

Indici vegetazionali da satellite per il monitoraggio in continuo del territorio

Andrea Spisni^{1*}, Vittorio Marletto¹, Lucio Botarelli¹

Abstract: *This technical paper tries to describe the available satellite vegetation indices, in particular NDVI, for the continuous monitoring of the earth surface. The available time series, the web link for download and some examples of their applications are briefly described.*

In the Region Emilia-Romagna, in forestry applications, the 16 days composite MODIS NDVI time series (AQUA and TERRA) are used for the analysis of anomalies.

The 2008 land use map of Emilia-Romagna is fundamental, as it is used to define the areas of monitoring and validation. At present, the 250/500 m geometric resolution of MODIS, as the future 375 m of VIIRS (SUOMI-NPP), seems to be fine-tuned to identify changes in the vegetation state. Further studies are needed for a better understanding of the accuracy of the system.

Keywords: NDVI, EVI, NDWI, LAI, fPAR, remote sensing, MODIS, AVHRR, SPOT-VEGETATION, SUOMI-NPP, drought, desertification, climate change.

Riassunto: *La presente nota tecnica riporta una descrizione degli indici di vegetazione da satellite, in particolare NDVI, per il monitoraggio in continuo della superficie terrestre. Sono sinteticamente descritte le serie storiche disponibili, i link per il loro download ed alcuni esempi di utilizzo.*

In Emilia-Romagna, in ambito forestale, si utilizzano le serie storiche NDVI a 16 giorni di MODIS (AQUA e TERRA) per l'analisi delle anomalie dell'indice. Di fondamentale importanza è la carta di uso del suolo della Regione Emilia-Romagna, che viene usata per la definizione delle aree di monitoraggio e di validazione. Allo stato attuale, la risoluzione geometrica di 250/500 m di MODIS, come la futura di 375 m di VIIRS (SUOMI-NPP), sembrano individuare variazioni nello stato vegetazionale. Ulteriori studi sono in fase di esecuzione per una migliore comprensione della precisione del sistema.

Parole chiave: NDVI, EVI, NDWI, LAI, fPAR, telerilevamento, MODIS, AVHRR, SPOT-VEGETATION, SUOMI NPP, siccità, desertificazione, cambiamenti climatici.

INTRODUZIONE

Gli indici di vegetazione calcolati da sensori satellitari a media e bassa risoluzione rappresentano un ottimo strumento di monitoraggio del pianeta Terra poiché permettono di cogliere le variazioni di determinate grandezze vegetazionali in modo sinottico. Tipicamente questa categoria di piattaforme è di particolare interesse per applicazioni meteorologiche e per il monitoraggio globale della biosfera. Gli standard adottati nella configurazione dei sensori e la loro capacità di rivisitare giornalmente tutta la superficie terrestre contribuiscono a mantenere un monitoraggio costante nel tempo.

SATELLITI E SENSORI

I principali satelliti attualmente dedicati al monitoraggio della vegetazione sono riportati in Tab. 1. I sensori misurano lo spettro elettromagnetico terrestre acquisendo in più bande comprese nel visi-

bile (VIS), vicino infrarosso (NIR), medio infrarosso (SWIR) e termico (TIR). Le risoluzioni geometriche più alte si hanno generalmente sulle bande del VIS e NIR, mentre nel SWIR e TIR sono più basse. L'energia emessa in queste ultime due bande è minore per cui servirebbero sensori più complessi per ottenere risoluzioni simili alle prime.

Dei sensori riportati quello di maggiore interesse è MODIS poiché fornisce risoluzioni fino ai 250 m particolarmente utili per descrivere un territorio assai eterogeneo dal punto di vista della morfologia ed uso del suolo come quello italiano. Il sensore VIIRS (SUOMI NPP), che rappresenta l'evoluzione di MODIS, è da poco in orbita e sta ultimando la calibrazione.

