

N° 3  
2009

Rivista bimestrale - anno 13 - Numero 3/09 - Sped. in abb. postale 70% - Filiale di Roma

# GEO MEDIA

La prima rivista italiana di geomatica e geografia intelligente

► **La storia del  
telerilevamento in Italia  
e in Europa**

► **Osservazione della Terra con  
tecnologia Grid e SOA da ESA**

► **Un report dalla Conferenza ESRI 2009**

► **Il Corpo Forestale presenta il  
progetto TARGET-STARS**

► **L'International Cartographic  
Association compie 50 anni**

# Strumenti d'osservazione per il telerilevamento da satellite

di Giorgio Perrotta

Il satellite per telerilevamento non è altro che un veicolo che trasporta strumenti sofisticati in un perenne viaggio intorno al globo terrestre. In questo articolo viene presentata una breve descrizione delle famiglie di strumenti tipicamente usati per la prospezione del nostro pianeta dall'orbita. L'esplorazione nel visibile, pionierizzata con le prime fotocamere analogiche messe in orbita agli albori dell'esplorazione dello spazio proprio una cinquantina di anni fa, sono oggi complementate da sofisticati strumenti che lavorano nel dominio delle onde radio per produrre informazioni per le applicazioni più disparate.

Le immagini della Terra che vediamo spesso in TV, su internet o sui calendari non rendono giustizia alla complessità e all'ingegnosità degli strumenti d'osservazione progettati per funzionare nell'ostile ambiente spaziale, fornendoci quelle preziose informazioni che consentono di tenere sotto costante osservazione le caratteristiche fisiche e chimiche del nostro pianeta: caratteristiche che possono essere *telerilevate* servendosi di strumenti operanti in bande di frequenza molto diverse e talvolta in modo complementare. Una classificazione comunemente usata fa riferimento a strumenti ottici, se essi operano nelle bande che vanno dal visibile all'infrarosso termico; ci si riferisce invece a *strumenti a microonde*, se essi operano nelle bande a radiofrequenza che vanno da poche decine di MHz alle centinaia di GHz.

All'interno di questa classificazione, gli strumenti vengono ulteriormente divisi in strumenti *passivi* ed *attivi*. I primi rispondono alle emissioni – nelle bande dello spettro elettromagnetico – da parte dei corpi osservati. I secondi trasmettono stimolazioni – in specifiche bande di frequenza – verso aree osservabili della Terra e ne valutano le risposte agli stimoli.

## Gli strumenti ottici

Strumento passivo classico operante nelle bande ottiche è il telescopio che, a seconda delle applicazioni, cioè da quello che si intende *vedere* dall'analisi delle radiazioni elettromagnetiche emesse dai corpi osservati, può operare nella bande del visibile (0.5-0.9 micron di lunghezza d'onda), ovvero la regione dominata dalla riflessione solare da parte degli oggetti osservati; il telescopio può anche operare nella banda del vicino e medio infrarosso (0.9-6 micron), che è un'area di transizione dalla riflettività solare alla radiazione termica, o nell'infrarosso lontano (6-15 micron di lunghezza d'onda), dove predomina la radiazione termica da parte dei



Immagine Landsat (2000) del delta del Danubio in falsi colori.  
(C redits: NASA)

corpi osservati. L'analisi delle emissioni da parte degli oggetti in vista può essere effettuata in modalità *pancromatica* – corrispondente al bianco/nero nel campo del visibile – oppure *multicromatica*, preselezionando alcune sottobande in particolare nella banda del visibile, od ancora in modalità *iperspettrale*, per ottenere decine o centinaia di immagini della stessa scena in altrettante sottobande spettrali; ciò consente di ottenere precise firme spettrali dell'osservato, importanti per ricostruirne le caratteristiche geochimiche.

In pratica, gli strumenti ottici multispettrali e iperspettrali sono spesso utilizzati nel settore del monitoraggio delle colture, in combinazione con strumenti radar mul-

tipolarizzazione operanti in modalità multitemporale, cioè in grado di riprendere la stessa scena in tempi e con angoli di vista diversi.

