

# RILIEVO DI ALCUNI FENOMENI DI INQUINAMENTO COSTIERO DEL NORD ADRIATICO CON SENSORI OTTICI DI TELERILEVAMENTO

Roberto Rosselli (\*), Angelo Zandonella (\*\*)

(\*) Magistrato alle Acque di Venezia – Servizio Informativo, San Marco 2949, 30124 Venezia,  
tel. 041.5203213, fax 041.2775268, e-mail: [roberto.rosselli@magisacque.it](mailto:roberto.rosselli@magisacque.it)

(\*\*) Consulente, Consorzio Venezia Nuova, San Marco 2949, 30124 Venezia,  
tel. 041.5203213, fax 041.2775268, e-mail: [angelo.zandonella@ieee.org](mailto:angelo.zandonella@ieee.org).

## Riassunto

Lo scopo del lavoro è di valutare la fattibilità del rilievo, lungo le coste del Nord Adriatico e con sensori ottici di telerilevamento, di: mucillagini, reflui galleggianti, scarichi costieri e scarichi a mare da imbarcazione, per definire un sistema di sorveglianza dell'inquinamento costiero.

Le metodologie usate ed i risultati ottenuti per estrarre tali fenomeni da alcune immagini storiche utili, acquisite con i sensori TM/ETM+ e MIVIS aviomontato, sono riportati nel lavoro.

## Abstract

The aim of this work is to assess the feasibility for monitoring: mucilages, solid wastes floating at sea surface, coastal and ship discharges along the North Adriatic sea coastal zones by using remote sensing optical systems, for defining a coastal pollution surveillance system.

The methodological approach used and the results obtained to extract these phenomena from TM/ETM+ and MIVIS airborne useful historical data is described.

## Introduzione

Numerosi sono gli studi effettuati negli ultimi anni sull'inquinamento marino per i versamenti di petrolio grezzo dovuto a cause accidentali o intenzionali. Su questo tema la CE (Comunità Europea) ha finanziato, per gli anni che vanno dal 1998 al 2003, circa una ventina di sistemi per la sorveglianza ed il controllo di questo tipo di inquinamento, con funzioni di monitoraggio, riconoscimento ed archiviazione di immagini originali ed elaborati (Delilah, 2002). La scelta del solo inquinamento da petrolio è dovuta a due fattori:

- Il primo, ai gravi danni ambientali creati da questo inquinante, in particolare nelle zone ove vi sono stati spiaggiamenti.
- Il secondo, alla possibilità di monitorare con satelliti dotati di SAR (Synthetic Aperture Radar). I satelliti europei attualmente operativi con questo tipo di radar sono l'ERS-2 e l'ENVISAT.

Vi sono però dei limiti a tali rilievi con i soli dati SAR:

- Il SAR rileva solo l'inquinamento sulla superficie del corpo idrico e non quello sommerso, anche se di pochi millimetri.
- Le forme tipiche di questo inquinante sulla superficie del corpo idrico, che vengono utilizzate per il riconoscimento della sua presenza, possono essere dovute anche all'effetto del vento locale (cfr., ad esempio, Espedal e Wahl, 1999, Solberg et al., 2007).

Per i finanziamenti fatti su questo tema dalla CE, gli sforzi della comunità scientifica si sono orientati alla ricerca di nuove metodologie o l'affinamento di quelle esistenti per estrarre informazioni dai dati SAR, ponendo in secondo piano i rilievi con dati ottici.

A questo riguardo è stata fatta un'analisi visiva di immagini storiche Landsat, Spot e MIVIS delle zone costiere dell'Alto Adriatico per "rivedere" che cosa è possibile estrarre da tali immagini.

Da tale analisi sono risultate chiaramente osservabili le mucillagini, i reflui galleggianti, gli scarichi a mare da imbarcazione e, mediante semplici elaborazioni, localizzare gli scarichi costieri.

Lo scopo di questo lavoro consiste nel valutare la fattibilità del rilievo dei fenomeni citati per poter definire un sistema di sorveglianza dell'inquinamento costiero per il Nord Adriatico.

### **Mucillagini**

Il fenomeno si presenta in genere nel periodo estivo in condizioni di alta temperatura dell'acqua, mare calmo, situazione idrodinamica statica.