Per ulteriori dettagli si faccia riferimento a Townshend e Justice (2002) dove si descrive lo sviluppo delle piattaforme satellitari gestite dagli Stati Uniti e destinate all'osservazione in continuo delle Terra. Partendo dalla costellazione NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), vengono descritti i passaggi alla futura costellazione NPOESS (National Polar Operational Environmental Satel-

* Corresponding author Andrea Spisni
e-mail: aspisni@arpa.emr.it

¹ Servizio IdroMeteoClima ARPA Emilia-Romagna

SATELLITE	SENSORI	RIS. GEOM. (M)	ENTE	ANNO LANCIO	SPETTRO
Meteosat Second Generation (MSG)	HRV-SEVIRI	1000-3000	EUMETSAT	2002	VIS-NIR-SWIR-TIR
AQUA	MODIS	250-500-1000	NASA	2002	VIS-NIR-SWIR-TIR
TERRA	MODIS	250-500-1000	NASA	2000	VIS-NIR-SWIR-TIR
NOAA Series	AVHRR	1000	NOAA	1978*-2009**	VIS-NIR-SWIR-TIR
METOP Series	AVHRR/3	1000	EUMETSAT	2006*-2011**	VIS-NIR-SWIR-TIR
SUOMI NPP	VIIRS	375-750	NASA	2011	VIS-NIR-SWIR-TIR
ENVISAT†	MERIS	300	ESA	2002	VIS-NIR
SPOT 5	VEGETATION††	1000	CNES	2002	VIS-NIR-SWIR

* Primo della serie lanciato in orbita, ** Ultimo della serie lanciato in orbita, † Non operativo da inizio aprile 2012

†† Non operativo da fine aprile 2012

Tab. 1 - Satelliti e sensori a media e bassa risoluzione a confronto.

Tab. 1 - List of satellite and sensor of low and medium resolution.

lite System), passando attraverso i satelliti precursori AQUA, TERRA e SUOMI NPP.

COSA SI MISURA

La vegetazione è caratterizzata da una firma spettrale univoca che facilmente la distingue da altri oggetti presenti sulla superficie.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

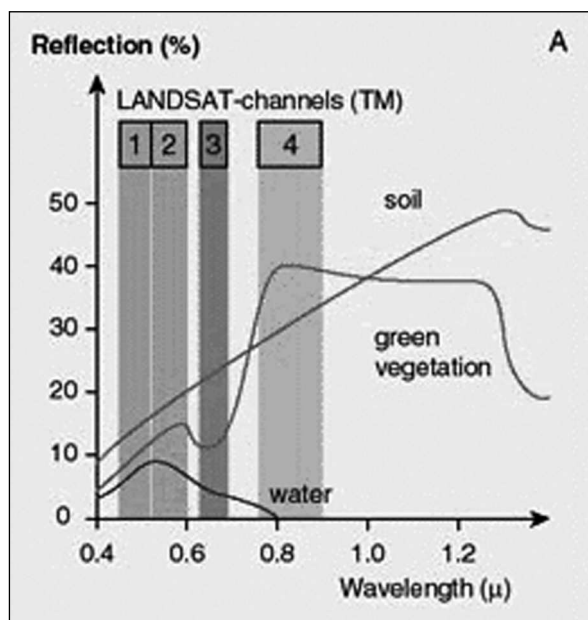


Fig. 1 - Immagine ESA su firme spettrali.

Fig. 1 - ESA image on spectral signatures.

In Fig. 1 [fonte ESA] si mostra l'andamento spettrale di vegetazione, acqua e suolo nudo nello spettro del visibile ed infrarosso. Le piante assorbono luce nel blu e rosso ed emettono nel verde, ma soprattutto nel vicino infrarosso creando un marcato gradino con il rosso (R), chiamato in letteratura "red edge". Questo gradino è la base principale per calcolare l'indice più studiato che si chiama NDVI (normalized difference vegetation index).

Questo indice valuta la presenza di attività fotosintetica in quanto mette in relazione lo spettro del rosso, in cui c'è assorbimento da parte della clorofilla, e quello del vicino infrarosso in cui le foglie riflettono la luce per evitare il surriscaldamento. I valori sono necessariamente compresi tra -1 e +1. La presenza di vegetazione assume valori maggiori di 0.2.

