

CARATTERIZZAZIONE DI UN SITO INQUINATO ATTRAVERSO L'UTILIZZO DI TECNICHE AVANZATE DI TELERILEVAMENTO AEREO

Giovanni BALESTRI (*), Camillo PASSALACQUA (**), Andrea BALDELLA (**)

(*) Geologo libero professionista, via Cerri, 35 – 54011 Aulla (MS),
tel. 338.6498081, e-mail: giovanni.balestri@alice.it

(**) Gruppo di Esplorazione Aeromarittima - Guardia di Finanza – 00040 Pratica di Mare (RM)

Riassunto

Il forte degrado ambientale di alcune aree dell'Italia, nel nostro caso del Meridione, spesso causato illegalmente, obbligano il ripristino dei luoghi attraverso tecniche di bonifica molto complesse. Il Testo Unico dell'Ambiente (DLgs. 152/06 e successive modifiche) prevede a riguardo, dopo una prima indagine preliminare, la stesura di un Piano di Caratterizzazione dei luoghi, onde poter svolgere nel migliore dei modi e con tecniche idonee, la futura attività di bonifica. In questo contesto, per una prima caratterizzazione dei luoghi inquinati, il telerilevamento aereo, soprattutto per aree di una certa estensione, come ad esempio alcuni S.I.N. italiani (Siti di Interesse Nazionale), rappresenta la soluzione migliore per la stesura del quadro generale di primo intervento. Il Reparti Aerei della Guardia di Finanza, tra i propri compiti istituzionali, ha anche quello di contrastare l'illecito ambientale mettendo a disposizione della Magistratura, come inizialmente nel caso qui trattato, la propria tecnologia: il sensore aviotrasportato *Daedalus ABS 3500*, in forza presso il Gruppo di Esplorazione Aeromarittima di Pratica di Mare. I dati aerei raccolti in fase d'indagine, quindi, possono poi essere utilizzati per la Caratterizzazione vera e propria dei luoghi oggetti della bonifica.

Abstract

The Unique Text of the environment (DLgs. 152/06 and following changes), after a first preliminary investigation, it foresees the layout of a Plan of Characterization of the places for the future activity of reclamation. In this context, for a first characterization of the pollution, the aerial remote sensing, above all for areas of a certain extension, it represents a good solution to the problem. For these purposes, the Air Service of the Guardia di Finanza makes available the airborne sensor Daedalus ABS 3500, in power to Gruppo di Esplorazione Aeromarittima of Pratica di Mare. The collected aerial data in phase of investigation, can be used then for the Characterization of the places objects of the reclamation.

Introduzione

L'area da noi studiata e oggetto di una futura bonifica si trova in una zona a forte degrado ambientale del Meridione. Per lo scopo sono stati effettuati più voli, sia diurni sia notturni, a quote differenti, ripetuti poi nell'arco di più anni: l'obiettivo è stato quindi quello di studiare la tipologia delle superfici sorvolate (vegetazione, suoli, corpi liquidi in superficie) onde dare una prima caratterizzazione all'inquinamento in atto, già accertato per via analitica. La metodologia impiegata si è affidata ad un sensore aviotrasportato bispettrale in forza presso il Gruppo di Esplorazione Aeromarittima della Guardia di Finanza di Pratica di Mare (RM), da anni impegnata al contrasto

delle attività illecite sul territorio, il sensore *Daedalus ABS 3500*, operante nella banda dell'infrarosso termico (TIR) e nella banda ultravioletta (UV). Le strisciate aeree sono state geocodificate attraverso l'utilizzo di un sistema GPS interfacciato direttamente al sistema remoto e al sistema di navigazione dell'aeromobile. Le elaborazioni delle immagini, previa una lunga ed accurata campagna di indagine a terra (soprattutto per le colture agricole descritte), hanno permesso di caratterizzare il sito su questi tre aspetti: a. stato fisico della vegetazione dell'intera area interessata dall'inquinamento e soprattutto delle colture confinanti (nel caso di attività agricola in loco); b. fuoriuscita incontrollata del biogas (nel caso di certi invasi di discarica e nel caso di un inefficiente sistema di drenaggio e bruciatura in torcia dello stesso, ma anche in caso di migrazione laterale); c. predisposizione in alcune aree dei suoli ad essere impregnate da percolato, nel caso di un cattivo smaltimento dello stesso.

