

**OGS**  
Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale

**Test nella funzione NITPIX utilizzata in ambiente TeraScan  
per calcolare la temperatura superficiale del mare dai dati  
satellitari AVHRR.**

Redatto da

**G. Notarstefano, E. Mauri e P.-M. Poulain**

Approvato da:.....

**dott. Renzo Mosetti**  
**Direttore del Dipartimento di**  
**Oceanografia**

OGS Relazione n° REL/I/53-2002/OGA-19 DD.19.12

Borgo Grotta Gigante, 19 dicembre 2002

## Indice

<b>1. Introduzione.....</b>	<b>Pag. 2</b>
1.1 Il telerilevamento satellitare passivo.....	Pag. 2
1.2 Misure di SST.....	Pag. 2
1.3 Algoritmo di calcolo MCSST.....	Pag. 3
1.4 Tecnologia utilizzata nella ricezione ed elaborazione dati.....	Pag. 3
1.5 La funzione <i>Nitpix</i> .....	Pag. 4
<b>2. Scopo del lavoro.....</b>	<b>Pag. 5</b>
<b>3. Descrizione dei test usati nella funzione Nitpix.....</b>	<b>Pag. 5</b>
<b>4. Conclusioni.....</b>	<b>Pag. 8</b>
<b>5. Bibliografia.....</b>	<b>Pag. 9</b>

# **Test nella funzione NITPIX utilizzata in ambiente TeraScan per calcolare la temperatura superficiale del mare dai dati satellitari AVHRR.**

## **1. Introduzione**

### **1.1 Il telerilevamento satellitare passivo**

La necessità di avere registrazioni accurate della temperatura superficiale del mare (SST: Sea Surface Temperature) è sempre più sentita soprattutto a causa dell'importanza che rivestono nello studio della variabilità del clima del nostro pianeta (Kilpatrick et al., 2001).

Le misure satellitari di SST sono particolarmente importanti in quanto consentono una copertura più globale e ripetuta rispetto a tutti gli altri metodi di rilevazione.

Il principio su cui si basa il telerilevamento satellitare passivo è la capacità dei corpi di emettere radiazioni elettromagnetiche a varie lunghezze d'onda, in funzione della loro temperatura.

Limitandosi alla banda dell'infrarosso (IR), la superficie oceanica emette uno spettro di radiazioni riconducibile a quello di un corpo nero. In linea di principio, quindi, in assenza d'emissione ed assorbimento dell'atmosfera nella zona compresa tra la superficie del mare ed il satellite, sarebbe possibile stimare la SST usando un singolo canale di misura (un fissato range di lunghezze d'onda nell'IR).

In realtà bisogna considerare l'attenuazione dell'emissione nell'IR della superficie marina, prima del raggiungimento del sensore satellitare, dovuta alla presenza dell'atmosfera.

Diventa, dunque, necessario apportare correzioni alle registrazioni che tengano conto di questa attenuazione.

### **1.2 Misure di SST**

Per effettuare misure di SST a bordo del satellite, vi sono dei radiometri, misuratori di radiazione altamente sofisticati chiamati AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), che fanno registrazioni in tre bande di rilevazione nell'IR (canali) (*ch-3*: 3,55 – 3,93  $\mu\text{m}$ ; *ch-4*: 10,3 – 11,3  $\mu\text{m}$ ; *ch-5*: 11,5 – 12,5  $\mu\text{m}$ ) con cui vengono stimate le SST ed in due nel visibile (*ch-1*: 0,58 – 0,68  $\mu\text{m}$ ; *ch-2*: 0,725 – 1,10  $\mu\text{m}$ ) per calcolare la percentuale di albedo (Kidder et al., 1995).

Le lunghezze d'onda in cui operano questi canali corrispondono a quelle in cui l'atmosfera è più trasparente alla radiazione elettromagnetica e, quindi, il campionamento viene meno influenzato.

Gli strumenti utilizzati sono montati su satelliti americani NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) che percorrono orbite eliosincrone.