Questi strumenti costituiscono a tutt'oggi il cavallo di battaglia di molti satelliti d'osservazione perchè i dati sono relativamente di facile interpretazione, i principi di funzionamento sono ben noti, e le tecnologie necessarie sono estrapolabili da quelle usate per le applicazioni terrestri. Il telerilevamento ottico multi o iperspettrale, in combinazione o meno con osservazioni radar, ha contribuito notevolmente alla predizione anticipata della resa dei raccolti, impattando considerevolmente il mercato mondiale dei prodotti agricoli.

D'altro canto, il recente aumento della richieste per osservazioni con risoluzioni a terra submetriche, per applicazioni civili e di Difesa, ha causato un rapido incremento – fino ad 1 metro ed oltre – del diametro dei telescopi spaziali. Queste richieste sono accompagnate da crescenti difficoltà realizzative per garantirne le prestazioni nell'ambiente spaziale (caratterizzato da elevati e mutevoli gradienti termici), causando un incremento dei costi di progettazione, produzione e prova. L'introduzione di tecniche DEM (*Digital Elevation Model*) che sfruttano l'effetto delle ombre o la stereoscopia, consente inoltre di elaborare immagini multiple in alta risoluzione per ricavare immagini in 3D utilizzabili per il monitoraggio urbano, nella realizzazione di opere civili, negli studi di impatto delle stesse sull'ambiente e per fini simulativi multi-scenari.

Tralasciamo di parlare, qui, degli strumenti ottici attivi come i laser che, nelle applicazioni osservative da satellite, hanno un ruolo marginale e, per il momento, esclusivamente scientifico.

### Gli strumenti a microonde

Il settore degli strumenti a microonde è caratterizzato da una maggiore varietà di dispositivi. I radiometri a microonde sono strumenti passivi che raccolgono e misurano la radiazione elettromagnetica emessa spontaneamente dagli oggetti osservati, in funzione sia della temperatura che delle caratteristiche fisiche degli oggetti, radiazione ulteriormente perturbata dall'ambiente attraversato. I radiometri spaziali sono stati realizzati in diverse bande (da poche centinaia di MHz a diverse centinaia di GHz) e sono prevalentemente utilizzati nella meteorologia e nella climatologia.

Molto più importanti sono gli strumenti a microonde attivi, praticamente tutti basati su tecniche radar operanti in modalità ad *onda continua* oppure ad *impulsi*: quest'ultimo modo operativo è, in pratica, il più comunemente utilizzato. Un satellite equipaggiato con un radar impulsato misura la distanza tra il satellite ed il bersaglio, ovvero l'oggetto osservabile, tramite il calcolo del ritardo (in tempo) tra l'istante di emissione dell'impulso e l'istante di ricezione del segnale retro-riflesso dall'oggetto osservato. L'intensità del segnale reirradiato dall'oggetto osservabile dipende dalle caratteristiche fisiche di retrodiffusione dell'oggetto in corrispondenza delle caratteristiche del segnale elettromagnetico incidente (frequenza, polarizzazione, angolo di arrivo).

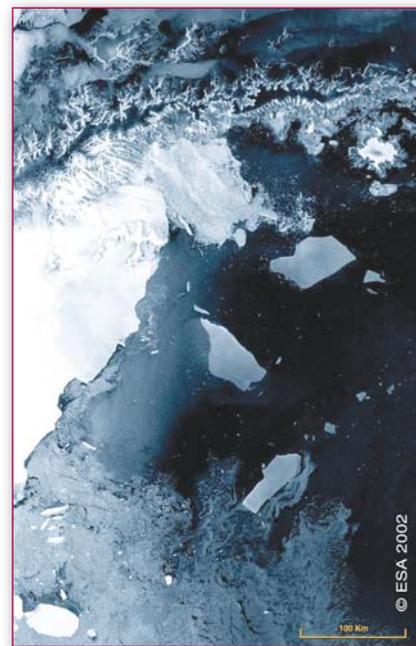
Gli strumenti a microonde attivi più frequentemente utilizzati sono: il *radar altimetro*, lo *scatterometro*, e il *radar di immagine ad apertura reale* (RAR) o *sintetica* (SAR).