I voli aerei

Come anticipato, i voli sono stati effettuati in diversi momenti della giornata: il volo notturno per un ottimale rilievo delle anomalie termiche, anche nella vegetazione, quando di notte i corpi acquistano temperatura propria (valore di inerzia termica e di evapotraspirazione) e non sono eccitati dal sole; il volo diurno alla ricerca di ulteriori dati radiometrici, sulla base della radiazione ultravioletta (radiazione presente solo di giorno). La zona studiata è stata sorvolata quindi due volte, la prima tra le ore 14:00 e le ore 16:00 di un giorno d'agosto. Le condizioni meteo erano ottime, con un leggero vento da Sud, visibilità superiore ai 20km e umidità dell'aria nei limiti previsti. La quota di volo intrapresa è stata scelta sulla base di quello che dovevamo studiare e dell'area da coprire. La dimensione della cella (*pixel*) al suolo risulta essere, dopo gli aggiustamenti geometrici dell'immagine, compresa tra 0.50m² e 1.00m², ovvero relativa ad una quota di volo compresa tra circa 800 e 1200 piedi *ground* (tra 270m e 400m). La seconda volta tra le ore 21:00 e le ore 22:30 dello stesso giorno. Le condizioni meteo erano simili a quelle diurne, ma con vento assente. La quota di volo intrapresa è stata scelta come per il volo diurno, affinché poi le immagini potessero essere direttamente comparate alla stessa risoluzione (cioè con *pixel* di 0.70m di lato e di 1.25m, a seconda delle due altezze impiegate, 800 e 1500 piedi. Le temperature impostate sul sensore in fase di acquisizione sono state immesse diversamente per il volo diurno e quello notturno, ovvero in un *range* compreso tra 17 e 20°C di giorno e di 14°C per le superfici sorvolate di notte: questo vuol dire che i dati registrati sono stati acquisiti con una precisione media di 18.5/256-esimi di grado centigrado di giorno (ovvero con la precisione di 0.07°C) e di 14/256-esimi di grado centigrado per le superfici sorvolate di notte (ovvero 0.05°C).

Il nastro è stato decommutato dal suo formato speciale ad uno standard in due strisciate per il volo diurno provenienti da un file (*Exabyte* 8mm) e in tre strisciate provenienti da due file per quello notturno. Le due strisciate diurne sono doppie, ovvero i dati acquisiti sono nella banda, oltre che termica (TIR), anche ultravioletta (UV) e tutte sono state georiferite sulla cartografia in nostro possesso, una Carta Tecnica a scala 1:5000, restituita da aerofotografie con volo 2003, in coordinate Gauss-Boaga riferite all'European Datum 1950, scandita con opportuno scanner cartografico e georiferita con un procedimento algoritmico di tipo *Affine* del I Ordine, con l'utilizzo di 4 punti di controllo (GCP), con un errore medio (RMS) di circa =0.9m per le X e 1.6m per le Y ed un ricampionamento a 0.4m, ovvero con un *pixel* di 40cm di lato.

Tutti questi dati aerei, in quanto acquisiti a bassa quota, non hanno subito la correzione necessaria per eliminare l'effetto di assorbimento dell'atmosfera, pertanto si parlerà qui di temperature radiometriche apparenti e non di temperature di radianza al suolo (che comunque sono molto simili, nel nostro particolare caso. Balestri, 1993).

L'analisi termica poi è stata eseguita raggruppando i numeri digitali della scena in livelli (*density slicing*) e quindi in classi di temperatura radiometrica.

Le elaborazione dei dati aerei

I voli si sono svolti a quota diversa e sempre in un'unica direzione (S-N): sono state così decommutate 5 strisciate, come descritto in precedenza, e su due di esse sono state fatte le elaborazioni informatiche, ricavando ulteriori immagini tematiche come descritte di seguito.