Le mucillagini sono osservabili nelle bande di frequenza del visibile e dell'IR (infrarosso) vicino ed hanno valori di riflettanza molto alti, quasi vicini alla saturazione.

I satelliti/sensori, che possono essere utilizzati per il monitoraggio ad una scala non inferiore a 1:50.000, richiesta dal sistema di sorveglianza, sono: TERRA/ASTER, la serie SPOT in modalità multispettrale, IRS/LISS-III e Landsat-5/TM.

Per la limitata larghezza della traccia non sono stati considerati EO1/ALI ed EO1/Hyperion.

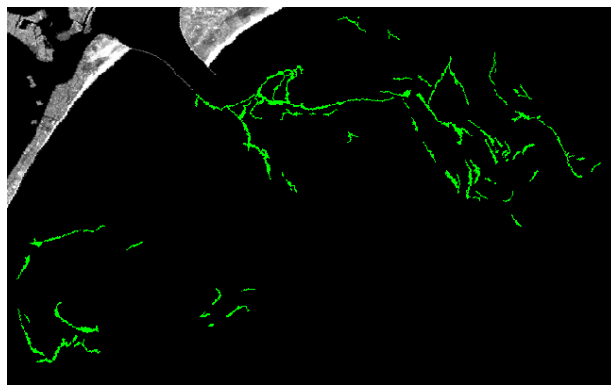
Si osserva inoltre che il sensore TM del Landsat/5 ha delle anomalie dovute all'età del sensore. Fra queste vanno ricordate: il non corretto allineamento delle scansioni; lo spostamento dei rivelatori; la mancanza, in talune immagini, di dati di immagine in porzioni di linea; la saturazione, in talune immagini, di alcuni oggetti della scena.

Per il rilievo delle mucillagini alla scala citata queste anomalie hanno un peso poco rilevante.

Nella Figura 1 è riportato un esempio di mucillagini rilevate, lungo la costa Adriatica di fronte la Laguna di Venezia, con il sensore TM del satellite Landsat-5 il 14 agosto 1988 alle ore 9 :34, mentre nella Figura 2 la mappa, in formato immagine, delle mucillagini.



*Figura 1 – Particolare dell'immagine a colori quasi naturali.*



*Figura 2 – Particolare della mappa, in formato immagine, delle mucillagini.*

La procedura di estrazione delle mucillagini si basa sulla ricerca delle informazioni dai piani di bit del pixel (Alberotanza e Zandonella, 2003).

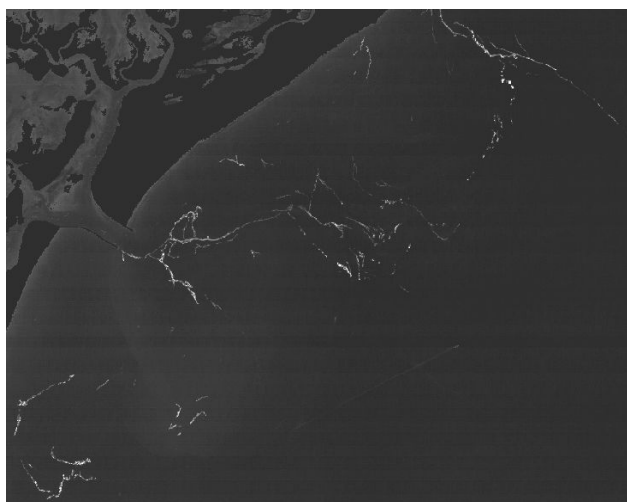
Da un punto di vista informatico, i piani di bit possono essere classificati in MSB (Most Significant Bit Plane) e LSB (Low Significant Bit Plane). L'immagine formata dai piani di bit MSB può essere chiamata MSI (Most Significant Image) mentre quella formata dai piani di bit LSB come LSI (Low Significant Image). Le principali caratteristiche delle immagini MSI ed LSI, quantizzate ad 8-bit per pixel, sono le seguenti:

- a parità di piani di bit, la percezione visiva del fenomeno (mucillagini) è molto più alta nell'immagine MSI che nella LSI;
- a differenza dell'immagine LSI, l'immagine MSI utilizza meno piani di bit per evidenziare l'informazione sul fenomeno in essa contenuta;
- l'immagine LSI contiene nei piani di bit anche il rumore atmosferico ed in parte quello del sensore.

