

## COMPATIBILITÀ ED INTEGRAZIONE DI DATI NDVI DA SENSORI AVHRR/NOAA E SEVIRI/MSG

Gabriele POLI (\*), Giulia ADEMBRI (\*), Maurizio TOMMASINI (\*), Matteo POLVERINI (\*)

(\*) Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni, Università di Firenze, Via S. Marta, 3 – 50139 FIRENZE, tel: +39 055 4796267, fax: +39 055 494569, e-mail: [g.poli@labtele.det.unifi.it](mailto:g.poli@labtele.det.unifi.it), [g.adembri@labtele.det.unifi.it](mailto:g.adembri@labtele.det.unifi.it), [m.tommasini@labtele.det.unifi.it](mailto:m.tommasini@labtele.det.unifi.it), [m.polverini@labtele.det.unifi.it](mailto:m.polverini@labtele.det.unifi.it)

### Riassunto

L'Indice di Vegetazione Normalizzato (NDVI), ricavato da osservazioni satellitari, è un efficace indicatore dello stato della vegetazione. Già a partire dai primi anni 80, sono operative tecniche per l'ottenimento di NDVI dal sensore AVHRR a bordo dei satelliti NOAA. Fino ad oggi tale sensore, pur rinnovato tecnologicamente nel corso degli anni, ha mantenuto sostanzialmente le stesse caratteristiche radiometriche; ciò ha contribuito a creare un'ampia serie storica di osservazioni confrontabili tra loro, utili a monitorare lo stato della vegetazione su larga scala temporale. Nell'elaborazione dei dati acquisiti da sensori di nuova generazione (es. MODIS e MERIS), la metodologia con cui è stata costituita la serie storica di dati NOAA viene presa come riferimento per l'ottenimento di immagini NDVI "AVHRR-compatibili", cioè confrontabili con le osservazioni NOAA.

In questo lavoro viene presentata un'analisi, su base statistica, della compatibilità degli indici NDVI ottenuti dai sensori AVHRR e SEVIRI (METEOSAT Seconda Generazione – MSG), ricevuti direttamente ed in tempo reale presso la Stazione Ricezione Satelliti del Polo Universitario di Prato. Obiettivo del lavoro è di valutare il grado di compatibilità tra gli indici NDVI AVHRR e SEVIRI e di ricavare indicazioni circa la possibilità di integrare i dati MSG e NOAA, sfruttando i diversi vantaggi dei due sensori (l'alta frequenza temporale delle immagini disponibili – un'immagine ogni 15 minuti – e l'invarianza della geometria di ripresa Terra-Satellite per il SEVIRI; la maggiore risoluzione spaziale dell'AVHRR). Un buon grado di compatibilità può permettere la fusione dei dati AVHRR e SEVIRI, aumentando la probabilità di disporre di più pixel immagine non coperti da nubi e osservati con condizioni di illuminazione predefinite. Con procedura analoga a quella seguita da NOAA, è stato calcolato l'NDVI come rapporto tra differenza e somma delle riflettanze nell'infrarosso vicino e nel rosso ed è stata impiegata una tecnica composita (con periodo di composizione di un mese), per limitare gli effetti atmosferici. L'analisi è stata effettuata con dati AVHRR e SEVIRI del 2006 sulla Regione Sicilia nei mesi in cui sono stati osservati i valori massimi (aprile) e minimi (agosto) di vegetazione; i dati di NDVI sono stati inoltre geolocalizzati e registrati su mappe Mercatore con interpolazione *nearest neighbour*. Per ciascun mese sono stati analizzati gli istogrammi ottenuti dalle singole mappe composite di NDVI e dalle mappe della differenza tra gli indici ricavati dai due sensori; attraverso i diagrammi di diffusione AVHRR/SEVIRI, è stata condotta una prima verifica della correlazione degli indici ottenuti dai due sensori, evidenziando i diversi parametri statistici ricavati dal calcolo dei momenti geometrici di primo e secondo ordine.

I risultati ottenuti mostrano che esiste, nell'ambito della particolare zona scelta e dei periodi considerati, una buona correlazione lineare tra gli indici NDVI ottenuti con i sensori AVHRR e SEVIRI.

### Abstract

The Normalised Vegetation Index (NDVI) is an efficient vegetation status indicator that is extracted from satellite observations. Since the 80s, techniques have been in operation for obtaining NDVI from the AVHRR sensor. Up to today this sensor, though having been technologically renewed throughout the years, has substantially maintained the same radiometric characteristics; this has contributed to the creation of a wide range of historical observations, comparable between themselves, which are useful in monitoring the vegetation status on a large temporal scale. The methodology with which the historical NOAA data series was formed is used for processing data acquired from new generation sensors (e.g. MODIS and MERIS). It is also used as a reference for obtaining "AVHRR-compatible" NDVI images, meaning they are comparable to NOAA observations.

