

## **Utilizzo congiunto di dati SAR e ottici per il monitoraggio di agro-ecosistemi risicoli in ambiente tropicale: primi risultati in Bangladesh**

Giacinto Manfron (\*), Mirco Boschetti (\*), Francesco Holectz (\*\*), Francesco Collivignarelli (\*\*), Massimo Barbieri (\*\*) and Andrew Nelson (\*\*\*)

(\*) CNR-IREA, Via Bassini 15, Milan, Italy, manfron.g@irea.cnr.it

(\*\*) Sarmap, Cascine di Barico 10, 6989 Purasca, Switzerland, fholectz@sarmap.ch

(\*\*\*) International Rice Research Institute, Social Sciences Division, Los Baños, Philippines, a.nelson@irri.org

### **Riassunto**

La produzione di informazioni aggiornate e spazialmente distribuite circa lo stato delle colture agricole è di fondamentale importanza per supportare azioni di *food security* in paesi in via di sviluppo. Obiettivo della ricerca è quello di contribuire alla messa a punto di strumenti per il monitoraggio dell'andamento delle colture agricole per prevedere con anticipo l'occorrenza di andamenti stagionali sfavorevoli ai raccolti ed essere quindi un valido strumento di supporto. Il presente lavoro, ha per oggetto il monitoraggio di areali risicoli in paesi asiatici tropicali. In questo contesto, la dimensione ridotta dei campi e la forte contaminazione nuvolosa rappresentano un limite per l'uso operativo di dati ottici a bassa risoluzione. La ricerca ha voluto perciò sperimentare l'uso integrato di dati SAR e ottici per i) la mappatura delle aree risicole e per ii) l'analisi delle dinamiche fenologiche per l'intero Bangladesh. Il test è stato condotto per la stagione 2011 utilizzando dati ASAR e MODIS sfruttando le caratteristiche complementari dei due sistemi. Il processamento di 10 anni di dati ASAR *wide-swath*, ha permesso di produrre una "*Multi year rice extent map*" delle aree coltivate a riso a 100m di risoluzione spaziale, mentre l'alta risoluzione temporale dei dati MODIS è stata sfruttata per ottenere ed analizzare serie temporali di indici spettrali utili ad identificare il numero di stagioni agricole e per ciascuna l'occorrenza di due momenti fenologici: emergenza e fioritura. I dati prodotti sono risultati in accordo con le informazioni esistenti circa l'estensione delle aree a riso e i locali calendari agronomici. I risultati confermano come un uso combinato di dati telerilevati (attivi e passivi) si presti a fornire informazioni sulle colture risicole in paesi tropicali; inoltre il metodo qui descritto consente di ottenere operativamente informazioni circa l'occorrenza fenologica della coltura ed in maniera spazialmente distribuita per ogni anno d'analisi.

### **Abstract**

timely and accurate information on crop typology and status are required to reduce food insecurity and better manage agriculture productions in developing countries. In this context agricultural monitoring tools are required to predict in advance unfavorable agricultural trends and could represent efficient support tools. This work focus on the exploitation of remote sensed data to monitor paddy rice in tropical Asian countries. In this context, the monsoon cloud contamination and the small and splitted field sizes represents two limit's factors for an exclusive use of low spatial resolution optical data. This research work wanted therefore to test an integrate use of SAR and optical data for: i) mapping rice-growing areas and ii) deriving phenological dynamics for the whole Bangladesh. Analysis of ten years ASAR WS data was conducted for the 2011 rice-growing season, exploiting the complementarity of ASAR-WS SAR and MODIS optical data. Ten years analysis of ASAR-WS analysis allowed to produce a "Multi-year rice extent map" of rice cropped

areas, at one hectare of spatial resolution, while the high temporal resolution of MODIS were exploits to analyze temporal series of spectral indices to detect rice seasons and the occurrence of two phenological events: transplanting/emergence and flowering/heading. The resulting thematic maps, were in full agreement with the local agronomical calendars. Results confirm that a combined use of heterogeneous remote sensed data could provide reliable information for the tropical countries crop productions. Furthermore, these information layers could be provided in a spatially distributed and operative way for every analyzed year.