In sostanza è l'immagine MSI quella che contiene le informazioni sul fenomeno oggetto di indagine. Il numero di piani di bit delle immagini MSI ed LSI non sono definiti. L'immagine MSI viene estratta in modo sequenziale partendo da due piani di bit per pixel, aumentando i piani di bit

fino a che la percezione visiva del fenomeno è netta. Nella Figura 3 è riportata l'immagine MSI estratta dall'immagine sintetica della somma delle bande TM del verde e del rosso.

I concetti di base e una descrizione formale dell'intera procedura sono riportati nell'ALLEGATO 1.



*Figura 3 - Immagine MSI a 6 piani di bit per pixel (L=2).*



*Figura 4 – Maschera usata per l'estrazione delle mucillagini.*

Fra i progetti di monitoraggio delle mucillagini per l'Adriatico va ricordato quello finanziato dall'ARPA della Regione Emilia-Romagna (Vescovi et al., 2003).

Il sensore utilizzato è il MODIS (Moderate Resolution Spectrometer) dei satelliti TERRA e AQUA. Le bande usate sono due: quella del rosso e dell'IR vicino con risoluzione spaziale del pixel di 250 m x 250 m. Il passaggio sulla stessa zona avviene però ogni 1-2 giorni. Con questa risoluzione i prodotti che si possono ottenere sono per scale a circa 1:500.000. In sostanza, la scelta effettuata per il monitoraggio si basa prodotti a scale molto basse con alta frequenza di passaggi sulla stessa zona.

### **Reflui galleggianti**

Sono rifiuti di tipo plastico, residui del carico delle navi, ecc. legati fra loro da alghe ed osservabili nelle immagini come filamenti lunghi vari chilometri. A differenza delle mucillagini, questo fenomeno si presenta in tutte le stagioni e qualsiasi condizione del mare.

I reflui galleggianti sono osservabili nelle bande del visibile, dell'IR vicino e dell'IR medio riflesso. I valori di riflettanza in tali bande sono quasi simili a quelli del corpo idrico. Le bande spettrali che meglio si prestano per una loro discriminazione sono quelle dell'IR riflesso. Per il loro monitoraggio è richiesta una risoluzione del pixel di almeno 20 m x 20 m.

I sensori che possono essere usati per il monitoraggio sono quelli iperspettrali aviomontati come il MIVIS. Fra i satelliti/sensori solo gli SPOT-4 e -5 in modalità multispettrale possono essere presi in considerazione.

Nella Figura 5 è riportato un particolare della strisciata MIVIS del 20 marzo 1997 alle ore 11:50 effettuata davanti alla Bocca di Lido in condizioni di marea di deflusso. La quota di volo era di 5000 m con risoluzione spaziale del pixel di 10 m x 10 m. Le bande MIVIS usate nella sintesi additiva sono la 17 (750 – 772 nm), 20 (810 – 832 nm) e 28 (1498 – 1571 nm) esposte con i filtri del blu, verde e rosso. Reflui galleggianti sono osservabili lungo il bordo del pennacchio. La mappa, in formato immagine, di tale fenomeno è riportata nella Figura 6.

In modo analogo alle mucillagini, la procedura di estrazione dei reflui galleggianti si basa sulla ricerca delle informazioni dai piani di bit del pixel (ALLEGATO 1). L'immagine di input usata è quella sintetica ottenuta dalla somma delle bande MIVIS 20 e 28.

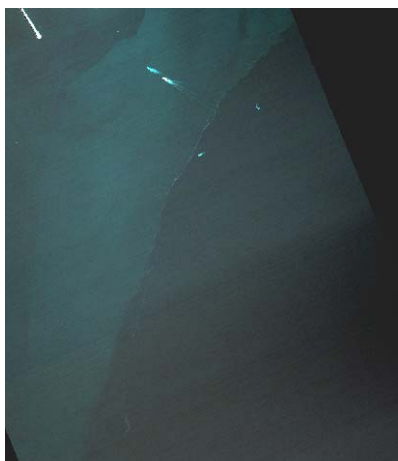


Figura 5 – Particolare della strisciata MIVIS. Sintesi additiva di bande dell'IR riflesso.