Queste strisciate sono state georiferite sulla cartografia, secondo il procedimento dei punti di controllo a terra, o GCP (*Ground Control Point*) ed un *Warping* di tipo evoluto (II Ordine) ove necessario, e precisamente, per ciascuna delle due strisciate elaborate:

strisciata n.1, volo diurno: modello *affine* del II ordine, errore medio 3 metri nelle coordinate piane, ricampionamento a 0.4m di lato; strisciata n.2, volo notturno: modello *affine* del II ordine, errore medio 3 metri nelle coordinate piane, ricampionamento a 0.4m di lato.

Il ricampionamento si riferisce alla ricombinazione geometrica e radiometrica dei *pixel* dell'immagine modificati col *warping*: per i nostri studi è stato preferito un ricampionamento non distruttivo per la radiometria, ovvero di tipo "prossimo più vicino".

1. Analisi dello stato fisico della vegetazione.

Per ricercare eventuali forme di inquinamento diffuso dell'area sorvolata, come ad esempio la forte circolazione di biogas, è possibile analizzare la vegetazione circostante l'area indiziata, soprattutto ad alto fusto, onde captare alcune possibili anomalie nella loro normale crescita, causate ad esempio dal biogas che migra orizzontalmente nei suoli, producendo un forte stress all'apparato radicale o, in superficie, a quello fogliare. E' stata elaborata la seguente carta tematica secondo l'equazione (Balestri, Ceglie, 1999):

$$\text{Stato fisico veg.} = \text{immagine negativa UV} / \text{IRTd} \quad [1]$$

con UV la banda ultravioletta e IRTd la banda termica diurna. In tal modo è stato elaborato il tratto S-N, strisciata n. 1 diurna (immagine originale non georiferita, per la conservazione della radiometria del dato acquisito), colorata con una *density slice* e da una distribuzione equalizzata dei colori e poi filtrata con un filtro mediano 4x4. I colori che si notano sono i seguenti: 1) Rosso: vegetazione ad alto fusto, stato fisico buono; 2) variazioni dal rosso, all'arancio e al giallo ocra: vegetazione meno rigogliosa e a basso fusto, e comunque stato fisico mediocre; 3) giallo, verde e blu: assenza di vegetazione. Nella nostra immagine, di tipo RAW, quindi grezza, elaborata come descritto, Figura 1 pag. seguente, si nota che il pescheto, nella circonferenza indicato con la lettera (A) risulta più rigoglioso di quello ad Est (a destra), indicato con (B): questo fatto è da mettere in relazione molto probabilmente con la produzione di biogas dell'area oggetto di studio che non viene eliminato con tecniche di convogliamento e bruciatura sul posto e quindi si infiltra lateralmente nel terreno (in assenza di teli o con teli lesionati) o rimane nell'atmosfera in loco, attraverso vie preferenziali non conosciute. Parimenti, il campo di granoturco (questa era la coltura al momento della ripresa aerea, si vedano i rettangoli, stessa figura) lato Est dell'area, si presenta con una biomassa molto meno rigogliosa nelle parte più prossimale all'area in studio (A) che nella parte più distale (B).

Ciò conferma quanto già osservato per le pesche. E' consequenziale ritenere che la produzione agricola per i terreni ad Est dei luoghi in studio (qui indicati con i simboli X, Z, I e II) abbiano una peggior quantità (e qualità) di raccolto che un'equivalente coltura situata in loco, nella parte meno interessata dalla migrazione del biogas. Il biogas, ricordiamolo, migrando nel primo sottosuolo, provoca uno stato di asfissia all'apparato radicale per carenza di ossigeno nei suoli. Questa differenza di stato fisico della vegetazione in uguali colture distanti solo poche centinaia di metri tra loro, è in relazione con la migrazione del biogas che, all'esterno dei luoghi da bonificare, avviene principalmente per il gradiente di pressione: infatti, come tutti i fluidi, tende a muoversi verso aree a minor pressione (ricordiamo ad esempio che nelle discariche, normalmente, la pressione è maggiore che nei terreni agricoli circostanti) che nel nostro caso coincidono evidentemente con le zone ad Est.