### Introduzione

La coltivazione del riso è nel mondo una delle principali attività del settore primario. Si stima che fornisca su scala globale più di 723Mton di risone, mietute su una superficie complessiva di 163Mha (FAO-STAT, 2011). Questo cereale risulta essere il più coltivato per autoconsumo e la fonte primaria di nutrimento per metà della popolazione mondiale. Le coltivazioni di riso sono principalmente presenti nei paesi in via di sviluppo (PVS) ed in particolare in quelli asiatici tropicali. Considerando la stretta correlazione che esiste in questi paesi tra la prevalenza delle coltivazioni risicole e situazioni sociali di povertà e sussistenza, risulta immediato intuire quanto sia fondamentale la possibilità di avere informazioni aggiornate e spazialmente distribuite circa lo stato di queste colture sul territorio. Il monitoraggio di colture risicole è pertanto da considerarsi uno strumento chiave per: i) supportare decisori e legislatori operanti in materia di politica agricola, ii) prevenire potenziali crisi alimentari, iv) fornire strumenti di allerta precoce rispetto alle stagioni agricole sfavorevoli per supportare azioni volte a garantire la sicurezza alimentare. Il monitoraggio su scala nazionale delle colture agricole può essere condotto mediante l'analisi di serie temporali di dati telerilevati da satellite ed in particolar modo, mediante l'uso sinergico di dati telerilevati provenienti sia da sensori attivi RADAR SAR (*Radio Detection And Ranging*, *Synthetic Aperture Radar*) che passivi (ottici). Questa sinergia consente un efficace utilizzo delle alte risoluzioni spaziali e della piena operatività dei dati SAR da un lato, e permette dall'altro lato di sfruttare la l'alta risoluzione temporale dei sistemi ottici. Nel presente lavoro verrà introdotta una metodologia di monitoraggio automatica per le colture risicole, applicata ad un'area studio tropicale asiatica. Tale metodologia, prevede l'uso congiunto di dati RADAR ASAR-WS (*wide-swath*) e ottici MODIS (*Moderate resolution Imaging Spectro-radiometer*) MOD09A1.

Obiettivo del presente lavoro è quello di: (i) utilizzare congiuntamente dati telerilevati ottici e RADAR, cercando di definire una metodologia per il monitoraggio delle colture risicole e di (ii) testare la metodologia proposta su scala nazionale, per la stagione risicola 2011 di un paese asiatico tropicale: il Bangladesh.

### Area di studio

Il Bangladesh è un paese asiatico situato in fascia climatica tropicale caratterizzato da una forte vocazione agricola (fig.1a). In questo paese 13.8 Mha (93.5% della superficie totale) sono destinati all'uso agricolo, settore che impiega circa il 75% della forza lavoro del paese (*Bangladesh Bureau of Statistics* BBS, 2008). La risicoltura è la principale coltivazione, oltre il 90% della popolazione si nutre infatti di riso e questa attività sussiste sul 74.4% della superficie agricola del paese (44% della superficie totale) per un investimento pari a 11.36 Mha (BBS, 2011). I principali ecosistemi risicoli che sussistono nel paese sono: l'*irrigated-rice*, coltivato nella stagione secca con acqua di irrigazione da Dicembre ad Aprile (Brammer et al., 1993; Hofer & Messerli, 1997), il *rainfed-rice* cresciuto con acqua esclusivamente apportata dalle precipitazioni ed a sua volta suddiviso in *uplands-rice* e *lowlands-rice* in base al livello della sommersione che le piogge creano durante la crescita (< 90cm lowland > 90cm uplands), ed il *floating o deepwater-rice* così definito se cresciuto per almeno un mese di stagione vegetativa in più di 50cm di acqua, questo riso è prevalentemente coltivato durante la stagione monsonica. Tre sono le grandi categorie di riso presenti in Bangladesh: il riso Aman, generalmente trapiantato, rappresenta circa il 49% delle aree coltivate a riso (BBS, 2011) e garantisce rese di circa 2 t/ha, fornendo il 38% delle rese nazionali. Il riso Boro invece,

coltivato estensivamente e con irrigazione, rappresenta il 41% circa delle aree risicole ed ha rese indicative di 3.8 t/ha, questo riso garantisce il 56% delle produzioni nazionali. Infine il riso Aus, trapiantato o coltivato nelle uplands, è presente in circa il 9% delle aree coltivate a riso, ha rese di circa 1.6 ton/ha e contribuisce per il 6% alle produzioni nazionali (BBS, 2008). Per quanto riguarda i calendari agronomici generali di queste tre tipologie, si rimanda a fig.1b, in cui è possibile apprezzarne il calendario agronomico stagionale e la collocazione e durata stagionale delle fasi di semina crescita, massimo vigore vegetativo e raccolta (FAO & USDA, 1999).