L'indice NDVI è stato utilizzato a partire dagli anni Settanta del secolo scorso per monitorare le caratteristiche biofisiche della vegetazione delle grandi pianure americane. Successivamente l'indice è divenuto il principale indicatore da satellite della presenza di vegetazione sulla superficie terrestre e dell'evolversi della stessa nel tempo.

Le banche dati disponibili e l'ampia bibliografia presente permettono di poter confrontare questo indice in più contesti. Allo stesso tempo, il continuo sviluppo di nuovi sensori che tengono conto dell'interoperabilità dei dati acquisiti garantisce, seppur con le dovute calibrizioni, lunghe serie temporali. Alcune varianti dell'NDVI sono rappresentate da: EVI (enhanced vegetation index) [1] e NDWI (normalized difference water index) (Gao, 1996).

Il calcolo dell'EVI utilizza anche il dato spettrome-

trico riferito alla banda del blu e necessita di specifici coefficienti di calibrazione. L'indice EVI nasce con lo scopo di limitare i problemi dovuti alla eventuale presenza di nubi/foschia/fumo e di evitare la saturazione dei valori che caratterizza NDVI nelle aree equatoriali. Queste circostanze però sono poco comuni alle nostre latitudini.

L'indice NDWI invece sostituisce la banda del rosso con il medio infrarosso. Si misura così una grandezza differente rispetto all'NDVI, in quanto la risposta nel medio infrarosso è molto diversa rispetto al rosso. Per questo, il significato intrinseco dell'NDVI è più facilmente associabile allo stato della vegetazione.

Anche grandezze come il LAI (indice di area fogliare) che rappresenta l'area totale delle foglie per unità di superficie del terreno o fPAR (frazione della radiazione solare assorbita dalle piante) possono essere stimate da satellite attraverso equazioni basate sull'NDVI.

Uno studio sul Nord America (Fang et al., 2008) mostra che l'applicazione di filtri spazio temporali permette di migliorare la precisione nella descrizione del LAI ottenuto da MODIS.

Rossi *et. al.*, (2008) hanno invece comparato differenti indici di siccità, come SPI (da dati meteo), NDVI e fPAR (da MERIS) sull'area di studio della penisola iberica. I risultati mostrano come fPAR può potenzialmente integrare la valutazione del livello di siccità di un territorio. La sua applicazione però rimane a livello sperimentale.

PRODOTTI E ARCHIVI DISPONIBILI SUL WEB

Di seguito vengono descritti alcuni archivi disponibili on line. In Tab. 2 si riportano i collegamenti diretti agli stessi.

VITO

Le serie storiche NDVI del sensore SPOT-VEGETATION dell'agenzia spaziale francese CNES (Centre national d'études spatiales) sono gestite dal gruppo di lavoro VITO [II]. I dati diventano gratuiti tre mesi dopo l'acquisizione.

Sono elaborati i valori giornalieri, definiti come S1

o la composizione a 10 giorni S10, creata tramite la scelta del pixel con il valore più alto (maximum value composite – MVC).

Sono disponibili anche i dati D10, corretti attraverso la calibrazione BRDF (bi-directional reflectance distribution function). Mentre nel prodotto S10 sono riportati tutti i pixel, nel D10 viene applicato un controllo maggiore sulla qualità dell'immagine e solo i pixel con i valori migliori sono mantenuti. In questo caso si genera una immagine che presenta buchi in caso di pixel contaminati o nuvolosi in tutta la composizione a 10 giorni.

La serie copre il periodo dal 1998 a marzo 2012. Tutti i formati sono a 1 km di risoluzione spaziale in coordinate geografiche. Le immagini sono distribuite in formato hdf.

WCD-DLR

Il sito gestito dall'Agenzia Spaziale Tedesca (DLR) [III] elabora e distribuisce immagini giornaliere, composizioni settimanali e mensili di NDVI a partire dalla costellazione NOAA.