Tali orbite hanno un periodo di circa 102 minuti ed un'inclinazione di circa 98° e sono state scelte in modo da mantenere costante il tempo di passaggio per l'equatore (ECT: Equator Crossing Time) e, quindi, per ogni particolare zona di studio.

In particolare, nell'arco delle 24 ore, il satellite riuscirà a fare 14 volte il giro della Terra fornendo una mappa completa della stessa.

I satelliti ruotano ad una quota di 800 km consentendo di ottenere delle immagini ad alta risoluzione.

### 1.3 Algoritmo di calcolo MCSST

Esistono vari algoritmi di calcolo della SST che utilizzano misure satellitari nell'IR. In questo rapporto viene preso in considerazione l'algoritmo MCSST (Multi Channel Sea Surface Temperature), in cui sono usati i canali 4 e 5 per eliminare l'attenuazione della radianza emessa nell'IR dovuta all'assorbimento atmosferico (McClain et al., 1985). Il principio si basa sul diverso grado di assorbimento misurato nei due canali, grazie al quale si riescono a fare delle correzioni reciproche sugli stessi. La relazione che lega la SST alle registrazioni dei vari canali è:

$$SST = A \cdot T_4 + B \cdot (T_4 - T_5) + C \cdot (T_4 - T_5) \cdot (\sec(\theta) - 1) + D$$

1.  $T_4$  e  $T_5$  (°C) sono le temperature di emissione ("brightness temperature") ricavate dai dati dei canali 4 e 5
2.  $\theta$  è l'angolo zenitale del satellite (l'angolo tra la direzione zenitale locale di un punto e la linea congiungente il satellite al punto)
3. A, B, C, D sono i coefficienti di regressione lineare ottenuti da misure di temperature effettuate da boe fisse e "drifter" (galleggianti su cui sono locati gli strumenti di misura della temperatura superficiale oceanica). Questi coefficienti variano in funzione del satellite scelto e del periodo di rilevazione (notturno o diurno).

In tab.1 sono riportati i coefficienti forniti dalla NOAA per i satelliti attualmente operativi.

Tipo di satellite	Periodo di registrazione	A	B	C	D
NOAA 12	Diurno	0.963563	2.579211	0.242598	0.191
NOAA 12	Notturmo	0.967077	2.384376	0.480788	0.217
NOAA 15	Diurno	0.959456	2.663579	0.570613	1.045
NOAA 15	Notturmo	0.993892	2.752346	0.662999	0.084
NOAA 16	Diurno	0.999317	2.301950	0.628966	-0.806561
NOAA 16	Notturmo	0.995050	2.536550	0.753291	-1.352093

Tab. 1 - satelliti e rispettivi coefficienti di regressione lineare.

### 1.4 Tecnologia utilizzata nella ricezione ed elaborazione dati

I dati rilevati dagli AVHRR vengono trasmessi via etere e registrati tramite un sistema di ricezione *TeraScan* (TeraScan, 1999), prodotto dalla SeaSpace, costituito da un'antenna sita presso l'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS).

I radiometri riescono ad esplorare un angolo di  $112^\circ$  pari a 2.970 km con una risoluzione (dimensione del pixel) di  $1,1 \times 1,1 \text{ km}^2$  per il punto immediatamente sotto il satellite per degradare a  $1,5 \times 4,0 \text{ km}^2$  ai bordi dell'angolo spazzato (Dousset et al., 1998).

Questi dati sono successivamente processati con il software *TeraScan* e, con un procedimento automatico, vengono create e messe in rete le immagini relative alle SST. Per risalire, dai dati satellitari, ad una stima realistica delle SST viene utilizzata una funzione, detta *Nitpix*, elaborata all'interno del software *TeraScan* che tiene conto sia della radianza emessa dalla superficie marina sia di quella emessa dalla superficie terrestre che, tuttavia, non utilizziamo. Esiste, quindi, un'altra funzione, all'interno del pacchetto *TeraScan*, che provvede a selezionare solo i dati relativi all'emissione marina schermando quelli terrestri.

L'algoritmo di calcolo utilizzato, come precedentemente accennato, è MCSST.