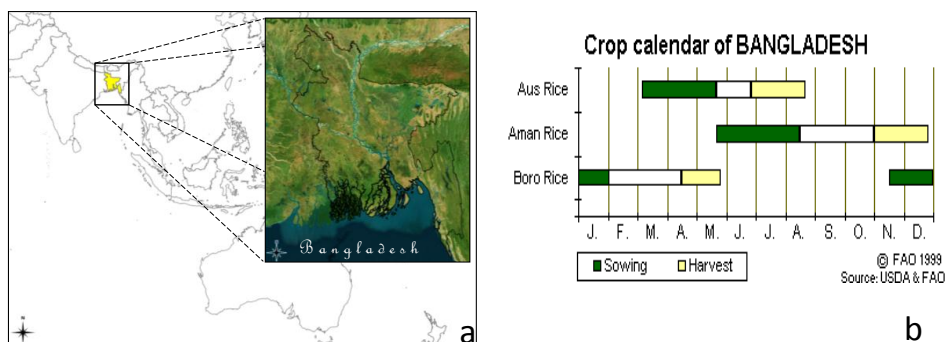


Figura 1. Localizzazione geografica dello stato del Bangladesh (a) e calendario agronomico generale delle varietà risicole coltivate nel paese (b).

## Materiali

### Dati da sensori attivi

L'identificazione e la mappatura delle aree risicole è stata condotta mediante l'uso di dati acquisiti sensore ASAR WS a bordo di ENVISAT (ENVIRONMENTAL SATellite). Caratteristiche del dato sono: acquisizione in banda C (3.6 ÷ 4.2cm), modalità di acquisizione ScanSAR (WS), con scene di 400 per 400 km, risoluzione spaziale di 100 m (1ha) e risoluzione temporale di 35 giorni. Per la produzione del prodotto "Multi-year Rice Extent" è stato utilizzato l'archivio di tutti i dati, acquisiti dal 2002 al 2010 sull'area di studio.

### Dati da sensori passivi

L'analisi fenologica è stata condotta grazie all'uso di dati ottici MODIS sulle aree precedentemente identificate come ad uso agricolo-risicolo dall'analisi dei dati SAR. Il dato MODIS segue lo standard *Hierarchical Data Format* (HDF) e viene distribuito in proiezione sinusoidale, su immagini (*tiles*) che fanno riferimento a scene di 1200 per 1200 km. Nel presente lavoro è stato considerato il prodotto di dati MODIS "8-days composite Surface Reflectance" MOD0A1, questo prodotto, fornisce una stima del valore di riflettenza delle superfici alla risoluzione spaziale (*pixel size*) di 500 m, il prodotto viene generato utilizzando il miglior dato di ogni singolo pixel registrato in un periodo di 8 giorni, scartando osservazioni con bassa. Per l'analisi fenologica sono stati considerati i composites relativi alla serie temporale Luglio 2010 ÷ Dicembre 2011, per un totale di 70 immagini.

### Informazione cartografica di riferimento

L'area studio, come spesso succede nei PVS, è caratterizzata da una scarsa presenza di prodotti cartografici di dettaglio circa l'uso e la copertura del suolo con dettaglio delle coperture agricole. E' stato pertanto deciso di utilizzare come fonte di informazione ancillare quella di tipo statistico dell'area studio. Le fonti tenute in considerazione sono state la *Food and Agriculture Organization* (FAO GIEWS, FAO/WFP CFSAM, 2008), l' *United States Department of Agriculture* (USDA

GAIN report, 2011) e il *Bangladesh Bureau of Statistics* (BBS, 2008). I dati utilizzati riguardano la descrizione dei calendari agronomici delle principali tipologie risicole sul territorio e le stime sulle estensioni di coltivazione di queste. L'informazione ancillare reperita rappresenta uno strato informativo sul Bangladesh di tipo "statico" (calendari agronomici) e riferito all'ultima stagione (statistico). Questa considerazione, ulteriormente evidenzia la mancanza, di informazioni cartografiche spazialmente distribuite.