A statistic-based analysis is presented in this paper on the compatibility of NDVI indices obtained from AVHRR and SEVIRI (METEOSAT Second Generation – MSG) sensors, received directly and in real-time at the Satellite Receiving Station at the University of Prato. The goal of this work is to evaluate the level of compatibility between the NDVI AVHRR and SEVIRI indices and to extract indications for possibly integrating MSG and NOAA data, benefiting in various ways from the two sensors (high temporal frequency of available images – an image every 15 minutes – and the geometric invariance of the Earth-Satellite view for SEVIRI; AVHRR's finest spatial resolution). A good compatibility level can make the fusion of AVHRR and SEVIRI data possible, increasing the probability of better arranging more

image pixels that are not covered by clouds and are observed with predefined illumination conditions. An analogous procedure to the one followed by NOAA was used in calculating the NDVI status as the relationship between the reflectance difference and sum in the near infrared and red; a composite technique was then applied (with a one month composition period) for limiting atmospheric effects. The analysis was performed with AVHRR and SEVIRI data from 2006 over the Sicily Region in the months in which maximum (April) and minimum (August) vegetation values were observed; NDVI data are moreover geolocated and recorded on Mercator maps with nearest neighbour interpolation. For each month, histograms were analysed which were obtained from single NDVI composite maps and those that show the difference between extracted indices from the two sensors; through AVHRR/SEVIRI scatter plots an initial evaluation was performed of the indices correlation from the two sensors, highlighting the various statistic parameters obtained from the evaluation of first and second order geometric moments. Results show that good linear correlations exist between NDVI indices obtained with AVHRR and SEVIRI sensors in the specific areas chosen and in the periods of interest.

### Introduzione

La recente attività del Laboratorio di Telecomunicazioni dell'Università di Firenze e della Stazione Ricezione Satelliti del Polo Universitario di Prato (anni 2004-2006) ha riguardato la partecipazione al progetto SEDEMED II (Sécheresse et Désertification dans le bassin Méditerranée), finalizzato alla rilevazione di fenomeni di desertificazione nel bacino del Mar Mediterraneo. Nell'ambito di tale attività, il calcolo dell'indice NDVI, tramite la [1] con le riflettanze misurate nell'infrarosso vicino ( $R_{NIR}$ ) e nel rosso ( $R_{RED}$ ) (NOAA, 1997), riveste una notevole importanza per il monitoraggio dello stato della vegetazione, della siccità e per l'individuazione di tendenze alla desertificazione.

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad [1]$$

L'attività svolta si è avvalsa della strumentazione, in possesso della Stazione Ricezione Satelliti, per la ricezione diretta ed in tempo reale dei satelliti NOAA (NOAA 12, 15, 17, 18) e METEOSAT Seconda Generazione (MSG 1, 2), di software originale appositamente sviluppato, ed anche dell'ampio archivio della Stazione con dati satellitari, grezzi ed elaborati (circa 40'000 files grezzi AVHRR, 80'000 METEOSAT-7, 50'000 MSG ricevuti a partire dal 1997 e più di 2'000 immagini elaborate).

Usando i dati AVHRR e SEVIRI (disponibili da gennaio 2006), sono state prodotte mappe Mercatore di Indice di Vegetazione Normalizzato (NDVI) sulla Regione Sicilia nel periodo dal 2004 al 2006; tali mappe sono state ottenute con tecniche composite, per la minimizzazione degli effetti atmosferici (secondo la procedura illustrata nel seguito), dopo aver applicato un algoritmo di individuazione dei pixel nuvolosi. In particolare, con i dati di aprile ed agosto 2006, è stato condotto uno studio preliminare sulla correlazione tra le osservazioni di NDVI effettuate con i due sensori. Tale studio può fornire indicazioni circa la possibilità di fondere i dati e di ricavare dai dati SEVIRI un indice NDVI "AVHRR-compatibile", problematica già affrontata in relazione ad altri sensori di nuova generazione, come ad esempio MERIS/ENVISAT e MODIS/Terra-Aqua (van Leeuwen, 1999) (Günther, 2005) (Chen, 2005).