Le immagini coprono tutta Europa. Le mappe giornaliere sono composte tramite MVC, mentre le mappe settimanali e mensili subiscono varie fasi di elaborazione per garantire una migliore discriminazione delle aree coperte da nubi. Le immagini sono a 1.1 km di risoluzione geometrica, La finestra temporale copre quasi interamente il periodo dal 1994 all'attuale [IV].

GIMMS

Il gruppo del Global Land Cover Facility (GLCF) [V] gestisce l'archivio GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies) in cui è disponibile la banca dati NDVI ricavata dalla costellazione NOAA (satelliti 7-9-11-14-16, sensore AVHRR). La finestra temporale coperta va dal 1981 al 2006 con copertura globale.

La risoluzione geometrica è di 8 km. Le immagini sono in formato tif in coordinate geografiche.

LP DAAC

Il sito LP DAAC [VI] gestito da NASA e USGS distribuisce i prodotti a media risoluzione elaborati a

ARCHIVIO	WEB LINK
VITO	http://www.vgt.vito.be/pages/catalogue.html
WCD-DLR	http://wcd.dlr.de/data_products/SURFACE/NDVI/index.html
GIMMS	http://glcf.umiacs.umd.edu/data/gimms/
LP DAAC	https://lpdaac.usgs.gov/get_data/

Tab. 2 - Link diretti alle banche dati descritte (accesso al 20/08/2012).

Tab. 2 - Link to images website archives.

partire dalla riflettanza delle immagini MODIS. Le grandezze calcolate sono indici come LAI, fPAR, NDVI e EVI, classificazione e dinamiche della copertura del suolo, anomalie termiche ed incendi. Una descrizione dei prodotti MODIS è disponibile al link [VII]. Nelle Tab. 3 e 4 si riporta una descrizione sintetica delle grandezze. La lettera dopo la "M" o tra parentesi si riferisce al satellite: O per TERRA, Y per AQUA e C per combinazione AQUA e TERRA.

I dati di input per il calcolo delle variabili ambientali sono le immagini elaborate MO(Y)D09. Esse sono espresse in riflettanza alla superficie e derivano dai prodotti calibrati radiometricamente e geometricamente (livello L1B). Gli elaborati finali possono essere frutto della combinazione di più prodotti. Ad esempio nel calcolo del LAI viene usata anche la classificazione dei biomi terrestri disponibile in MOD12. Quest'ultimo è particolarmente interessante poiché riporta la classificazione al 2009 della copertura del suolo derivata dalla serie storica delle immagini MODIS in cui è per ben visibile l'individuazione dell'urbano su tutta la pianura emiliano-romagnola. La principale legenda disponibile è quella suggerita da IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme) [VIII].

La serie di prodotti MO(Y)D17 stima la produttività primaria lorda e netta, espressa in kg di Carbonio per m², a livello annuale o a livello settimanale.

Attualmente la serie storica sta subendo una fase di rielaborazione per migliorare i risultati sulle aree contaminate da nubi. Questi prodotti sono validati allo stadio 3, che indica che l'accuratezza è stata verificata su misure indipendenti con un rigoroso appoggio statistico.

Le immagini possono essere cercate sul sito NASA [IX] o scaricate direttamente via ftp [X]. Le immagini sono in formato hdf, proiettate su griglia sinusoidale (Fig. 2). La finestra temporale va dal 2000 all'attuale.

Si riportano i link ai documenti tecnici che descrivono la base teorica degli algoritmi di calcolo di alcuni prodotti MODIS trattati:

- NDVI e EVI (MOD13) [XI]
- LAI e fPAR (MOD15) [XII]
- Anomalie termiche ed incendi (MOD14) [XIII]
- Copertura del suolo (MOD12) [XIV]

Sono disponibili molti studi in cui vengono messe a confronto le varie banche dati. Ad esempio Fensholt *et. al.*, (2009) confronta i dati GIMMS, MODIS e SPOT VEGETATION sulle aree del Sahel, verificando che in zone secche la bassa risoluzione del sensore AVHRR riesce a monitorare le variazioni, mentre nelle zone più umide, i prodotti MODIS a maggiore risoluzione risultano migliori. Anche Brown *et. al.*, (2006) confrontano più data set so-