## Metodi

### Uso congiunto dei dati SAR e ottici

La metodologia impiegata nel presente lavoro tiene in forte considerazione le caratteristiche di "complementarietà" tra le risoluzioni spaziali e temporali delle due fonti di dati. L'analisi di serie temporali di dati SAR, grazie all'alta risoluzione spaziale del dato (100m), permette meglio di identificare quelle particolari aree interessate da coltivazione risicola spazialmente frammentate e di piccole dimensioni, inoltre, l'operatività in ogni condizione atmosferica dei sensori attivi garantisce l'acquisizione di dati anche durante la stagione monsonica caratterizzata da una fitta copertura nuvolosa (criticità presente nelle aree di fascia climatica tropicale). Questa caratteristica rappresenta un vantaggio rispetto ai sistemi ottici, che in queste condizioni sono affetti dal rumore dovuto alla contaminazione nuvolosa e pertanto registrano dati di bassa qualità. In merito alla risoluzione temporale, nel seguente lavoro viene utilizzata quella di 8 giorni dei sensori MODIS. Questa specifica tecnica, di gran lunga migliore rispetto ai 35 giorni dei dati SAR, consente di analizzare serie temporali più dettagliate (46 osservazioni/anno) indispensabili per poter individuare l'occorrenza delle fasi fenologiche nel corso della stagione. Nella fig.2 viene proposto lo schema adottato per il processamento dei dati SAR e MODIS.

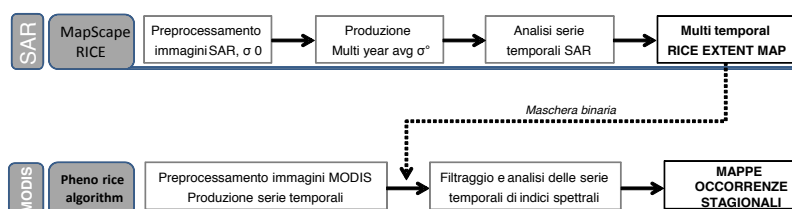


Figura 2. Schema globale della metodologia impiegata per l'analisi dei dati SAR e ottici.

Dallo schema si può notare l'impiego in serie di due algoritmi: il primo, "MapScape-rice" (Holecz et al., 2013) per la produzione della "Multi temporal Rice extent map" dall'analisi di dato SAR, ed il secondo, "Phenorice" (Boschetti et al., 2009; Manfron et al., 2012) per la produzione tramite analisi del dato ottico, di mappe indicanti l'avvento durante la stagionale degli eventi fenologici di emergenze/trapianto (MIN-point) e fioritura/massimo vigore vegetativo (MAX-point). Gli output della prima catena di processamento vengono utilizzati come "maschera guida" per l'analisi condotta dalla seconda catena.

### Processamento e analisi di serie temporali da dato ASAR WS

Le immagini *Single Look Complex* (SLC) ASAR WS sono state acquisite e processate mediante software Mapscape (*basic processing*) ottenendo immagini in valori di back-scattering ( $\sigma^0$ ) e geocodificate. Le principali operazioni per questo preprocessamento risultano essere: (1) mosaico delle strisce (*strip*) di immagine, (2) raggruppamento degli *strip* secondo geometria, (3) correzione orbitale basata su *Digital Elevation Model* (DEM), (4) co-registrazione delle immagini, (5) filtraggio per la rimozione dello Speckle (De Grandi), (6) geocodifica / calibrazione radiometrica / normalizzazione radiometrica e filtro *Anisotropic Non Linear Diffusion* ANLD. Al termine del *basic processing* le immagini vengono unite formando uno *stack* multi-temporale definito come *base line* e di questo vengono valutate per ogni pixel le serie temporali dei valori medi di  $\sigma^0$ ,

omettendo possibili outlier e derivando caratteristiche temporali quali: valore minimo, valore massimo, span massimo/minimo, massimo incremento/decremento della serie. Infine la produzione della *rice extent map* avviene basandosi secondo opportune regole di classificazione. La fig.3 rappresenta graficamente il principio con cui avviene la composizione e l'analisi dei valori di  $\sigma^0$  della *base line* da dato ASAR-WS