### Ottenimento di mappe composite mensili di NDVI da dati AVHRR/NOAA e SEVIRI/MSG sulla Regione Sicilia

Per ottenere le mappe di NDVI è stata utilizzata una tecnica composita MVC (*Maximum Value Composite*) allo scopo di minimizzare l'influenza degli effetti atmosferici (nuvole, vapor d'acqua, aerosol) e della variazione delle condizioni di ripresa e di illuminazione nel calcolo degli indici di vegetazione (Holben, 1986) (Gutman, 1989). L'utilizzo della tecnica MVC consente di evitare, garantendo comunque risultati affidabili, la correzione atmosferica dei dati telerilevati, che necessita talvolta di modelli complessi e di dati atmosferici e climatici non sempre disponibili con sufficiente precisione spaziale e temporale. L'affidabilità della tecnica MVC per il calcolo dell'indice NDVI si basa sull'ipotesi che la vegetazione della zona di interesse non sia soggetta a cambiamenti sensibili nell'arco del periodo temporale di composizione (un mese, nel caso presente) e sul fatto che tutti i fattori che concorrono a contaminare le misure da satellite (atmosfera, illuminazione, ecc.) hanno l'effetto di far diminuire il valore di NDVI rispetto a quello che verrebbe ottenuto nel caso ideale.

La procedura seguita per l'ottenimento di mappe mensili di NDVI sulla Regione Sicilia da dati AVHRR e SEVIRI con tecnica MVC è la seguente:

1. *Scelta degli intervalli temporali di studio.* I periodi di analisi scelti sono i mesi di aprile ed agosto 2006; in questi periodi si registrano sulla Sicilia il massimo della vegetazione (aprile-maggio) e il minimo (agosto-settembre);
2. *Selezione delle immagini AVHRR/NOAA.* Tra quelli disponibili nell'archivio della Stazione Ricezione Satelliti, vengono selezionati i passaggi satellitari diurni, cioè quelli per cui l'elevazione del sole è mediamente maggiore di 10° (4:50 – 17:30 UTC per aprile, 4:20 – 18:20 UTC per agosto) e centrali, cioè quelli per cui almeno il 90% della scena è ripreso con angoli di puntamento inferiori a 25° (Gutman, 1989). Per ogni immagine selezionata vengono registrati l'angolo medio di puntamento da satellite ( $\gamma_m$ ) e gli angoli medi di azimuth ( $Az_{S,m}$ ) ed elevazione ( $El_{S,m}$ ) del sole sulla scena; la Tabella 1 riporta le caratteristiche di alcune delle immagini AVHRR e SEVIRI selezionate per il mese di aprile 2006;
3. *Selezione delle immagini SEVIRI/MSG.* Vengono selezionati i dati MSG, disponibili in archivio, più vicini temporalmente a quelli NOAA già selezionati. Dato che la frequenza temporale delle immagini SEVIRI è di una

ogni quarto d'ora, gli istanti di acquisizione di un'immagine AVHRR e della corrispondente immagine SEVIRI differiscono al massimo di 7 minuti; anche per le immagini SEVIRI vengono registrati gli angoli medi di puntamento da satellite e di elevazione ed azimuth del sole (Tabella 1);

4. *Calcolo dell'indice NDVI*, con la [1], dai dati dei passaggi AVHRR e SEVIRI selezionati;