CODICE	PRODOTTO	PIATTAFORMA	RIS. GEOM. (M)	PERIODO
MO(Y)D13	Indici di vegetazione (NDVI e EVI)	TERRA e AQUA	250-500-1000	Composizione a 16 giorni o mensile
MO(Y o C)D15	LAI e fPAR	TERRA, AQUA e combinazione TERRA+AQUA	1000	Composizione a 4 o 8 giorni
MO(Y)D17	Produttività primaria lorda e netta	TERRA	250	Annuale o composizione a 8 giorni

Tab. 3 - Prodotti sull'ecosistema.

Tab. 3 - Ecosystem Products.

CODICE	PRODOTTO	PIATTAFORMA	RIS. GEOM. (M)	PERIODO
MO(Y)D13	Indici di vegetazione (NDVI e EVI)	TERRA e AQUA	250-500-1000	Composizione a 16 giorni o mensile
MO(Y o C)D15	LAI e fPAR	TERRA, AQUA e combinazione TERRA+AQUA	1000	Composizione a 4 o 8 giorni
MO(Y)D17	Produttività primaria lorda e netta	TERRA	250	Annuale o composizione a 8 giorni

Tab. 4 - Prodotti sulla copertura terrestre.

Tab. 4 - Land Products.

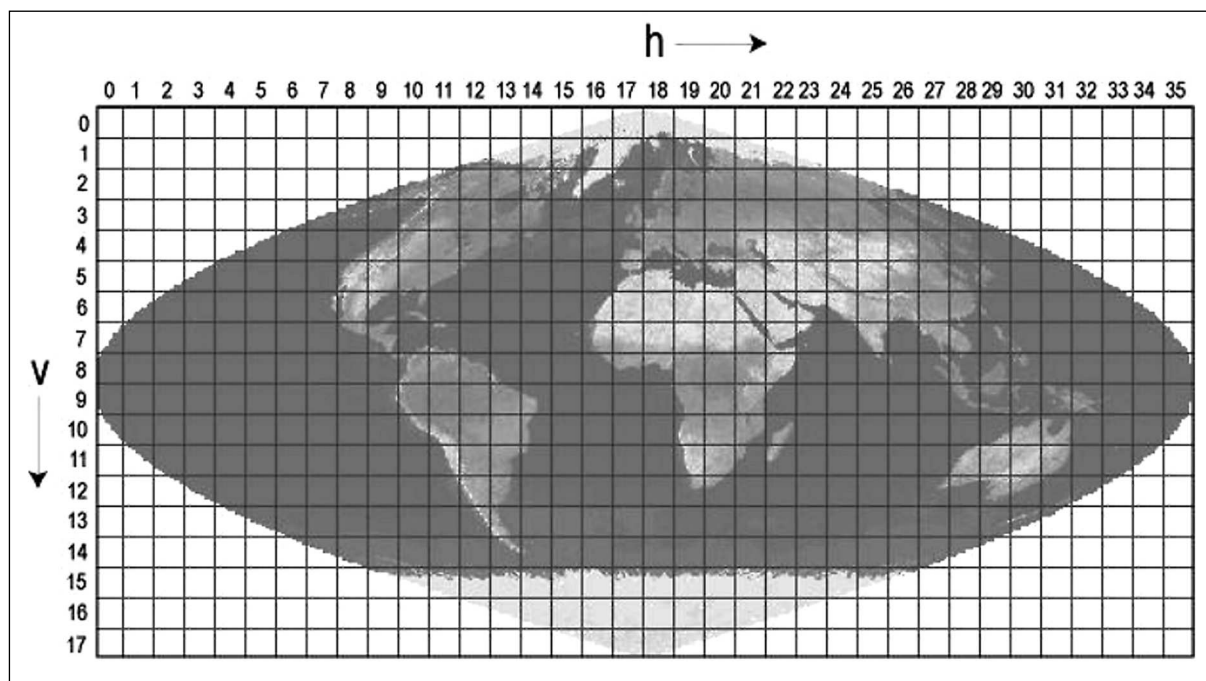


Fig. 2 - Griglia sinusoidale dei dati MODIS.
Fig. 2 - Sinusoides grid of MODIS.

stenendo che i dati raccolti dalla serie NOAA forniscono informazione fondamentale per il monitoraggio in continuo dell'indice NDVI.