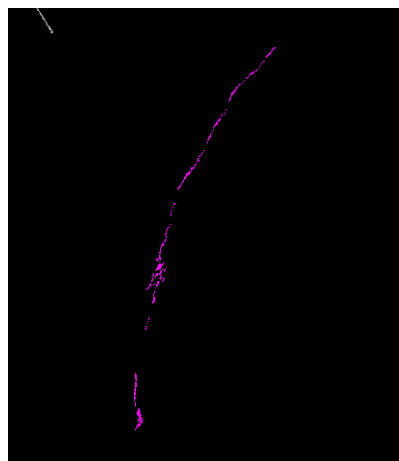


Figura 6 - Particolare della mappa, in formato immagine, dei reflui galleggianti.

### Scarichi costieri

Lo strumento di analisi più indicato per la loro localizzazione è quello delle anomalie termiche. Per evidenziare tali anomalie vengono usate le mappe, in formato immagine, delle variazioni termiche relative.

I sensori di telerilevamento che vengono usati per il rilievo delle temperature superficiali sono quelli che acquisiscono nelle bande dell'IR termico. Possono essere: aviomontati o montati su piattaforme orbitali, di tipo multispettrale o iperspettrale. La scelta del sensore va fatta in relazione alla: scala del prodotto finale che si intende ottenere e, di conseguenza, alla risoluzione spaziale del pixel, alla sensibilità radiometrica delle bande termiche.

I satelliti/sensori che attualmente possono essere usati per il rilievo della temperatura superficiale del corpo idrico sono: TERRA/ASTER e Landsat-5/TM.

Nelle Figure 7 e 8 sono riportati degli esempi di particolari estratti da mappe delle variazioni termiche relative rilevate con il sensore TM del Landsat-5 sia lungo la costa Adriatica di fronte alla Laguna di Venezia che nella Laguna di Venezia il 3 ottobre 1998 alle ore 9:05.

Per localizzare i potenziali punti di scarico le immagini vanno interpretate utilizzando anche dati ausiliari come: fase di marea, dati di vento, ecc. Nelle Figure si può osservare come i potenziali punti di scarico siano piccoli e numerosi nonostante la risoluzione spaziale del pixel della banda termica del TM (120 m x 120 m). Ciò è dovuto all'alta sensibilità radiometrica (0,5 °K) della banda.

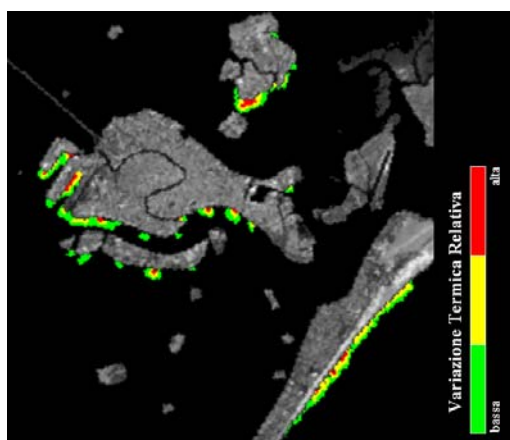


Figura 7 - Particolare. Variazioni Termiche rilevate lungo il litorale di Lido, nel Bacino di S. Marco, Canale della Giudecca, ecc.

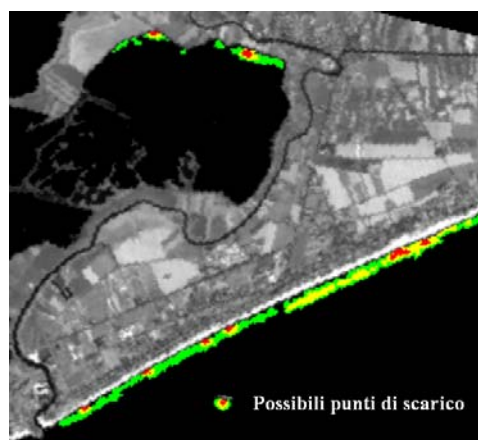


Figura 8 - Particolare. Variazioni Termiche rilevate lungo il litorale del Lido di Jesolo e nella Valle Dragòjésolo.