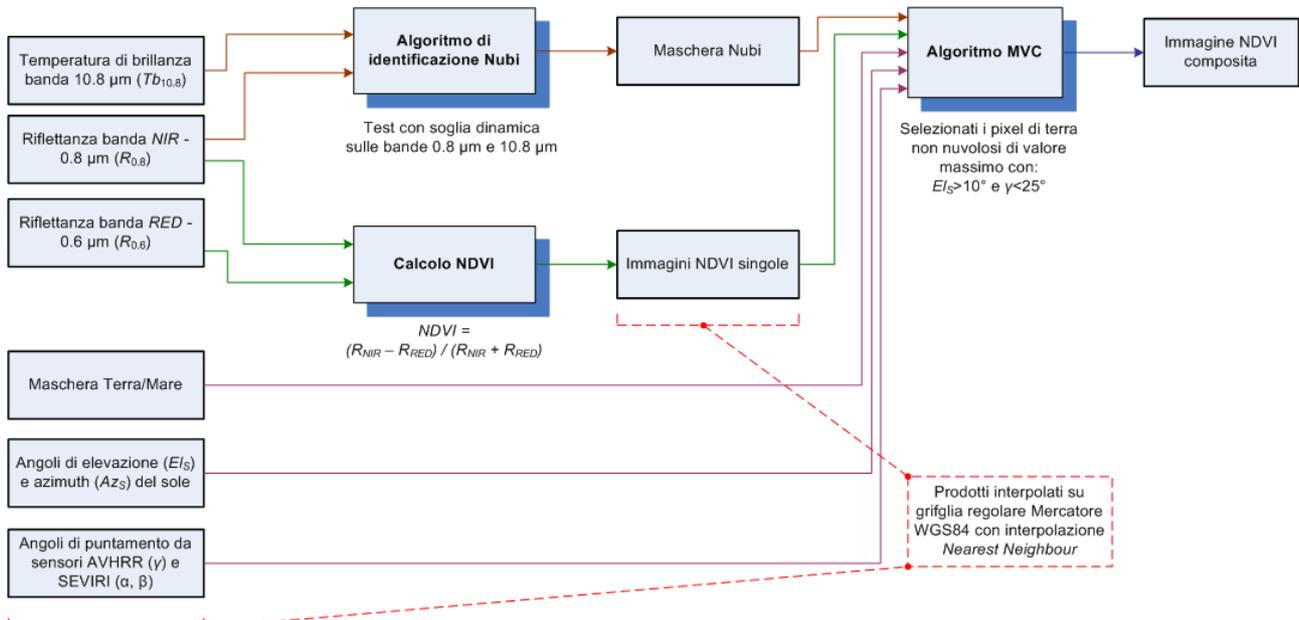


Figura 1 - Procedura seguita per ricavare le mappe mensili composite di NDVI da AVHRR e SEVIRI (tecnica MVC).

5. *Geolocalizzazione e registrazione su riferimento geografico comune Mercatore WGS84 con interpolazione nearest neighbour.* La geolocalizzazione dei dati, che richiede la massima cura possibile (Gutman, 1989), viene effettuata, per i dati NOAA, tenendo conto del modello orbitale; la registrazione dei dati viene effettuata con interpolazione *nearest neighbour* su una griglia regolare Mercatore, con queste caratteristiche: longitudine 11°45'-15°45'; latitudine 36°00'-39°00'; 1156×1088 pixel/riga×righe/imm.; dimensione del pixel 0.282 km;
6. *Individuazione dei pixel nuvolosi nelle immagini registrate.* L'individuazione dei pixel nuvolosi è necessaria per evitare che questi risultino inclusi nell'immagine composta finale. I pixel nuvolosi vengono contrassegnati, sia per l'AVHRR sia per il SEVIRI, tramite un test a soglia sui dati delle bande dell'infrarosso vicino (0.8 μm) e termico (10.8 μm) (Figura 1); la soglia da utilizzare viene calcolata dinamicamente attraverso l'analisi dell'istogramma delle stesse bande (Di Vittorio, 2002);
7. *Ottenimento di mappe composite con tecnica MVC.* Con la tecnica MVC utilizzata vengono scelti, di ogni immagine selezionata, i pixel non nuvolosi che soddisfano le condizioni  $\gamma < 25^\circ$  e  $E_s > 10^\circ$  (Figura 1); la condizione  $\gamma < 25^\circ$  deve essere verificata in particolare modo per i dati AVHRR, mentre per i dati SEVIRI è sicuramente sempre soddisfatta (gli angoli di puntamento massimi valgono circa 8°). Con i pixel scelti, l'immagine finale viene ottenuta componendo nella griglia, in corrispondenza una posizione geografica, i pixel per i quali è stato registrato il massimo livello in quella posizione geografica (Figura 1). La Figura 2 mostra le mappe composite ottenute da dati AVHRR e SEVIRI per i mesi di aprile e agosto 2006.

### Analisi preliminare della compatibilità degli indici NDVI da dati MSG e NOAA sulla Regione Sicilia

Le immagini NDVI composite di aprile ed agosto 2006 sulla Regione Sicilia, ottenute dai dati AVHRR e SEVIRI e rappresentate in falsi colori nella Figura 2, sono state analizzate su base statistica allo scopo di valutare la correlazione e la confrontabilità dei risultati ottenuti con i due diversi sensori.

Nei mesi scelti, il confronto statistico dei dati è stato effettuato in primo luogo analizzando gli istogrammi delle immagini composite ed, in particolare, gli istogrammi della differenza tra gli indici NDVI ottenuti con i due sensori (Figura 3). Sono stati poi studiati i diagrammi di diffusione ottenuti prendendo come ascissa i valori NDVI SEVIRI e come ordinata quelli AVHRR (Figura 4). Lo studio dei diagrammi di diffusione è stato effettuato con la tecnica dei momenti geometrici (Teague, 1980); in particolare, utilizzando le formule [2]-[8] dove  $x$  rappresenta i valori NDVI SEVIRI e  $y$  quelli AVHRR, sono stati calcolati la media ( $X, Y$ ), la varianza ( $\sigma_x^2, \sigma_y^2$ ) e la deviazione standard ( $\sigma_x, \sigma_y$ ) dei valori di NDVI ricavati con i due sensori (Tabella 2).

$$m_{hk} = \sum_{x,y} x^h y^k \quad [2]; \quad N = m_{00} \quad [3]; \quad X = \frac{m_{10}}{N} \quad [4]; \quad Y = \frac{m_{01}}{N} \quad [5];$$

$$\mu_{hk} = \sum_{x,y} (x - X)^h (y - Y)^k \quad [6]; \quad \sigma_x^2 = \frac{\mu_{20}}{N} \quad [7]; \quad \sigma_y^2 = \frac{\mu_{02}}{N} \quad [8]$$