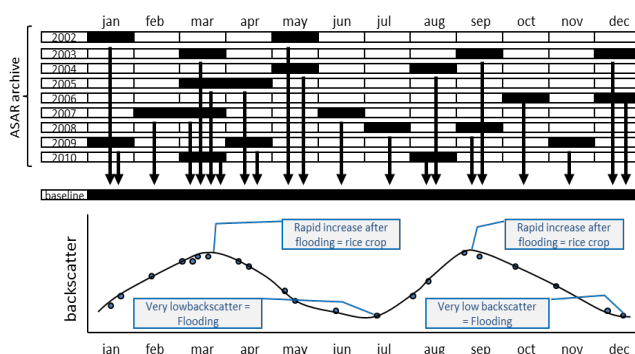


Figura 3. Costruzione di serie temporali medie da dato SAR multi annuale e ottenimento della "base line map": dall'unione delle immagini di archivio si ottiene una serie temporale di dati consistente, i cui valori una volta analizzati e classificati costituiranno la base per produrre la "rice extent map".

### Processamento e analisi di serie temporali da dato MODIS

L'algoritmo PhenoRice si propone di identificare aree soggette a risicoltura ed in queste i principali eventi fenologici stagionali. Il metodo analizza e confronta serie temporali di indici spettrali quali: il *Normalized difference Vegetation Index*, NDVI (Rouse et al., 1977), l'*Enhanced Vegetation Index*, EVI (Huete et al., 2002), il *Land Water Surface Index*, LWSI (2002), il *Normalized Difference Water Index*, NDWI (Rogers et al., 2004) ed identifica aree risicole quando individua lungo le serie temporali la presenza di un inequivocabile evento di sommersione agronomica seguita da rapida crescita vegetativa (Xiao et al., 2005). Le principali fasi del processo sono qui di seguito descritte e fanno riferimento alla fig.4: (1) un pre processamento dei dati per il calcolo degli indici spettrali riferiti alla vegetazione (EVI/NDVI) ed alla presenza di suolo umido o copertura d'acqua al suolo (LSWI/NDWI) per identificare la residua contaminazione nuvolosa sulle immagini analizzando *quality-flags* e riflettanza nel blu; (2) filtraggio delle *time series* di EVI/NDVI con filtro Savitzky-Golay (Chen et al., 2004) con metodo pesato sul grado di contaminazione rilevato sul pixel; (3) calcolo della derivata (rapporto incrementale) dalle serie filtrate di EVI/NDVI, (5) derivazione dei punti di massimo associato alla coltura (MAX) e minimo relativo all'allagamento (MIN). Per ulteriori dettagli si rimanda alla pubblicazione di Manfron et al. (2012).

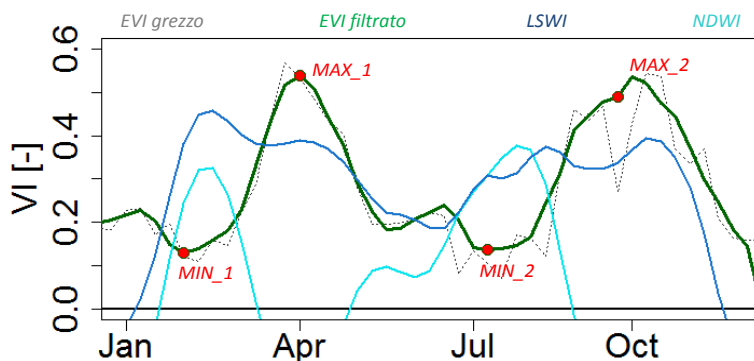


Figura 4. Serie temporale di dati EVI, blu scuro dato filtrato e blu chiaro il dato grezzo. I punti MIN\_1, MAX\_1, MIN\_2 e MAX\_2 sono i punti fenologici identificati con PhenoRice per due stagioni.

Alla fine della la catena di processamento è stato fatto un opportuno post processamento dei risultati raggiunti per poterne sintetizzare le occorrenze fenologiche stimate in relazione ai calendari agronomici delle tipologie risicole (Aman, Boro, Aus) presenti nell'ara studio del Bangladesh.