### **1.5 La funzione *Nitpix***

I dati acquisiti dagli AVHRR sono affetti da contaminazioni da parte dell'atmosfera (vapore acqueo,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ , aerosol) e dall'eventuale copertura nuvolosa. Tali contaminazioni provocano attenuazione del segnale di radianza della superficie oceanica. Occorre, quindi, tenerne conto e la funzione *Nitpix* prevede l'utilizzo di una serie di test diversificati per le registrazioni diurne e notturne.

L'effetto principale di cui si vuole tenere conto con i test è quello della copertura nuvolosa cercando di eliminarla.

Per effettuare i test occorre definire un'area operativa attorno ad ogni pixel in analisi.

Tale area consta di un box di  $3 \times 3$  pixel contenente, al centro, il pixel da esaminare per vedere se è effettivamente affetto da copertura nuvolosa.

Infatti, se su un pixel vi è presente una copertura nuvolosa di dimensioni inferiori alla sua area, essa non viene evidenziata dal radiometro. Tuttavia, la bassa temperatura delle nuvole induce un errore sulla SST registrata che risulterà anche di qualche grado inferiore a quella reale falsando, quindi, la registrazione.

Il confronto del valore di albedo e di temperatura di emissione del pixel in analisi con quello dei suoi primi vicini (attraverso vari test iterativi) permette d'individuare la presenza dell'eventuale copertura nuvolosa sulla zona. Per ogni test sono stati definiti dei "valori di soglia" che servono da discriminante nel determinare la presenza di copertura nuvolosa.

Solo i pixel che passano tutti i test sono giudicati liberi da copertura nuvolosa.

Il primo test non passato provoca l'arresto della sequenza identificando quel pixel come affetto da copertura nuvolosa e la procedura di verifica inizia da zero per il pixel adiacente a cui viene associato un nuovo box.

I "valori di soglia" devono essere scelti in modo da ottimizzare l'immagine finale dell'andamento della temperatura superficiale del mare. Per questo motivo, nelle analisi, sono stati utilizzati diversi valori e valutate le modifiche apportate all'immagine finale di SST. I valori scelti ed usati nel rapporto sono quelli ritenuti migliori.

## 2. Scopo del lavoro

L'obiettivo di questo lavoro è trovare quei “*valori di soglia*” che permettano di ottenere delle immagini finali SST prive di contaminazione nuvolosa. Si è partiti dai valori ottimizzati dalla SeaSpace per la zona californiana, cercando di trovare quelli migliori per l'area mediterranea, oggetto del nostro studio.

È stato, quindi, eseguito un confronto tra i valori proposti dalla SeaSpace e quelli trovati durante la nostra ottimizzazione per l'area del bacino Mediterraneo che, ovviamente, differiscono sia a causa delle diverse coordinate geografiche che dei diversi scenari climatici.

## 3. Descrizione dei test usati nella funzione *nitpix*

Il satellite, nella sua orbita, preleva dati relativi alla zona sottostante attribuendoli ai vari pixel che rappresentano le dimensioni delle aree risolte, di cui già accennato. Diventa importante, prima d'iniziare con i test, selezionare i pixel con migliore risoluzione. Per questo scopo si usa il parametro:

### **Cos\_sat\_zen**

Il satellite, in ogni punto della sua orbita, riesce ad analizzare una certa zona del pianeta. L'apertura angolare dell'area individuata è 144° (72° dalla verticale).

Tuttavia, i pixel che non si trovano al centro dell'angolo solido spazzato sono meno risolti, quindi diventa importante introdurre una discriminante che possa caratterizzare le zone con migliore risoluzione. Si usa, dunque, un valore limite del coseno dell'angolo tra la verticale satellite-terra e la congiungente satellite-pixel esaminato detto *cos\_sat\_zen*. Tutti i pixel per cui tale valore è inferiore a *cos\_sat\_zen*, vengono scartati nell'analisi in quanto l'esperienza ha dimostrato che non sono molto attendibili.