Sempre tramite i momenti geometrici (formule [9]-[11]), sono stati calcolati la covarianza ( $\sigma_{xy}$ ) e il coefficiente di correlazione lineare ( $r$ ) ed è stata effettuata la regressione lineare, prendendo come retta di regressione la retta contenente l'asse maggiore dell'ellisse caratterizzante la distribuzione spaziale dei dati dei diagrammi (Teague, 1980); la retta ha pendenza  $\theta$  ed è passante per il centro del diagramma individuato dalle medie  $X, Y$ . I risultati numerici dell'analisi sono illustrati nella Tabella 3 e nella Figura 4.

$$\sigma_{xy} = \frac{\mu_{11}}{N} \quad [9]; \quad r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad [10]; \quad \theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \right) \quad [11]$$

È opportuno precisare che il metodo di analisi seguito è solamente di tipo statistico e non considera le caratteristiche radiometriche dei canali utilizzati dai sensori AVHRR e SEVIRI; i risultati ottenuti hanno validità esclusivamente regionale e limitata al periodo osservato.

Da una prima analisi degli istogrammi della Figura 3 e dei dati numerici della Tabella 2, si nota che i valori di NDVI SEVIRI sono mediamente più alti di quelli AVHRR e presentano una dinamica leggermente maggiore; questa tendenza risulta più marcata nel mese di aprile, cioè in presenza di un maggior contenuto vegetativo nella scena inquadrata. Inoltre, da un confronto su singolo sensore nei due mesi, si nota che l'indice NDVI SEVIRI tende a conservare di più la dinamica al variare della vegetazione, rispetto all'indice NDVI AVHRR. Tale comportamento è attribuibile alla maggiore sensibilità dei canali SEVIRI, rispetto ai quelli AVHRR, che risulta in una maggiore linearità dell'indice NDVI ricavato.

Data di acquisizione [GG.MM.AAAA]	Caratteristiche immagini AVHRR/NOAA			Caratteristiche immagini SEVIRI/MSG			Posiz. del sole		
	Ora UTC di acquisizione [hh:mm]	$\gamma_m$ [deg]	n. satellite NOAA	Ora UTC di acquisizione [hh:mm]	$\alpha_m$ [deg]	$\beta_m$ [deg]	Diff. AVHRR [min]	$Az_{s,m}$ [deg]	$El_{s,m}$ [deg]
01.04.2006	4:44	26.77	12	4:45	1.85	5.91	+1	84.63	0.22
01.04.2006	5:01	14.68	15	5:00	1.85	5.91	-1	86.90	3.19
01.04.2006	16:20	1.70	15	16:15	1.85	5.91	-5	267.20	11.18
03.04.2006	10:04	26.19	17	10:00	1.85	5.91	-4	154.62	55.28
07.04.2006	12:14	6.50	17	12:15	1.85	5.91	+1	215.42	54.42
07.04.2006	15:18	23.27	12	15:15	1.85	5.91	-3	259.78	24.05
08.04.2006	9:50	6.72	17	9:45	1.85	5.91	-5	147.85	55.73
08.04.2006	12:04	20.17	18	12:00	1.85	5.91	-4	209.90	56.34
13.04.2006	9:35	15.1	17	9:30	1.85	5.91	-5	141.01	55.78
13.04.2006	16:36	23.69	15	16:30	1.85	5.91	-6	273.65	10.25
14.04.2006	4:52	25.47	15	4:45	1.85	5.91	-7	81.30	3.90
14.04.2006	15:45	14.96	12	15:45	1.85	5.91	+0	267.14	19.33
15.04.2006	12:34	20.30	18	12:30	1.85	5.91	-4	224.30	54.78
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Tabella 1 - Caratteristiche di alcune immagini AVHRR e SEVIRI selezionate per NDVI composito di aprile 2006.

Vengono registrati per ogni immagine: data e ora di acquisizione; angoli di puntamento medi dai sensori AVHRR ( $\gamma_m$ ) e SEVIRI ( $\alpha_m, \beta_m$ ); differenza di orario di acquisizione; azimuth ed elevazione medi del sole nella scena ( $Az_{s,m}, El_{s,m}$ ).