## Risultati

### Individuazione delle colture risicole e mappe di fenologia del riso

In figura 5a viene riportato il prodotto *Multi-temporal RiceExtent map* per l'area studio del Bangladesh. Questa mappa è il risultato del processamento dei dati SAR ed ha rappresentato in forma di maschera binaria (potenziale area risicola / area non interessata da risicoltura), una fonte dati per guidare l'analisi della fenologia con dato MODIS. Questa mappa rappresenta le superfici dell'area studio che nel periodo 2002÷2010 sono state prevalentemente caratterizzate da attività agricola risicola. Le classi in legenda rappresentano: due stagioni risicole/anno, una stagione risicola/anno, *deep water rice* e risicoltura associata ad altre colture agricole. La risoluzione spaziale del prodotto è 100m.

Per quanto concerne i risultati dell'algorithm Phenorice è possibile apprezzare in figura 5b le sei mappe corrispondenti al rilevamento dell'occorrenza delle fasi fenologiche di emergenza/trapianto (MIN) e fioritura (MAX) per la stagione agronomica 2011. Queste informazioni sono state prodotte in riferimento alle tre principali categorie di riso: BORO (sinistra), AUS (centro) e AMAN (destra). La ripartizione percentuale dell'estensione delle tre tipologie di riso identificate appare coerente con le informazioni ancillari di riferimento (BBS, 2011), BORO (49%) AUS (8%) e AMAN (45%). Vi è inoltre la possibilità di osservare come per il riso BORO le coltivazioni iniziano nel Sud Est del paese (rosso) , per poi culminare a Nord Ovest del paese (rosa-viola). Le coltivazioni di riso AMAN, invece, iniziano a emergere a Nord (verde) per proseguire e culminare verso Sud (giallo). Nella stagione risicola del BORO, non è stata trovata presenza di risicoltura nella parte Sud Ovest del paese per la presenza della "stagione secca" (*dry season*). Questa osservazione è in accordo con le pratiche agricole della zona, dove non risultano coltivazioni nella stagione secca per il rischio di risalita di acque salmastre nelle zone coltivate. L'analisi del riso AUS è stata di più difficile interpretazione, principalmente per la minore presenza di questo sul territorio, è solo possibile notare una maggiore concentrazione di queste nella parte centrale del paese, in prossimità del fiume Gange.

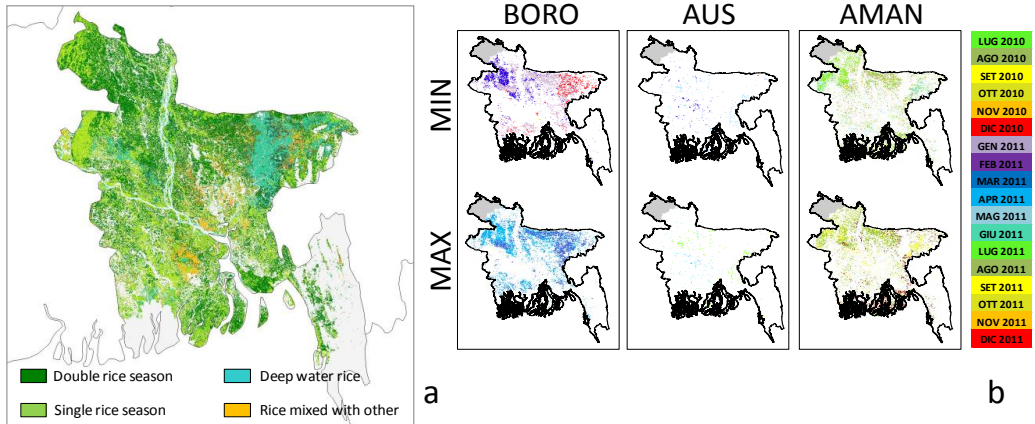


Figura 5. Base line risultante dall'analisi dei dati SAR (a) e mappe di fenologia relative alle occorrenze fenologiche per le tipologie di riso AUS, BORO e AMAN (b).

**Analisi di confronto con calendari agronomici**

In figura 6 viene riportato un esempio di confronto tra l'informazione attualmente reperibile rispetto ai calendari agronomici delle tipologie di riso coltivate in Bangladesh e gli istogrammi di frequenza delle stime fenologiche da dato MODIS. L'analisi da dato ottico consente di mettere in evidenza la variabilità temporale della fenologia, variabilità associata a specifici pattern spaziali (fig. 5b). Si nota un accordo tra calendario agronomico ancillare e stimato nelle coltivazioni delle tipologie BORO e AMAN ed una maggiore variabilità invece, sui dati riferiti alla tipologia AUS.