Il metodo di calcolo della variazione termica relativa per il sensore TM è riportato nell'ALLEGATO 2. E' una estensione del metodo proposto da Annoni e Tonelli, 1982.

### Scarichi a mare da imbarcazione

Nella Figura 9 è riportata l'immagine della strisciata MIVIS effettuata il 20 marzo 1997 alle ore 11:50 davanti alla Bocca di Lido. Da tale immagine si può osservare uno scarico a mare da imbarcazione. Dall'immagine delle isotrasparenze dell'acqua (Figura 10) si può affermare che il materiale scaricato tende a depositarsi rapidamente sul fondo.

Il monitoraggio di questi tipi di scarico e rilievo dell'imbarcazione che lo ha effettuato richiede l'uso dell'aereo. La ricognizione può essere fatta a vista mentre il rilievo dello scarico usando sistemi economici e non complessi come le foto aeree. Le elaborazioni richieste sono semplici e possono basarsi su dati di scansione di foto aeree o dati di immagini multispettrali del visibile. Riguardano la mappatura del materiale scaricato (Figura 10) ed eventualmente la trasparenza dell'acqua.

Non sono consigliabili per il rilievo le video camere, in quanto si prestano male per piattaforme in movimento. Il movimento e la vibrazione della piattaforma aerea genera un altissimo rumore, con grossi problemi per l'elaborazione delle immagini.

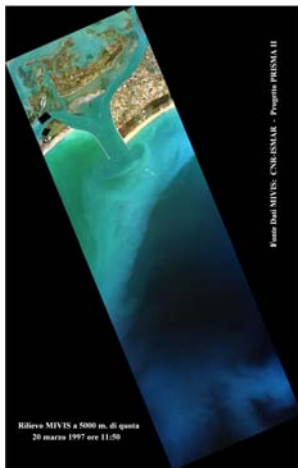


Figura 9 - Immagine a colori quasi naturali.

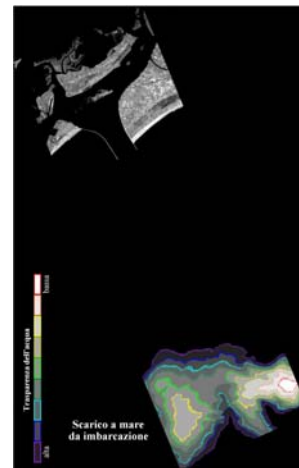


Figura 10 - Scarico a Mare da Imbarcazione.

### Ringraziamenti

Si ringrazia il CNR-ISMAR per la fornitura delle immagini MIVIS del progetto PRISMA II.

### Riferimenti Bibliografici

- Alberotanza L., Zandonella A. (2003), "Sea-structures information extraction from MIVIS airborne images", *Workshop on Airborne R.S. for Geophysical and Environmental Applications*.
- Annoni A., Tonelli A. M. (1982), "Studio delle variazioni spazio-temporali su dati termografici", *S.I.T.E. - IV Congresso Nazionale*, 29 – 55.
- Delilah H. A. Al-Khudhairi (2002), "Marine oil pollution: Technologies and methodologies for detection and early warning", *European Commission, JRC-Ispra, EUR 20231 EN Report*.
- Espedal H. A., Wahl T. (1999), "Satellite SAR oil spill detection using wind history information", *Int. Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, 1: 49 – 65.
- Gyanesh C., Brian M. (2003), "Revised Landsat-5 TM radiometric calibration and postcalibration dynamic ranges", *IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 41, 11: 2674 – 2677.
- Solberg A. H. S., Brekke C., Husøy P. O. (2007), "Oil spill detection in Radarsat and Envisat SAR images", *IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 45, 3: 746 - 755.
- Vescovi F. D., Merletto V., Montanari G. (2003), "Osservazione delle mucillagini nel Mare Adriatico con dati MODIS", *VII Conferenza Nazionale delle Agenzie Ambientali*.

**ALLEGATO 1** – Procedura di estrazione delle mucillagini e dei reflui galleggianti usando dati TM e MIVIS quantizzati a 8-bit per pixel.