Gallo *et. al.*, (2005) hanno verificato che il riprocessamento delle vecchie serie storiche NDVI da AVHRR può permettere il loro confronto con sensori tipo MODIS e VIIRS.

APPLICAZIONI NEL MONDO

A livello italiano non risulta disponibile un portale unico del monitoraggio basato su indici da satellite. Ogni regione può predisporre i suoi strumenti, ad esempio la Toscana usa NDVI e sue anomalie per studi sullo stato della vegetazione [XV].

A livello europeo, l'osservatorio della siccità (JRC-EDO) pubblica elaborazioni su NDWI (da MODIS) e fPAR (da MERIS). Questi prodotti sono consultabili tramite un webgis [XVI]. Agli indici da satellite si affiancano altri indicatori di tipo meteorologico. Questo servizio attualmente ha sospeso la produzione delle mappe fPAR a causa del guasto permanente avvenuto a ENVISAT.

In Spagna sono stati compiuti studi su differenti banche dati di NDVI da AVHRR per valutare la consistenza della variazione del bilancio del carbonio (Alcaraz-Segura *et. al.*, 2010). Lo studio suggerisce di valutare i trend considerando anche date di più sensori per sopperire a eventuali mancanze di coerenza spaziale tra le immagini.

Negli Stati Uniti i servizi di monitoraggio della siccità gestiti dalla NASA usano le serie storiche NDVI per il controllo in continuo della siccità, integrando dati storici derivati dalla serie NOAA AVHRR e MODIS. Alla pagina web [XVII] si riportano alcuni riferimenti bibliografici di interesse, mentre alla pagina web [XVIII] si possono consultare le analisi eseguite durante la grave siccità di luglio 2012. Uno dei primi studi su NDVI e siccità è stato compiuto da Kogan (1995) sulla siccità degli anni Ottanta del secolo scorso negli Stati Uniti.

In Messico gli indici EVI e NDVI sono stati utilizzati per caratterizzare lo sviluppo fenologico di campi di mais. I confronti hanno riguardato sia il sensore MODIS che SPOT-VEGETATION, mostrando che i prodotti D10 meglio identificano le variazioni di crescita delle colture agricole. Nella realtà messicana non è stato notato un miglioramento dei risultati passando dai 1000 ai 250 m di risoluzione geometrica (Chen *et. al.*, 2006).

Esempi di utilizzo dell'NDVI sono disponibili anche per la Cina sulle aree Nord occidentali (Wang *et. al.*, 2007) o in Tibet (Weishou *et. al.*, 2011).

Il servizio meteorologico australiano elabora mappe di NDVI dai sensori della costellazione NOAA a livello mensile [XIX].

Nell'ambito del programma di osservazione globale del clima (GCOS), l'organizzazione meteorologica mondiale (OMM), in collaborazione con UNESCO

e UNEP, propone l'indice fPAR come indicatore per il clima globale e ne fissa le raccomandazioni per integrare dati esistenti e futuri.

APPLICAZIONI IN EMILIA-ROMAGNA

Tra gli indicatori di siccità, Arpa ha scelto di post elaborare i prodotti NDVI a 16 giorni di AQUA e TERRA (MOD13Q1) a risoluzione di 250 m, creando una banca dati su tale riferimento. Le immagini distribuite a libero accesso dalla NASA sono validate, ampiamente utilizzate, facilmente gestibili e con diffusa bibliografia di supporto. Disponendo poi di dati geografici di dettaglio è possibile concentrare il monitoraggio su zone mirate e su specifiche finestre temporali. Visto il carattere tecnico del servizio questi sono stati i motivi principali che hanno portato alla scelta di questo tipo di immagini.

