

## Strumenti *open-source* a supporto delle attività di caratterizzazione di siti contaminanti con sensori iperspettrali

Carmine Massarelli, Raffaella Matarrese, Vito Nicola Palmisano, Vito Felice Uricchio

Consiglio Nazionale Delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque  
V. le F. De Blasio, 5 – 70125 Bari, Tel. 0805820511, fax 0805313365  
carmine.massarelli@ba.irsra.cnr.it

### Riassunto

Le immagini acquisite da sensori aviotrasportati rappresentano al giorno d'oggi un importantissimo strumento che coniuga i vantaggi derivanti dalla disponibilità di un elevato numero di bande spettrali a risoluzione geometriche tali da discriminare i fenomeni che si sviluppano su un territorio. Tuttavia, di frequente, l'elaborazione di tali immagini presenta delle difficoltà legate alla intrinseca complessità di analisi delle stesse oltre che al costo eccessivo del *licensing* di software specializzati. Per far fronte a tali criticità sono state implementate procedure elaborative utilizzando *software free* ed *open source* sviluppato dalla comunità (GRASS GIS v.6.4) per l'elaborazione delle immagini acquisite dai sensori TABI-320 e CASI-1500.

In questo lavoro si riporta un caso di studio sulla caratterizzazione dello specchio d'acqua superficiale del Mar Piccolo di Taranto nell'ambito delle attività di *Mappatura delle anomalie termiche con sensoristica iperspettrale e termica per l'individuazione degli scarichi superficiali e delle polle sorgentizie*, finanziato da ARPA Puglia, allo scopo di individuare l'ubicazione di eventuali *hot spot* di contaminazione ancora non conosciuti e per completare il quadro conoscitivo del Sito di Interesse Nazionale (SIN) di Taranto ai fini dell'individuazione delle migliori strategie per il relativo risanamento dell'area.

Il *software* utilizzato è risultato uno strumento rapido ed estremamente versatile per l'elaborazione e l'ottenimento di significativi risultati attraverso procedure *step-by-step*.

Gli *shapefiles* relativi ai risultati della elaborazione sono stati, in seguito, analizzati in maniera integrata attraverso il software *Gis PerimSiti*, implementato dal CNR-IRSA ed in dotazione alle Forze dell'Ordine ed ARPA Puglia. Infine, per favorire la circolarità delle informazioni tra tutti gli attori coinvolti nelle attività, i dati sono stati resi fruibili sul relativo *WebGis*.

### Abstract

*Nowadays, images acquired by airborne sensors are a very important tool able to combine and to achieve the benefits by the availability of several spectral bands with adequate geometry resolution to discriminate environmental phenomena developing over a territory. However, frequently, their image processing reveals difficulties related to the complexity of analysis as well as the expensive licensing of specialized softwares. To face with such critical processing a procedure has been implemented using free and open source software developed by the community (GRASS GIS v.6.4) for processing images acquired by TABI-320-1500 and CASI sensors.*

*This paper reports a case study about characterization of Mar Piccolo of Taranto water surface in order to map thermal anomalies with thermal and hyperspectral sensors for the detection of the discharges and submarine surface springs, funded by ARPA Puglia, in order to identify the location of potential hot spots of contamination not yet known and to complete the Conceptual Site Model of the National Priority List sites (SIN) of Taranto to evaluate the best remediation strategy besides safety and standard setting of the sediments of Mar Piccolo.*

*The utilized software is shown very fast and extremely versatile tool for the development and the achievement of significant results through a step-by-step procedures.*

*In addition, shapefile results were subsequently analyzed in an integrated way through the GIS software PerimSiti, implemented by CNR-IRSA and supplied to the Police and Regional Agency for Environmental Protection (ARPA Puglia). Finally, to facilitate the circulation of information between all actors involved in the activities, the data were made accessible on a WebGis.*

### **Introduzione**

La complessa gestione delle informazioni ambientali ci pone problematiche da affrontare legate alla mole dei dati acquisibili ed alla difficoltà nella loro successiva elaborazione. Per superare questi inconvenienti che rischiano di rallentare, se non di paralizzare, i settori del controllo e monitoraggio, si può far ricorso a metodologie e pratiche integrate finalizzate alla circolarità dell'informazione nel campo del monitoraggio ambientale.