La regressione lineare effettuata sui diagrammi di diffusione (Tabella 3, Figura 4) conferma che l'indice NDVI ricavato da dati SEVIRI è mediamente più elevato, soprattutto nel mese di aprile (in aprile la pendenza della retta  $\theta$  è minore di quella ottenuta per agosto). In Tabella 3 i dati SEVIRI e AVHRR mostrano, sia per aprile che per agosto, una buona correlazione ( $r > 0.8$ ) evidenziando una buona somiglianza del contenuto informativo dei dati ricavati dai due sensori. La correlazione tra i dati di NDVI ricavati da SEVIRI e da AVHRR è stata anche valutata dopo aver scartato dai diagrammi una piccola percentuale di punti (circa il 4%) a distanza maggiore di  $3\sigma_d$  dalla retta di regressione (con  $\sigma_d$  deviazione standard delle distanze dei punti del diagramma dalla retta di regressione, Figura 4); in questo caso il valore del coefficiente di correlazione  $r_d$  presenta valori fino a circa 0.9, nel caso del mese di agosto (Tabella 3).

In conclusione, lo studio effettuato ha mostrato che, nonostante l'indice NDVI SEVIRI sia mediamente più elevato di quello AVHRR (soprattutto in presenza di un maggiore contenuto vegetativo nella scena inquadrata), i due sensori producono risultati abbastanza correlati da incoraggiare, magari approfondendo lo studio su tutto l'arco di un anno, l'utilizzo combinato e la fusione dei dati SEVIRI e AVHRR. Un ulteriore studio che consideri anche le caratteristiche radiometriche dei canali SEVIRI e AVHRR utilizzati per il calcolo dell'NDVI potrebbe fornire risultati più precisi per un confronto più approfondito.

**NOTA**

I dati MSG (METEOSAT Second Generation) utilizzati per questo lavoro sono forniti da EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites). Essi sono stati ricevuti grazie alla concessione del

Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (Ministero della Difesa conv. N. 4123/62 of 15.11.2005 and Prot. N.M-DGTEL/4123/2508 of 25.01.2007).