Il periodo coperto va dal 17 maggio al 15 ottobre e la metodologia si basa sull'estrazione delle medie e anomalie sulle aree forestali di montagna (dati vettoriali dell'uso del suolo 2008, Regione Emilia-Romagna). Per consultare i bollettini fare riferimento al sito Arpa [XX].

Questo approccio permette di eliminare falsi allarmi sulle aree agricole ed urbane e di valutare solo una classe naturale in espansione. Ogni anno vengono fatti dei rilievi con personale forestale per valutare qualitativamente la corrispondenza dei dati. Si è verificato che nel caso di forte siccità i valori dell'indice registravano cali significativi. Il fenomeno è risultato visibile sia sulle faggete che nelle zone appenniniche più esposte a sud caratterizzate da roverelle (*Quercus pubescens*). Sulle faggete sono stati visti trasparenza della chiome e arricciamento dell'apparato fogliare dei getti degli ultimi anni (rami a frusta), mentre comune ad entrambe le formazioni è stata la precoce perdita fogliare.

Dal 2012 è iniziato uno studio di validazione locale su alcune faggete collocate a monte del bacino del Brasimone (Bologna).

Oltre ai bollettini, questi prodotti sono stati usati anche in altri campi:

- Analisi anomalie NDVI su provincia di Ferrara per l'estate 2006
- Individuazione delle aree golenali inondate durante la piena del Po nella primavera 2009
- Analisi anomalie NDVI su castagneti della Valle del Santerno per l'anno 2011 e 2012
- Sperimentazione del progetto COLT a risoluzione minima di 6 ha (Spisni et al., 2011) [XXI]
- Analisi della diffusione della zanzara tigre (Albieri et. al., 2009)

Questi sono alcuni lavori eseguiti da Arpa a scala geografica regionale, essi vogliono essere uno spunto per altre future applicazioni tecniche e per diffondere a livello locale questi preziosi dati.

CONCLUSIONI

Durante l'ultimo decennio l'analisi degli indici vegetazionali da satellite si è dimostrata un valido strumento di supporto allo studio dei cambiamenti climatici e delle dinamiche dell'uso del suolo a livello nazionale e globale. Ulteriori approfondimenti sull'efficacia a scala locale/regionale potranno essere sviluppati, in modo da validare i risultati e garantire un proficuo accesso a queste fonti di dati temporalmente distribuite e a bassi costi.

La scelta delle agenzie spaziali internazionali di continuare a progettare sensori a medie risoluzioni, minori di 1 km, gioca a favore degli studi locali. SUOMI NPP della NASA è un buon esempio, mentre ESA risulta in ritardo, anche a causa della perdita di ENVISAT, ed è in attesa del lancio, previsto per la fine del 2013, di Sentinel-3 a 300 m di risoluzione geometrica. Il sensore OLCI segue le orme di MERIS [XXII]. Il satellite fa parte della costellazione Sentinel prevista dal programma europeo GMES [XXIII e XXIV].

Un ultimo aspetto di notevole importanza nella scelta dei prodotti è legato anche alla facilità di accesso ai dati. Anche in questo caso, fino ad ora, gli archivi statunitensi di NASA, NOAA e USGS sono risultati i più accessibili e funzionali in riferimento alla complessità dei data set distribuiti.

BIBLIOGRAFIA

- Albieri A., Brunelli P., Carrieri M., Angelini P., Venturelli C., Farina M., Spisni A., Bellini R., 2009. Study on landscape factors influencing spatial distribution and abundance of *Aedes albopictus* (skuse) to improve local scale distribution modeling. Atti Vectors without borders, 5th International Congress of vector ecology, Belek Antalya (Turkey), 11-16/10/2009.
- Alcaraz-Segura D., Liras E., Tabik S., Paruelo J., Cabello J., 2010. Evaluating the consistency of the 1982-1999 NDVI trends in the Iberian Peninsula across four time series derived from the AVHRR sensor: LTDR, GIMMS, FASIR and PAL-II. Sensors 10:1291-1314.
- Bo-Cai G., 1996. NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. Remote Sens. Environ., 58: 257-266.
- Brown M.E., Pinzon J.E., Didan K., Morisette J.T., 2006, Evaluation of consistency of long-term