Il pacchetto *TeraScan* propone di utilizzare l'angolo di 60° (*cos\_sat\_zen* = 0,5) come angolo limite e, in effetti, prove effettuate confermano la validità di tale scelta.

Si passa, ora alla descrizione dei passaggi che portano all'individuazione delle aree prive di copertura nuvolosa:

### **Test 1: Ch4\_delta**

Si tratta del test che dovrebbe individuare la presenza di nuvole di piccola dimensione (sub – pixel). Tale prova viene effettuata per i dati registrati nell'IR, quindi, è valido sia per le registrazioni diurne che notturne.

Si calcolano i moduli delle differenze tra i valori di temperatura rilevata nel pixel centrato nel box (*centro avhrr\_ch4*) e quelli dei primi vicini (*avhrr\_ch4*). Il massimo di tali differenze deve, in ogni caso, essere inferiore ad un *valore di soglia* da noi opportunamente stabilito (quello proposto dalla Sea Space è 0,45 °C)

$max / centro\ avhrr\_ch4 - avhrr\_ch4 / < valore\ di\ soglia$  (specificato dall'utente)

Se il massimo supera il valore di soglia imposto dall'utente, la zona viene considerata coperta da nubi, quindi, la sequenza dei test viene interrotta e il box viene spostato per essere centrato sul primo pixel adiacente.

È possibile avere anche delle aree libere da nuvole che falliscono il test. Questo succede nel caso in cui s'incontrano fronti di temperatura superficiale sufficientemente marcati nel senso che separano zone con temperature abbastanza diverse. Per ovviare al problema si potrebbe aumentare il valore di soglia rischiando di accettare, come scoperti, pixel con piccole nuvole.

Dopo aver testato altri valori di soglia abbiamo verificato che, per essere sicuri di distinguere un fronte di temperatura, sarebbe necessario alzare il valore di soglia almeno a 0,75 °C. Tale valore infatti risulta essere, per l'area mediterranea, un ottimo discriminante per l'individuazione dei fronti di temperatura nonché un validissimo filtro per le nuvole.

### **Test 2: Ch2\_delta**

Questo test è simile al precedente con la differenza che lavora con dati registrati nella banda del visibile, quindi, è valido solo per registrazioni diurne e viene effettuato su quei pixel che hanno superato il test precedente. Si va a valutare la differenza percentuale di albedo tra il pixel centrale del box individuato e i suoi primi vicini.

Il dato del pixel esaminato dovrà soddisfare la disequazione:

$$\max / \text{centro } avhrr\_ch2 - avhrr\_ch2 / < \text{valore di soglia (specificato dall'utente)}$$

Il *valore di soglia* scelto dopo opportune verifiche è 0,25%, in accordo con quanto impostato dalla Sea Space.

Se si supera lo 0,25% di albedo, la cella è di nuovo giudicata contaminata da nuvole ed il box viene ricentrato sul primo pixel adiacente. Imponendo *valori di soglia* più alti (0,3% – 0,35%), si vanno a considerare, come prive di nubi, zone che potrebbero essere contaminate da nuvole o da riflessione della radiazione solare.

Se il pixel passa entrambi i test precedenti viene considerato libero da contaminazioni nuvolose di piccole dimensioni. Questi test, tuttavia, non riescono ad identificare una nuvola di dimensioni tali da coprire uniformemente tutti i pixel del box in quanto non sarebbe possibile rilevare differenze di temperatura tra zone coperte e scoperte.

Occorre, dunque, eseguire degli altri test:

### **Test 3: Ch2\_max**

Per i passi diurni si calcola l'albedo medio del box e lo si considera come proprio del pixel in esame (*centro ( avhrr\_ch2 )*), di conseguenza, non dovrà superare un determinato *valore di soglia* per assicurare che quel pixel sia scoperto:

$$\text{centro } (avhrr\_ch2) < \text{valore di soglia (specificato dall'utente)}$$

Le zone libere da nuvole avranno un'albedo bassa, mentre quelle totalmente coperte avranno un'albedo molto alta, di solito attorno al 15% o maggiore. La soglia scelta per

scartare il pixel è il 5%. Questo valore permette d'identificare tutte le aree libere da nuvole e di evitare di considerare zone caratterizzate da riflessione della radiazione solare (che, con questo valore di soglia, risulterebbero coperte). In queste aree, infatti, diventa difficile, se non impossibile, usare i dati del canale 2 per distinguere la presenza o l'assenza di nuvole.