Il radar altimetro è un radar ad impulsi molto corti che

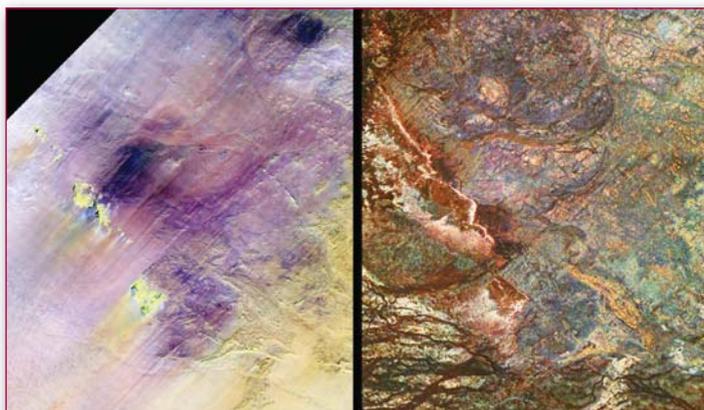
viene utilizzato per misure accurate della distanza satellite-superficie del terreno (o del mare) sottostante. Le applicazioni più comuni del radar altimetro riguardano la topografia oceanica e dei ghiacciai, oltre che la classificazione della vegetazione. Oggi si raggiungono accuratissime di misura verticale migliori di 10cm da altezze orbitali dell'ordine degli 800km.

Lo scatterometro è un radar calibrato utilizzato per misurare il coefficiente di retro-riflessione medio di estensioni relativamente grandi dell'area osservata in funzione dell'angolo di incidenza. Gli scatterometri operano in bande di frequenza comprese tra 1.0 e 35 GHz, dove la frequenza è scelta in funzione del tipo di micro o *macrorugosità* della superficie osservabile. Lo scatterometro viene utilizzato sia per acquisire una migliore conoscenza della fisica della retro-riflessione che per sviluppare modelli empirici e sperimentali dell'osservabile, e da questi elaborare algoritmi di classificazione dello stesso. Lo scatterometro ha un ampio campo di applicazioni, che includono la misura vettoriale delle caratteristiche del vento, l'estensione della coltre nevosa, la mappatura delle colture, la stima del contenuto di umidità del suolo nelle zone semi-aride e desertiche e la climatologia. E' frequente l'impiego di scatterometri operanti simultaneamente in più bande di frequenze per la valutazione dell'effetto dei venti sul moto ondoso e lo stato dei mari.

Il *radar d'immagine* è uno strumento attivo che genera una mappa del terreno sottostante sfruttando il coefficiente di retro-riflessione delle singole celle definite dalle caratteristiche di risoluzione a terra del radar. A differenza del radar altimetro, che opera essenzialmente al nadir, il radar d'immagine opera con incidenza obliqua. Questo fatto, unitamente alla possibilità di operare in bande di frequenza diverse (attualmente si va dalla banda UHF – circa 800 MHz – alla Ka – intorno ai 35 GHz) e con polarizzazioni ortogonali del campo elettrico irradiato e ricevuto dall'antenna del radar, consente di realizzare strumenti ottimizzati per diversissime missioni d'osservazione. Un aspetto importante del radar d'immagine è la risoluzione a terra, ovvero la dimensione della più piccola areola del terreno di cui si può misurare non-ambiguamente il coefficiente di retro-riflessione. I fattori limitanti della tecnologia RAR – principalmente legati alle dimensioni fisiche dell'antenna a bordo del satellite – sono stati superati intorno al 1990 con la tecnologia SAR che consente, sfruttando il moto del satellite rispetto alla scena osservata, di ottenere un'antenna virtuale di dimensioni maggiori di quella fisica a tutto beneficio della risoluzione a terra.



Un radar avanzato ad apertura sintetica (ASAR), si distingue per potenzialità avanzate in termini di copertura, gamma di angoli incidenti, polarizzazione e modalità di funzionamento. Nell'immagine l'uso del SAR di Envisat per rilevare la frammentazione dei ghiacci nell'Artico. (Credits: ESA)



*Doppia veduta di una regione centro-meridionale egiziana, catturate con diversi sensori. A sinistra un'immagine ottica Landsat Thematic Mapper, a destra un'immagine dallo Spaceborne Imaging Radar-C/X-band Synthetic Aperture Radar. Il paragone tra le due immagini mostra come l'immagine Landsat sia sensibile ai materiali sulla superficie, mentre quella radar ottenuta dal SIR-C/X-SAR sia in grado di penetrare lo strato di sabbia della regione rivelando dettagli sottili della superficie. (Credits: NASA)*