Figura 1 – Elaborazione dello Stato Fisico della vegetazione

Questo aspetto è anche determinato dalla topografia e geomorfologia dei suoli, dalla permeabilità e disposizione degli strati e dal contenuto d'acqua. Il nostro studio sullo stato della vegetazione delle due colture ha quindi evidenziato un aspetto oggettivo, e cioè il miglior stato fisico della vegetazione delle stesse colture ad Ovest che ad Est dell'area oggetto di futura bonifica.

2. Analisi dell'inerzia termica dei suoli.

Per l'analisi dell'inerzia termica delle superfici, avendo a disposizione i voli sia diurni che notturni della stessa area, è stata usata l'equazione completa che la rappresenta (Balestri, Ceglie, 1999):

$$\text{Inerzia Termica} = \text{Arctan} (\text{IRTd}/\text{IRTn}) \quad [2]$$

con IRTd l'infrarosso termico diurno e IRTn quello notturno dell'area da indagare, che prevede l'utilizzo di due immagini termiche della stessa area riprese in momenti diversi (multitemporali, una diurna ed una notturna). Per effettuare quindi questa particolare elaborazione, è stata georiferita l'immagine termica notturna (la strisciata n.2) su quella diurna (la prima) utilizzando la stessa cella di risoluzione al suolo, a 0.4 metri, dato necessario per la loro ricombinazione in una immagine di sintesi. L'immagine di sintesi così ottenuta, è stata classificata in colori tematici secondo il procedimento di *density slice* già descritto per lo stato della vegetazione, e poi filtrata con l'algoritmo mediano 4x4. La carta tematica così ottenuta, ha messo in evidenza i seguenti aspetti: inerzia termica dello stesso tratto S-N precedente, centrato sui luoghi da bonificare: questa informazione ci permette di studiare l'umidità dei suoli e la loro tessitura in funzione di eventuali ristagni di percolato subsuperficiali, della compattazione e del rimescolamento dei materiali in superficie. Ne è nata la seguente analisi (Figura 2): 1. la presenza di una gran quantità di percolato che ristagna in superficie (punti A, color marrone nell'immagine) ed in minor quantità nella zona indicata dai punti B e C rispettivamente). 2. Una compattazione blanda dei materiali di superficie dovuta alla presenza di terreno agrario utilizzato per la copertura dei rifiuti depositati di recente.



Figura 2 – Elaborazione dell’Inerzia Termica delle superfici

3. Analisi termografica delle superfici.

I dati acquisiti nell’infrarosso termico notturno sono molto interessanti in quanto questa tecnologia maggiormente si presta ai rilievi aerei, soprattutto se a bassa quota, come nel nostro caso.

Le elaborazioni tematiche di temperatura hanno permesso di pervenire alle seguenti considerazioni (si veda Figura 3):

- la presenza di un focolaio ancora attivo, residuo di alcuni incendi dei giorni precedenti il volo (in rosso, punto A) alimentato in continuo dal biogas sottostante;
- l’assenza nell’area oggetto di studio di fuoriuscita di biogas (caldo) dai camini a sfiato libero installati in più parti (non si osservano quindi *spot* caldi, ovvero *pixel* di colore giallo-arancione-rosso che rappresentano i colori delle superfici a maggior temperatura, nelle aree ove sono presenti i camini a boccaforo libero). I camini sono quindi da considerarsi del tutto inefficaci;
- si confermano le aree con la presenza di percolato libero in superficie o con superfici sature dello stesso (contrassegnati con C);
- si confermano gli stati fisici anomali per gli alberi ad alto fusto (i pini nella zona di confine tra due zone studiate, punti B): infatti nell’immagine termica risultano i più freddi delle superfici all’intorno, quando invece di notte dovrebbero essere a temperatura superiore di quella media registrata al suolo (Balestri, 1993).

Conclusioni

La presente trattazione dimostra che i dati telerilevati, se opportunamente analizzati con metodologie scientifiche nonché supportati da riscontri sul campo, possono produrre importanti spunti investigativi per il controllo del territorio, nonché lo studio dell’avvio del loro ripristino.