Da un lato, negli ultimi anni si è assistito ad un esponenziale sviluppo di svariati sensori aviotrasportati e satellitari, sempre più performanti, che hanno trovato applicazione nei più differenti contesti ambientali, quali il monitoraggio del territorio piuttosto che l'identificazione di siti contaminati, e dall'altro nella Regione Puglia si sta sviluppando quella che sempre più viene considerata una *Best Practice* legata all'implementazione strutturale di un sistema informativo territoriale per favorire la fruizione integrata delle informazioni da parte di tutti i soggetti Istituzionali coinvolti.

Nel tentativo di conciliare queste due tendenze, di altrettanti settori che non devono agire da compartimenti stagni, riportiamo quanto svolto nell'area di Taranto ai fini della caratterizzazione e monitoraggio del Mar Piccolo ritenendolo un caso di studio interessante.

I risultati, alquanto soddisfacenti, sono stati raggiunti attraverso l'utilizzo del software libero ed *open source Geographic Resources Analysis Support System* (GRASS v.6.4) e resi fruibili con il software *Gis Perimsiti* realizzato in coerenza con l'Azione 4 "Interventi volti al monitoraggio dei siti inquinati", Misura n° 1.8 del Programma Operativo Regionale della Puglia 2000-2006, relativa al "Miglioramento del sistema di gestione dei rifiuti".

L'attività finanziata da ARPA Puglia, realizzata in collaborazione con la *Capitaneria di porto di Taranto - Sezione Demanio Ambiente* e con il *Comando generale del Corpo delle Capitanerie di Porto - Reparto 3° - Ufficio 2° - 2ª Sezione Operazioni Aeree* e finalizzata all'individuazione e mappatura delle anomalie termiche per l'individuazione degli scarichi superficiali e delle polle sorgentizie anche allo scopo di individuare l'ubicazione di eventuali *hot spot* di contaminazione ancora non conosciuti sullo specchio d'acqua del Mar Piccolo di Taranto ricadente nelle aree marine del Sito di Interesse Nazionale di Taranto (L. 426/98), ha portato all'individuazione di una serie di anomalie termiche attualmente oggetto di ulteriori indagini, da parte degli Enti preposti, sia in zone prospicienti la costa e sia sullo specchio d'acqua dei due *Seni* del Mar Piccolo: sono così stati individuati potenziali scarichi di acque reflue e/o industriali ubicati lungo la linea di costa e la presenza di polle sorgentizie, i cosiddetti *citri*, tutti opportunamente mappati su un *layer* tematico.

### **Materiali e metodi**

Le attività di telerilevamento del CNR-IRSA, in collaborazione con la Capitaneria di Porto sono state effettuate mediante sorvoli aerei equipaggiati con sensori ITRES ed in particolare con *camera termica TABI 320* (Figura 1) con singola banda (8-12  $\mu\text{m}$ ) ed *iperspettrale nel VNIR, CASI 1500* (Figura 2)



Figura 1 - Sensore TABI 320.



Figura 2 - Sensore CASI 1500.

Le rilevazioni aeree con sensore termico sono state effettuate suddividendo l'area di indagine in complessive **14 strisciate**, mediante opportuni piani di volo (Figura 3).



Figura 3 - Piani di volo.

I parametri di volo sono di seguito riassunti:

- sensore iperspettrale VNIR CASI-1500 e sensore termico TABI-320 della Itres;
- totale strisciate acquisite: 14 CASI + 14 TABI;
- sovrapposizione laterale: 15%;
- quota di volo: 615 metri;
- velocità: 125 nodi;
- direzioni di volo: 91° e 271°;
- risoluzione spaziale CASI: ~0,40 m;
- risoluzione spaziale TABI: ~1,50 m.

Inoltre sono state effettuate delle misure di temperature sulla superficie del mare con la finalità di calibrare le rilevazioni operate dai sensori per le operazioni di pre-processamento delle immagini.

Le immagini acquisite sono state elaborate con il *software* GRASS che, a differenza dei *software* specialistici di consueto utilizzati, oltre ad essere assolutamente gratuito, permette una procedura complessiva di elaborazione che potremmo definire “modulare”. Infatti l’approccio che il CNR IRSA ha seguito è quello, appunto, di elaborare le immagini a *steps* successivi raggiungendo così un risultato che con i *softwares* specialistici difficilmente sarebbe stato raggiungibile sia in termini di qualità-quantità che di tempo in quanto spesso essi mettono a disposizione procedure automatizzate che possono provocare una perdita di informazioni.