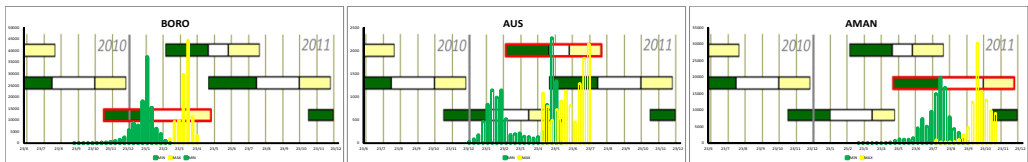


Figura 6. Confronto tra il calendario agronomico FAO/USGS e la distribuzione di frequenza delle occorrenze fenologiche stimate nel tempo dall'algorithm Phenorice.

**Conclusioni**

Il presente lavoro dimostra come sia possibile effettuare una mappatura automatica e un monitoraggio stagionale di aree risicole utilizzando un approccio congiunto tra dati ASAR e MODIS, basato sull'interpretazione della dinamica temporale di segnali ottenuti da telerilevamento. Questo approccio, applicato in maniera totalmente automatica, ha permesso prima di produrre una mappa delle coltivazioni a 100m di risoluzione e poi di cogliere ed interpretare la variabilità spaziale e temporale della fenologia per la stagione 2011 in Bangladesh. L'analisi dei risultati ottenuti è risultata in accordo con le conoscenze sulle pratiche agricole del paese. I dati prodotti aggiungono però informazioni circa le dinamiche stagionali. Proseguimento di questo lavoro di ricerca sarà un ulteriore perfezionamento del metodo Phenorice per ridurne la sottostima delle aree coltivate a riso e la validazione dello stesso tramite misure a terra legate alla fenologia della coltura.

## **Bibliografia**

- Bangladesh Bureau of Statistics BBS, (2011), *Yearbook of Agricultural Statistics of Bangladesh* 2011, 23<sup>rd</sup> ed. Dhaka, 1-160
- Boschetti M, Stroppiana D, Brivio P.A, and Bocchi S, (2009), "Multi-year monitoring of rice crop phenology through time series analysis of MODIS images", *International Journal of Remote Sensing*, 30:18.
- Bouman B.A.M et al, (2001), "Oryza2000: modeling lowland rice", IRRI and Wageningen University,
- Chen J, Jönsson P, Tamura M, Gu Z, Matsushita B and Eklundh L, (2004), "A simple method for constructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter", *Remote Sensing of Environment* 91.
- Hamid, M.A. (1991). *A database on Agriculture and Food grains in Bangladesh*. Ayesha Akhter. 606 North Shahjahanpur, Dhaka. 425 p.
- Heute A. R, Didan K, Miura T, Rodriguez E. P, Gao X., Ferreira L.G, (2002). "Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices". *Rem. Sens. Of Env.* 83 (1-2), 195-213.
- Holecz F, Collivignarelli F, and Barbieri M, (2013), "Estimation of cultivated area in small plot agriculture in Africa for food security purposes", *ESA Living Planet Symposium*, Edinburgh.  
<http://faostat.fao.org/>
- Manfron G, Crema A, Boschetti M, and Confalonieri R, (2012) , "Testing automatic procedures to map rice area and detect phenological crop information exploiting time series analysis of remote sensed MODIS data", Proc. SPIE 8531, *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIV*.
- Rogers A.S, Kearney M.S, (2004). "Reducing signature variability in unmixing coastal marsh Thematic Mapper scenes using spectral indices". *International Journal of Remote Sensing*. 25, 2317–2335.
- Rouse J.W, Haas R.H, Schell J.A, Deering D.W, (1974). "Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS". In: *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*. Greenbelt: NASA SP-351: 301-317.
- United States Department of Agriculture, Global Agricultural Information Network , date: 3/4/2011, GAIN report n°BG1101
- Xiao, X, Boles, S, Frolking, S, Li, C, Babu, J.Y, Salas, W, Moore III, B, (2006), "Mapping paddy rice agriculture in South and Southeast Asia using multi-temporal MODIS images, Remote Sensing of Environment" 100.
- Xiao, X, He, L, Salas, W, Li, C, Moore, B, Zhao, R, et al, (2002), "Quantitative relationships between field-measured leaf area index and vegetation index derived from VEGETATION images for paddy rice fields", *International Journal of Remote Sensing*, 23: 3595– 3604.