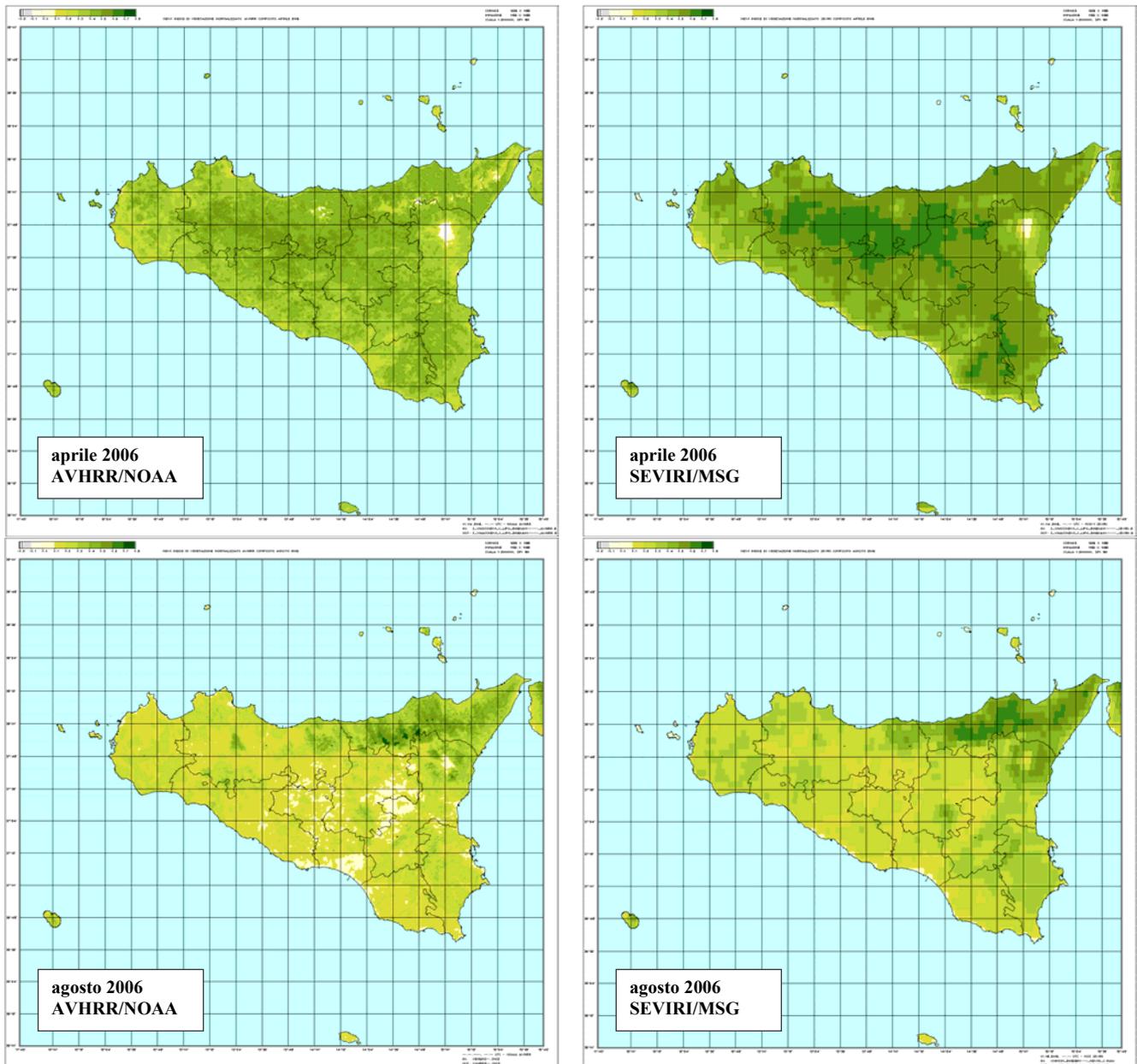


Figura 2 - Mappe Mercatore WGS84 della Regione Sicilia di NDVI ottenute con tecnica composita da dati AVHRR e SEVIRI di aprile e agosto 2006.

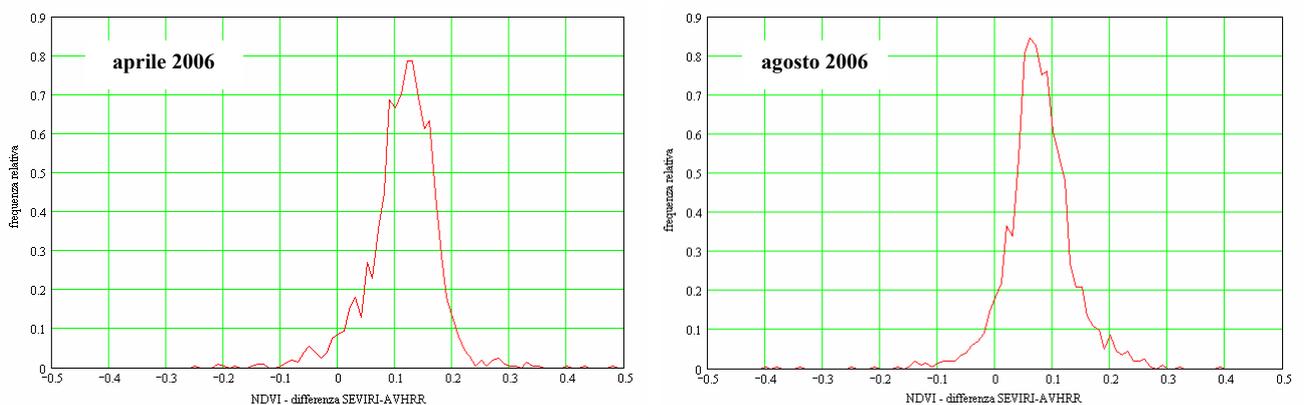


Figura 3 - Istogrammi della differenza tra le mappe composite di NDVI da SEVIRI e AVHRR di aprile e agosto 2006.