D’altro canto l’affidabilità del risultato è dimostrabile con la perfetta sovrapposizione di una parte dei risultati ottenibili anche con *software* di *remote sensing* attraverso le tecniche di *linear contrast enhancement* e *density slicing* (Massarelli et al., 2014) (Figura 4). Per questo motivo possiamo considerare valido ed affidabile il metodo, nonché economico e con i connotati di un risultato più accurato.



Figura 4 – Perfetta sovrapposizione dei risultati raggiunti dai *software* con approccio differente.

La procedura modulare in GRASS è consistita nell’applicazione di tre differenti moduli di processamento: il primo ha ricategorizzato i *pixel* delle immagini *raster* raggruppando le celle che formano fisicamente aree discrete in un’unica categoria (procedura *clump*) (Neteler and Mitasova, 2008), il secondo ha trasformato il file *raster* ricategorizzato in un vettore di isolinee (procedura *contour*), il terzo ha realizzato lo *smooth* delle geometrie con l’algoritmo di *Chaikin* (Chaikin, 1974).

L’ulteriore valore aggiunto dell’informazione elaborata è la sua fruibilità con il *software* *PerimSiti* che ha permesso la condivisione in tempo pressoché reale dell’informazione anche per chi è “in campo”. Infatti il *software*, nato proprio per facilitare la gestione delle informazioni legate ai siti contaminati, è utilizzabile anche con un *tablet* oggi in dotazione agli operatori del territorio realizzando di fatto la condivisione dell’informazione quasi in tempo reale e con qualsivoglia altro utente. Dopo anni di sviluppo ha raggiunto una flessibilità operativa al punto che è in grado di condividere una serie di informazioni che includono anche varie estensioni di file di documenti, immagini e altro in un’unica banca dati. Quindi sono anche condivisibili fotografie e documenti relazionati ai sopralluoghi nell’area caratterizzata.

Inoltre è in grado di scambiare informazioni con una serie innumerevole di banche dati sia afferenti ad Istituzioni Centrali dello Stato come il Sistema Informativo Nazionale Ambientale – SINAnet, Sistema Informativo per la Tutela dell’Ambiente – SITA, e sia con ulteriori banche dati realizzate dalla Regione Puglia per far fronte a specifiche esigenze ambientali come la Banca dati tossicologica del suolo e dei prodotti derivati, l’Anagrafe dei siti da Bonificare ed il Sistema informativo territoriale delle aree naturali protette (Campobasso, 2014).

## Risultati

I risultati mostrano una evidente sovrapposizione tra le anomalie termiche riferibili a polle sorgentizie sia note come i *citri* Galese (o Galese) e Citrello che non, presenti in entrambi i *Seni*, e per le quali si disponeva solo di una mappa non georiferita (Figura 5) che di certo non poteva essere utilizzata per le attività di campionamento richieste nell'ambito della caratterizzazione e monitoraggio del SIN.

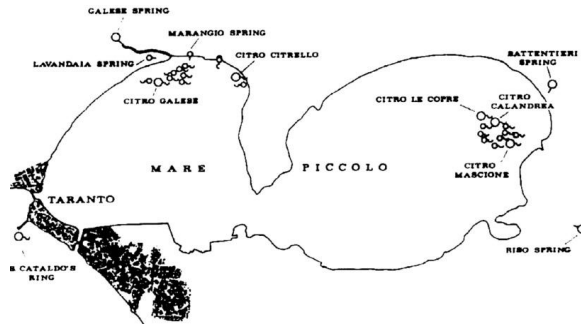


Figura 5 – Mappa dei citri nel Mar Piccolo di Taranto (Spizzico e Tinelli, 1986).

Invece, grazie alle elaborazioni messe a punto è stato possibile ottenere una serie di risultati che vanno oltre la mappatura delle polle sorgentizie nel Mar Piccolo importanti, lo ricordiamo, per poter campionare l'acqua del sottosuolo proveniente dalle zone sospettate di essere ancora fonti di inquinamento. Una parte dei risultati è mostrata in Figura 6 in cui è evidente il dettaglio delle anomalie termiche individuate lungo la costa e che possono, oltre ogni ragionevole dubbio, essere considerati scarichi attivi. Infatti, tutt'oggi è in corso un confronto tra gli scarichi così individuati e quelli autorizzati al fine di censire ed individuare eventuali illeciti.

