (Boschetti et al. 2014). La metodologia adottata per la fusione delle immagini prevede la ricostruzione di una serie temporale ad alta risoluzione spaziale (HR), ad un pre-determinato istante (t), valutando l'informazione contenuta nelle serie temporali di immagini satellitari di partenza a bassa (LR) e alta risoluzione spaziale (HR). La tecnica tiene conto di criteri euristici da configurare, quali: 1) il passo temporale per la serie simulata ( $t_1, t_2, \dots, t_n$ ); 2) il criterio per pesare il contributo delle immagini di input (HR e LR) al processo di fusione e 3) la validità temporale oltre la quale le immagini di input non devono più contribuirvi (Bisquet et al. 2014). In particolare per il punto (2), la fusione applicata è il risultato di una media ponderata dei valori dei

pixel co-registrati nelle immagini HR e LR in input. Il loro peso è calcolato in base all'inverso della distanza tra le date di acquisizione degli input e l'istante (t) dell'immagine da generare. In questo modo l'immagine in input acquisita ad una data più vicina a quella dell'immagine da generare contribuirà maggiormente a determinare il valore finale del pixel nell'immagine fusa.

### Risultati, conclusioni e ringraziamenti

In figura 1 si riportano alcuni dei risultati conseguiti. Alla sinistra, uno zoom dell'area studio come appare nelle immagini SPOT-4 originali (1), nei dati MODIS – ricampionati alla risoluzione SPOT (2) e nell'immagine ottenuta con la fusione (3). È possibile apprezzare come le immagini sintetiche prodotte mantengano la risoluzione delle immagini ad alta risoluzione di partenza tanto da evidenziare le stesse strutture. Alla destra della figura 1 si riporta invece il confronto tra serie temporali (box plot estratti per area omogenea coltivata a riso indicata in figura) per gli indici NDVI e NWI2 del sensore SPOT-4 (A, B) e prodotte dal processo di fusione (C, D). Dai grafici è possibile apprezzare, l'effetto dell'algoritmo sulla ricostruzione delle firme temporali degli indici. La serie temporale viene migliorata completandola in caso di assenza di dati (es. DOY 99 e 129) e attenuando il rumore dovuto alla presenza di nuvole (es. DOY 49 e 64). La crescita dell'indice NWI2 tra il DOY 114 e il DOY 149 è da interpretarsi come la risposta dell'indice alla pratica di allagamento delle risaie (Boschetti et al., 2014). Per questa caratteristica, si nota come i dati fusi forniscano una più chiara indicazione della durata della pratica nel tempo (figura 1 D).

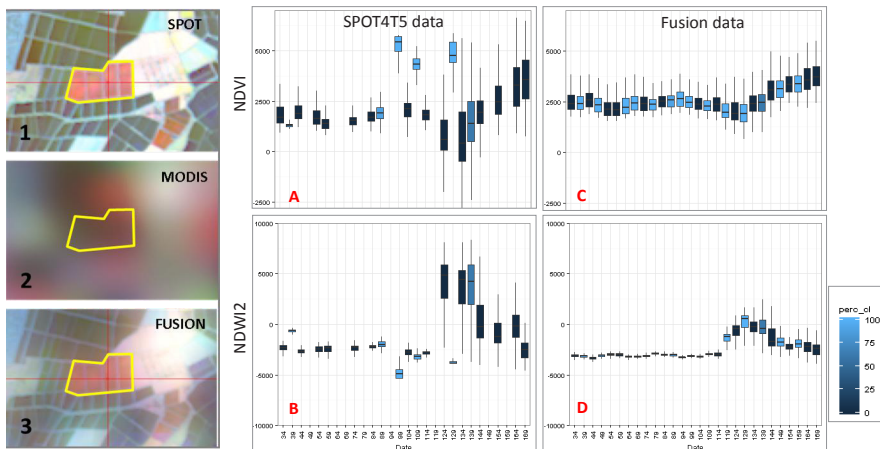


Figura 1 SX composizione NDVI RGB (DOY 74:124:139) per SPOT (1), MODIS (2) e FUSION (3). DX profili temporali SPOT (A e B) e dei FUSION (C e D). Scala di colori indica percentuale cloud noise (nero-blu 0-100%).

In conclusione, l'esperimento ha positivamente dimostrato il contributo di un algoritmo di soft *data fusion* per la produzione di serie temporali ad alta risoluzione spazio-temporale. Ulteriori sviluppi prevedono l'utilizzo di serie ottenute da *data fusion* come input in algoritmi per la classificazione automatica di serie temporali, volte al riconoscimento delle diverse colture e all'identificazione delle fasi fenologiche. Il presente lavoro è stato finanziato dai progetti SCENARICE (Agripolis-Cariplo) e Space4Agri (RL-CNR). Si ringraziano i colleghi Vincent Couderc e Jean-Claude Mouret dell'*Institut national de la recherche agronomique* (INRA) di Montpellier per i dati di campo.

### Riferimenti bibliografici

- Bisquert M., Bordogna G., Boschetti M., Poncelet P. and Teisseire M. (2014), "Soft Fusion of Heterogeneous Image Time Series". *IPMU 2014*, Part I, CCIS 442, pp. 67–76.
- Boschetti M, Nutini F, Manfron G, Brivio PA, 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: e88741. doi:10.1371/journal.pone.0088741