- NDVI time series derived from AVHRR, SPOT-VEGETATION, SeaWiFS, MODIS and Landsat ETM+ sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 44(7): 1787-1793.
- Chen P., Fedosejevs G., Tiscareno-Lopez M., Arnold J.G., 2006. Assessment of modis-evi, modis-ndvi and vegetation-ndvi composite data using agricultural measurements: an example at corn fields in western Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment* 119:69-82.
- Fang H., Liang S., Townshed J.R, Dickinson R.E, 2008, Spatially and temporally continuous LAI data sets based on an integrated filtering method: Examples from North America, *Remote Sens. Environ.*, 112: 75-93.
- Gallo K., Ji L., Reed B., Eidenshink J., Dwyer J., 2005, Multi-platform comparisons of MODIS and AVHRR normalized difference vegetation index data, *Remote Sens. Environ.*, 99: 221-231.
- Kogan F.N., 1995. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA Polar-Orbiting Satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 76, n. 5: 655:668.
- Rossi S., Weissteiner C., Laguardia G., Kurnik B., Robustelli M., Niemeyer S., Gobron N., 2008, Potential of meris fAPAR for drought detection, Proc. of the 2nd MERIS/ (A)ATSR User Workshop, Frascati, Italy 22-26 September 2008 (ESA SP-666, November 2008).
- Spisni A., Praticcoli W., Gallo A., Villani G., Marletto V., 2011. Gestione della risorsa irrigua con immagini a bassa risoluzione. *Atti convegno AIAM 2011, Bologna 7-9 Giugno.*
- Townshed R.G., Justice C.O., 2002, Towards operational monitoring of terrestrial systems by moderate-resolution remote sensing, *Remote Sens. Environ.*, 83: 351-359.
- Wang J., Guo M., Wang X., Yang J., 2007. Comparison of normalized vegetation index from MODIS Terra and Aqua data in northwestern China. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.*: 3390-3393.
- Weishou S., Di J., Hui Z., Yan Shouguang Y., Haidong L., Naifeng L., 2011. The Response Relation between Climate Change and NDVI over the Qinghai-Tibet plateau. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 59: 2216-2222.

WEB

- [I] <http://en.wikipedia.org/wiki/EVI>
- [II] <http://www.vgt.vito.be/>
- [III] <https://centaurus.caf.dlr.de:8443/eoweb-ng/template/default/welcome/entryPage.vm>
- [IV] http://wdc.dlr.de/data_products/SURFACE/ndvi_avhrr.php
- [V] <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/gimms/>
- [VI] <https://lpdaac.usgs.gov/>
- [VII] https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table
- [VII] <http://www.igbp.net/>
- [IX] <http://reverb.echo.nasa.gov/>
- [X] https://lpdaac.usgs.gov/get_data/data_pool
- [XI] http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf
- [XII] http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod15.pdf
- [XIII] http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod14.pdf
- [XIV] http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod12.pdf
- [XV] <http://www.lamma.rete.toscana.it/node/3594>
- [XVI] <http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1120>
- [XVII] http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_1.php
- [XVIII] <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=78553> (accesso 20/08/2012)
- [XIX] <http://www.bom.gov.au/jsp/awap/ndvi/index.jsp>
- [XX] http://www.arpa.emr.it/sim/?telerilevamento/ndvi_anomalie
- [XXI] http://www.agrometeorologia.it/documenti/Aiam2011/21_SPISNI.pdf
- [XXII] http://www.esa.int/esaLP/SEMST4KXMF_LPgmes_0.html
- [XXIII] http://www.esa.int/esaLP/SEMRR10DUSE_LPgmes_0.html
- [XXIV] <http://www.gmes.info/>

Ove non specificato i siti sopra riportati sono stati verificati nel mese di giugno 2012.