#### **Test 4: Ch3\_minus\_ch4**

Questo test è usato per i passi notturni e serve, come il test *ch2\_max*, ad identificare una copertura nuvolosa che si estende su tutto il box esaminato. A tale scopo si calcolano le temperature di emissione medie del box registrate nel canale 3 (*avhrr\_ch3*) e nel canale 4 (*avhrr\_ch4*) eseguendo poi la differenza tra le stesse. Il valore ottenuto è assegnato al pixel centrale del box e non dovrà essere inferiore ad un determinato *valore di soglia* per essere dichiarato privo di copertura nuvolosa uniforme.

*average (avhrr\_ch3 - avhrr\_ch4) > valore di soglia* (specificato dall'utente)

Il test è un eccellente discriminante nel distinguere le superfici nuvolose da quelle libere perché esiste una sensibile differenza nell'emissività della superficie del mare e delle nuvole misurata nei canali 3 e 4. Nel canale 4, sia l'emissività delle nuvole che quella della superficie del mare sono quasi = 1. Nel canale 3, l'emissività della superficie del mare è anche quasi = 1, ma l'emissività delle nuvole è molto inferiore (0.75). Da ciò risulta che la differenza di temperatura di emissione (*avhrr\_ch3 - avhrr\_ch4*) sarà negativa in presenza di superfici nuvolose (< 0,5 °C). Per quanto riguarda la superficie del mare la differenza (*avhrr\_ch3 - avhrr\_ch4*) è legata alla quantità di vapore acqueo presente in atmosfera: in condizioni molto umide la differenza (*avhrr\_ch3 - avhrr\_ch4*) è molto positiva (> 2 °C); in condizioni di moderata umidità la differenza (*avhrr\_ch3 - avhrr\_ch4*) è appena positiva (circa = 0,5 °C); in condizioni secche la differenza (*avhrr\_ch3 - avhrr\_ch4*) è leggermente negativa (circa = -0,5 °C) e in condizioni molto secche la differenza (*avhrr\_ch3 - avhrr\_ch4*) è circa = -1 °C.

Quindi, quando l'atmosfera è molto secca, la differenza (*avhrr\_ch3 - avhrr\_ch4*) non può essere usata per distinguere tra nuvole e superficie del mare.

I *valori di soglia* per questo test, nell'area mediterranea, sono stati impostati in un intervallo compreso tra -1 e -1.5 °C, anche se esiste un minimo rischio di considerare scoperte zone caratterizzate da una lieve copertura nuvolosa. D'altra parte impostando *valori di soglia* meno negativi i fronti di temperatura superficiali non vengono evidenziati. Si capisce quindi che è necessario trovare un valido compromesso del *valore di soglia* che sia un buon discriminante per l'individuazione dei fronti, filtrando il più possibile i dati con copertura nuvolosa.

Altri parametri che vengono utilizzati nella funzione in esame sono:

#### **Base\_temp e Temp\_step**

Il parametro *base\_temp* rappresenta, nell'intervallo di temperatura scelto per effettuare i test, il valore minimo (in °C). *Temp\_step* è l'incremento di temperatura che si fissa per passare dal valore minimo a quello massimo dell'intervallo. Siccome la risoluzione è a 8 bit, il numero di incrementi di temperatura è  $2^8$  (256). Nel bacino mediterraneo la



temperatura minima che si registra nei periodi invernali è di qualche grado sopra lo zero. Si può pertanto impostare una  $base\_temp = 4^{\circ}\text{C}$  ed un  $temp\_step = 0,125^{\circ}\text{C}$ , fissando di conseguenza il valore massimo di temperatura =  $36^{\circ}\text{C}$  ( $0.125*256 = 32$ ).