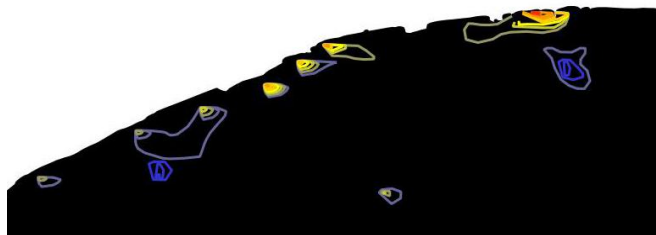


Figura 6 – Risultati dell'elaborazione in GRASS lungo una porzione di costa.

I dati acquisiti, oggetto di specifiche elaborazioni finalizzate alla mappatura degli scarichi potenziali e delle sorgenti sottomarine sono stati così elaborati per essere riprodotti su specifico *layer* fruibile con il software *Gis Perimsiti*.

Per quel che concerne il CASI-1500 sono ancora in corso delle elaborazioni finalizzate all'indagine batigrafica (Matarrese et al., 2014).

## Conclusion

Aspetti importanti e conclusivi riguardano due vantaggi inerenti l'elaborazione delle immagini e la gestione dei dati. L'elaborazione di immagini nel lontano infrarosso consente la mappatura delle anomalie termiche funzionali a rilievi in mare e ad applicazioni modellistiche, indirizzando gli approfondimenti verso il mare e sulla costa e verso situazioni che possono influire sullo stato chimico delle acque, dei sedimenti e del biota. In particolare la mappatura termica risulta utile ai

fini dell'individuazione degli scarichi superficiali e delle polle sorgentizie necessarie per la localizzazione di eventuali *hot spot* di contaminazione.

L'azione implementata in Puglia ha espresso un consistente potenziale innovativo con riferimento a metodologie di gestione delle informazioni che permettono l'attuazione di azioni di programmazione e di implementazione dei controlli legate all'analisi integrata delle informazioni. La Regione è tutt'oggi impegnata in un profondo processo d'innovazione nel settore ambientale, realizzato attraverso ampie collaborazioni con il mondo scientifico ed accademico attraverso alleanze strategiche così da intensificare la condivisione dei risultati della ricerca applicabili al contesto ambientale.

Per quel che concerne la gestione dei dati, l'impiego di metodologie operative integrabili consente il superamento della visione segmentata in differenti componenti, favorendo la lettura delle variabili nelle sue estrinsecazioni, lecite ed illecite, conseguendo numerosi vantaggi nell'orientamento più opportuno delle azioni di monitoraggio ambientale.

## Bibliografia

Campobasso G., Massarelli C., Lopez N., Palmisano V.N. e Uricchio V.F. 2014. "Il contrasto ai traffici illeciti quale forma di prevenzione della contaminazione dei territori.", Workshop su: *Siti Contaminati. Esperienze negli interventi di risanamento*. ATTI SiCon 2014. Brescia 6-8 febbraio 2014

Chaikin, G. (1974) "An algorithm for high speed curve generation.", *Computer Graphics and Image Processing*, 3, 346–349

Massarelli C., Matarrese R. and Uricchio V.F.. (2014) "Integrated GRASS GIS based techniques to identify thermal anomalies on water surface. Taranto case study.", *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 16, EGU2014-6585-1, 2014, EGU General Assembly, Vienna

Matarrese R, Massarelli C e V.F. Uricchio. (2014). "Caratterizzazione di siti contaminati attraverso utilizzo di immagini nel visibile vicino infrarosso e termico da piattaforma aerea", in volume *Le innovazioni tecnologiche nel settore della caratterizzazione e bonifica dei siti contaminati. Panoramica sui più recenti sviluppi della ricerca italiana*. Cacucci Editore. Bari 2014. ISBN 978-88-6611-364-5

Neteler M. and Mitasova H. (2008) *Open Source GIS. A GRASS Gis Approach*. Third Edition. Springer

Spizzico, M. and Tinelli, R. (1986) "Hydrogeology of Galese spring, Mar Piccolo of Taranto (South Italy).", In *Proc. 9th Salt Water Intrusion Meeting Delft, Water Management Group*, Delft University of Technology, Delft, pp. 85–97.