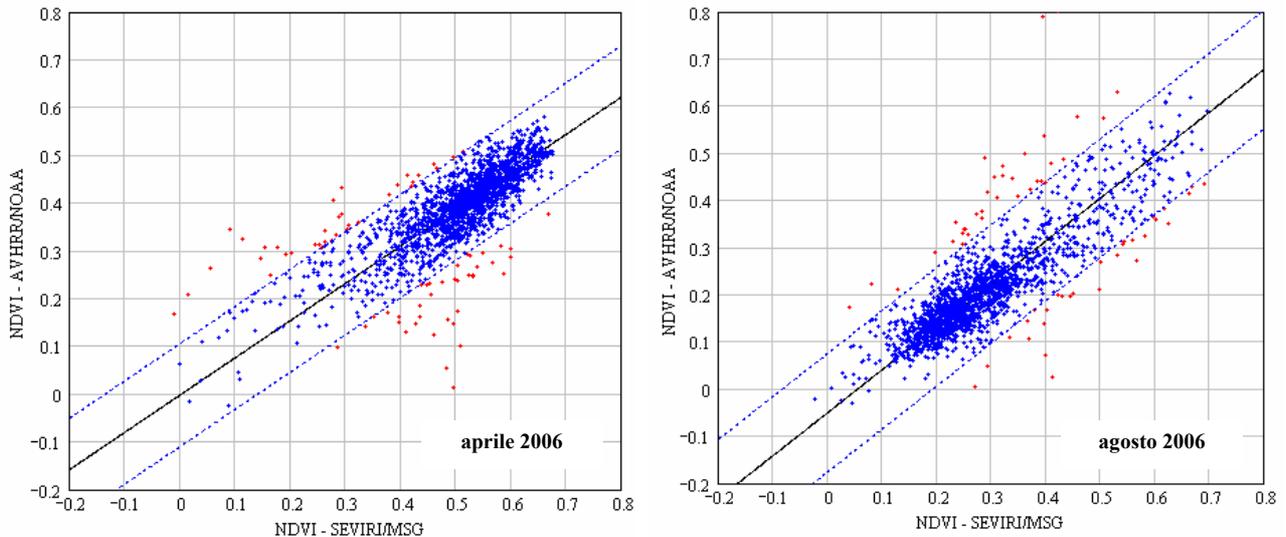


Figura 4 - Diagrammi di diffusione bidimensionali ottenuti dalle mappe composite di NDVI da dati SEVIRI/MSG e AVHRR/NOAA di aprile e di agosto 2006.

Mese	NDVI SEVIRI/MSG			NDVI AVHRR/NOAA			Diff. tra medie e dev. standard	
	X	$\sigma_x^2$	$\sigma_x$	Y	$\sigma_y^2$	$\sigma_y$	X - Y	$\sigma_x - \sigma_y$
aprile 2006	0.503268	0.010790	0.103876	0.391059	0.007230	0.085029	0.112209	0.018847
agosto 2006	0.286930	0.013620	0.116703	0.211725	0.011598	0.107692	0.075205	0.009011
diff. su singolo sensore	0.216338	-0.00283	-0.01283	0.179334	-0.00437	-0.02266		

Tabella 2 - Parametri statistici calcolati sui valori di NDVI. X, Y,  $\sigma_x^2$ ,  $\sigma_y^2$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ : valor medio, varianza e deviazione standard dei valori di NDVI da SEVIRI e AVHRR (formule [2]-[8]).

Mese	Retta di regressione ( $y = mx + q$ ) e correlazione lineare					Correlazione con selezione dei punti			
	N	m (= tan $\theta$ )	q	$\theta$ [deg]	r	$3\sigma_d$	$N_d$	$N_e$ [%]	$r_d$
aprile 2006	1850	0.779857	-0.001418	37.95	0.802263	0.085061	1776	4.00	0.843253
agosto 2006	1857	0.910349	-0.049482	42.31	0.855158	0.092946	1789	3.66	0.891816

Tabella 3 - Regressione lineare sui diagrammi di diffusione NDVI SEVIRI-AVHRR e correlazione dei dati. N: n. punti del diagramma; m, q,  $\theta$ : coefficienti e pendenza retta di regressione; r: coeff. di correlaz. lineare;  $\sigma_d$ : dev. standard della distanza dei punti dalla retta di regress.;  $N_d$ : n. punti a distanza  $< 3\sigma_d$  dalla retta di regress.;  $N_e$ : perc. punti a distanza  $> 3\sigma_d$  scartati per il calcolo di  $r_d$ ;  $r_d$ : coeff. di correlaz. lineare calcolato solo sui punti  $N_d$  (formule [9]-[11]).

### Riferimenti

Chen P.-Y., Fedosejevs G., Tiscareño-López M., et Al. (2005), "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*. DOI: 10.1007/s10661-005-9006-7. Ed. Springer

Di Vittorio A. V., Emery W. J. (2002), "An Automated, Dynamic Threshold Cloud-Masking Algorithm for Daytime AVHRR Images Over Land". *IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing*, 40-8:1684-1694

Günther K. P., Maier S. W. (2005), "AVHRR Compatible Vegetation Index Derived From MERIS Data". *Proc. of the 2004 Envisat & ERS Symposium*, Salzburg, Austria 6-10 September 2004. ESA SP-572

Gutman G. (1989), "On the relationship between monthly mean and maximum-value composite normalized vegetation indices". *International Journal of Remote Sensing*, 10: 1317-1325

Holben B. (1986), "Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data". *International Journal of Remote Sensing*, 7: 1417-1434

Huete A. R., Didan K., Miura T., et Al. (2002), "Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices". *Remote Sensing of Environment*, 83: 195-213, Elsevier Science Inc.

National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA (1997), *NOAA Global Vegetation Index (GVI) User's Guide*, July 1997 revision, Ed. K. B. Kidwell (<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/gviug/>)

Taylor J. R. (1997), *An Introduction To Error Analysis, The Study Of Uncertainties In Physical Measurements*. Second Edition. University Science Books. Sausalito, California 1997, 181-226

Teague M. R. (1980), "Image analysis via the general theory of moments", *Journ of the Opt Soc of Am B*, 70-8: 920-930

van Leeuwen W. J. D., Huete A. R., Laing T. W. (1999), "MODIS Vegetation Index Compositing Approach: Prototype with AVHRR Data". *Remote Sensing of Environment*, 69: 264-280