### **Min\_sun\_reflect**

Questo parametro consente di eliminare le zone con possibile contaminazione dovuta alla riflessione solare. Si imposta un valore angolare limite per cui tutti i pixel visti dal satellite, con un angolo minore del valore fissato, sono classificati come contaminati dalla riflessione solare. Si è deciso di impostare il valore angolare limite =  $0^{\circ}$  che di fatto non considera l'effetto negativo indotto dalla riflessione solare. Ad ogni modo la discriminazione della riflessione solare viene effettuata con il test *ch2\_delta*.

### **Min\_ch4\_temp**

Questo parametro permette di fissare un valore di soglia della temperatura di emissione nel canale 4, al di sotto del quale i pixel vengono considerati con copertura nuvolosa. Tale *valore di soglia* è difficile da impostare perché risulta quasi impossibile distinguere le nuvole calde presenti a quote basse, dalle zone libere da contaminazione nuvolosa aventi la stessa temperatura. Se si vuole ottenere un'immagine senza mascheramenti tale *valore di soglia* può essere impostato molto negativo ( $-80^{\circ}\text{C}$  ad esempio) in modo da far passare il test anche ai pixel coperti dalle nuvole più fredde.

## **4. Conclusioni**

I test effettuati nella funzione *Nitpix* sono stati eseguiti all'interno di programmi, già scritti, utilizzati per processare i dati grezzi ed ottenere immagini rappresentanti la SST. I risultati che si sono ottenuti sono stati quelli di perfezionare il mascheramento della copertura nuvolosa e di ottenere una qualità migliore nella distinzione dei fronti di temperatura.

Nella tab. 2 vengono riportati i *valori di soglia* che sono stati utilizzati nei test e che, nell'area mediterranea, si sono dimostrati come migliori discriminanti nella distinzione tra copertura nuvolosa ed aree libere.

È da tenere comunque presente che è difficile ottenere un'immagine finale di SST perfettamente fedele alla realtà, sia per la l'accuratezza delle misure satellitari che per il metodo statistico con cui vengono effettuati i test per ciascun pixel. Inoltre, i *valori di soglia* impostati possono a volte condurre a risultati finali leggermente differenti a seconda delle condizioni atmosferiche presenti nelle aree indagate. Per questo motivo può essere talvolta necessario testare dei nuovi *valori di soglia* da scegliersi all'interno di un piccolo *range* attorno al valore riportato nella tab. 2 di questo rapporto.

TEST	GIORNO	NOTTE
<i>cos sat zen</i>	0.5	0.5
<i>ch4 delta</i>	0.75	0.75
<i>ch2 delta</i>	0.25	
<i>ch2 max</i>	5	
<i>ch3 minus ch4</i>		-1
<i>base temp</i>	4	4
<i>temp Step</i>	0.125	0.125
<i>min ch4 temp</i>	0	0
<i>min sun reflect</i>	0	0

Tab. 2 – valori di soglia dei test, per le registrazioni diurne e notturne, usati nella funzione nitpix per l'identificazione della copertura nuvolosa.

## 5. Bibliografia

- Dousset, B., J. Firing, P. Flament, H. Jackson, C. Lumpkin, C. Maroni, E. Nacini, P. M. Poulain, S. Pouliquen, M. Sawyer and D. Young – *Adriatic sea surface temperature images from the NOAA-AVHRR* – 1998.
- Kidder, Stanley Q., and Thomas H.Vonder Haar – *Satellite Meteorology an introduction* – 1995.
- Kilpatrick, K.A., G.P. Podestà, and R. Evans – *Overview of the NOAA/NASA advanced very high resolution radiometer Pathfinder algorithm for sea surface temperature and associated matchup database* – J. Geophys. Res., vol. 106, NO. C5, pp. 9179-9197, 2001.
- McClain, E.P., W. Pichel, and C. Walton, - *Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperatures* - J. Geophys. Res., vol. 90, pp. 11587-11601, 1985.
- TeraScan 3.0 – Manuale delle funzioni – aggiornato al 1999.