**DEFINIZIONI:**

Il **pixel** di una immagine, quantizzata in formato digitale, può essere definito come una somma di ‘N’ bit pesati con potenze di 2 (per il k-mo bit la potenza è  $2^k$ ). Una immagine ‘k’ formata da un singolo bit per pixel è chiamata **immagine del k-mo piano di bit**. Formalmente, il valore del pixel  $x(l,c)$  di una immagine alla linea ‘l’ e colonna ‘c’ è dato dalla serie naturale:

$$x(l,c) = \sum_{k=N-1}^0 2^k b_k(l,c) \quad [ 1 ]$$

dove  $b_k(l,c)$  è il bit del k-mo piano di bit, che può essere 0 oppure 1.

Per decomporre una immagine in una immagine a piani di bit vengono usate operazioni binarie di mascheramento e di spostamento dei piani di bit.

Formalmente, per estrarre da  $x(l,c)$  il k-mo piano di bit  $x_k(l,c)$ , l’operazione è la seguente:

$$x_k(l,c) = \sum_{k=N-1}^0 2^k b_k(l,c) \text{ AND } \sum_{k=N-1}^0 2^k b_k^*(l,c) \quad [ 2 ]$$

per  $b_k^*(l,c) = 1$  nella k-ma posizione della serie naturale e  $= 0$  nelle altre posizioni.

I piani di bit possono essere classificati in MSB (Most Significant Bit Plane) per  $k \rightarrow N-1$  e LSB (Low Significant Bit Plane) per  $k \rightarrow 0$ . L’immagine formata dai piani di bit MSB può essere chiamata **MSI (Most Significant Image)** mentre quella formata dai piani di bit LSB come **LSI (Low Significant Image)**. Se ‘L’ è il numero di piani di bit formante una LSI e  $msi(l,c)$  e  $lsi(l,c)$  sono i valori del pixel delle immagini MSI ed LSI rispettivamente, allora:

$$x(l,c) = msi(l,c) + lsi(l,c) \quad \text{dove: } msi(l,c) = \sum_{k=N-1}^L 2^k b_k(l,c), \quad lsi(l,c) = \sum_{k=L-1}^0 2^k b_k(l,c) \quad [ 3 ]$$

‘L’ può essere selezionato sequenzialmente ed in modo decrescente partendo da N-2.

La percezione visiva del fenomeno nell’immagine MSI aumenta con la diminuzione di L ed il conseguente aumento dei piani di bit per pixel.

**FASI DELLA PROCEDURA:**

**Fase 1** - Estrazione dell’immagine MSI, dall’immagine della somma delle radianze delle bande TM del verde e del rosso, per le mucillagini, delle bande MIVIS dell’IR riflesso 20 e 28, per i reflui galleggianti. Il valore del pixel  $msi(l,c)$  è ottenuto usando l’equazione [ 2 ] (Figura 3).

**Fase 2** - Identificazione sull’immagine delle zone con presenza di mucillagini o reflui galleggianti dall’analisi della distribuzione dei livelli di grigio.

**Fase 3** - Generazione della “immagine maschera” fissando dei livelli di soglia a tale distribuzione ed applicando un filtro di convoluzione per l’eliminazione dei pixel sparsi (Figura 4).

**ALLEGATO 2** – Metodo di calcolo della variazione termica relativa usata per il sensore TM.

Siano:

$T(i)$  : le temperature di brillantezza al sensore (Gyanesh, Brian, 2003) dell’i-mo intervallo delle temperature ricavato dall’analisi dell’istogramma.

$T_{med}(i)$  : il valore mediano delle temperature dell’i-mo intervallo.

$maxV(i), minV(i)$  : i valori massimo e minimo delle differenze fra  $T(i)$  e  $T_{med}(i)$ .

La variazione termica relativa dell’i-mo intervallo ( $VTR(i)$ ) viene così definita:

$$VTR(i) = T(i) * gain + offs \quad [ 4 ]$$

dove:

$$gain = 255 / (maxV(i) - minV(i)) \quad \text{per } (maxV(i) - minV(i)) \neq 0 \quad [ 5 ]$$

$$offs = -gain * minV(i) \quad [ 6 ]$$