Il lavoro qui presentato, dopo ormai quasi 15 anni di operatività della Servizio Aereo della Guardia di Finanza in tal senso, ha dimostrato soprattutto che sono le immagini notturne e a bassa quota (sotto i 1000 piedi *ground*) a dare il maggior contributo all’indagine complessiva. E solo un’attività

militare può permettere l'effettuazione di voli così particolari. Il telerilevamento aereo ha permesso da prima l'individuazione di zone a forte degrado ambientale (nel nostro caso in maniera illecita) e, in un secondo momento, lo studio del successivo ripristino (messa in sicurezza permanente e bonifica) dell'area osservata.

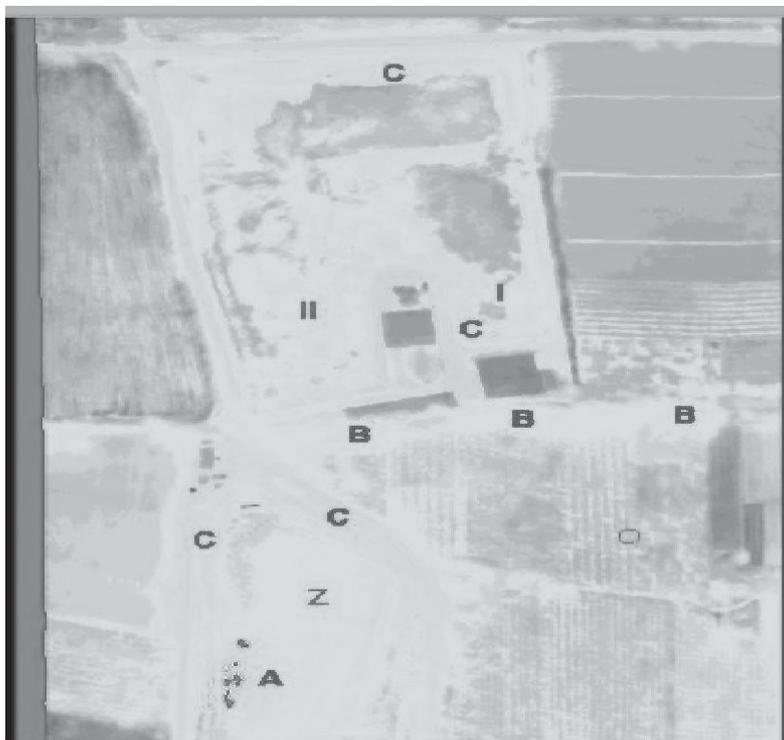


Figura 3 – Analisi Termica delle superfici

Nel nostro preciso caso in studio, le elaborazioni dello stato della vegetazione e l'analisi termografica dell'area sorvolata, hanno permesso di concentrare parte dell'attività di bonifica su due aspetti fondamentali: la migrazione laterale di biogas ed il ristagno diffuso di percolato in superficie. L'attività di telerilevamento ha anche focalizzato che l'intervento, se riferito al biogas, è da effettuarsi principalmente nella porzione ad Est dell'area interessata da futura bonifica, riducendo i tempi ed i costi d'intervento.

Bibliografia

- Balestri G. (1993): *"The using of the airborne multispectral scanner Daedalus for land applications in Italy"*. Laboratoire Commun de Teledetection CEMAGREF-ENGREF, Montpellier, France.
- Balestri G. (1993): *"Utilizzo dello scanner multispettrale aviotrasportato Daedalus per applicazioni nell'infrarosso termico"*. Consorzio Genova Ricerche, Genova, Italy.
- Balestri G., Massaro M. (1995): *"Utilizzo del sensore aviotrasportato Daedalus AA3500 alla ricerca di discariche abusive in Centro Italia"*. Pubblicazione interna ENEA, Roma.
- Balestri G., Ceglie D. (1999): *"Utilizzo del Telerilevamento in aree a forte inquinamento ambientale, l'esperienza della provincia di Caserta"*. III Conferenza Nazionale ASITA, Napoli, pp. 545-550.
- Balestri G. et alii (2001): *"Sensore Daedalus nel TIR per l'identificazione delle aree a rischio da colata detritica nel comprensorio di Sarno-Quindici"*. V Conferenza Nazionale ASITA, Rimini, pp. 137-142.
- Balestri G. (2002): *"Il Telerilevamento aereo operativo"*. Pubblicazione interna GdF, Roma, pp. 375.