Le applicazioni correnti del radar d'immagine si riferiscono sia al settore civile che al settore della difesa. Risoluzione a terra, grandezza delle singole immagini, bi o tridimensionalità sono ormai comuni, ed infatti oggi si parla sempre più spesso di *applicazioni duali*, nel senso che la storica separazione tra applicazioni civili e della difesa – basata su differenze tecnologiche quali la risoluzione, l'osservabilità ogni tempo, e la disponibilità delle immagini a tempi brevi – sta rapidamente svanendo. Ciò ha un effetto positivo sulla pianificazione degli investimenti tecnologici sia a livello nazionale che a livello internazionale.

Pertanto, oggi disponiamo di satelliti equipaggiati con SAR a risoluzione medio-bassa per applicazioni quali il monitoraggio del ghiaccio marino, delle terre aride, dell'umidità del suolo, della vegetazione e dell'estensione delle foreste, dei versamenti di petrolio in mare, della valutazione dei danni post-incendio, post-alluvione e post-sisma. Per queste applicazioni, l'estensione delle immagini ricavate dal SAR (tipicamente bidimensionali) può andare da 10 a 100km di lato con risoluzioni a terra da 20 a 100m.

Al giorno d'oggi siamo però in possesso anche di strumenti SAR caratterizzati da risoluzioni a terra di 2-3m, con estensioni delle immagini di 10 o 20km di lato. Queste caratteristiche, unitamente al fatto che il radar è uno strumento ogni tempo che – contrariamente ai sensori ottici operanti nel visibile – può vedere anche di notte e attraverso le nuvole e i fumi, fanno del SAR uno strumento prezioso, anzi indispensabile, per la gestione in tempo reale dei disastri ambientali e per la sorveglianza delle frontiere a fini di difesa.

Il fatto che lo strumento operi con incidenza non normale esalta le caratteristiche di retroriflessione che dipendono dalla rugosità rapportata alla lunghezza d'onda della frequenza utilizzata. Poiché i versamenti di petrolio in mare ne riducono localmente l'ondosità, le zone del mare ricoperte dallo strato oleoso presentano coefficienti di retroriflessione molto bassi e sono facilmente evidenziati nelle immagini SAR.

Le immagini ottenute dai SAR possono essere elaborate con tecniche 3D mediante fusione di più immagini della

stessa scena riprese, in tempi diversi, da punti di vista spazialmente differenti (ricreando una sorta di effetto stereografico). Le immagini 3D così ottenute vengono utilizzate per scopi diversi tra i quali il monitoraggio dell'abusivismo edilizio ma anche per la pianificazione delle infrastrutture urbane, sia della rete viaria che delle reti wireless di comunicazione.

Se poi si sfrutta anche l'informazione di fase associata al segnale retroriflesso dal terreno, si può arrivare a misurare con discreta precisione il movimento relativo del terreno rispetto ad una situazione precedente. Questa tecnica è alla base dell'interferometria SAR che consente, ad esempio, di valutare i movimenti della terra a valle di eventi sismici.

### Uno sguardo al futuro

L'osservazione da satellite sta vivendo un momento di grande vitalità. L'adattabilità degli strumenti radar a diversi scenari operativi unitamente al fatto che, essendo strumenti a microonde attivi, possono guardare anche di notte e attraversare facilmente l'atmosfera terrestre anche in condizioni di piovosità diffusa, li rendono indispensabili nelle emergenze e nelle missioni di sorveglianza. Si va poi incontro ad un impiego combinato di radar operanti in bande diverse dello spettro elettromagnetico per evidenziare meglio le caratteristiche morfologiche e fisiche delle scene osservate. Tuttavia, l'osservazione radar non eclisserà l'osservazione ottica che – tramite la riflessione in specifiche bande dello spettro solare incidente – è in grado di evidenziare le caratteristiche geochimiche di suoli ed acque di superficie. Avendo realizzato risoluzioni spaziali submetriche sia con strumenti ottici che radar, l'enfasi viene ora posta sull'ottenimento di risoluzioni temporali dell'ordine dell'ora: caratteristica essenziale per la sorveglianza, le emergenze e l'inseguimento di mezzi mobili in aree oceaniche. Sarà qui fondamentale il contributo apportato da sistemi plurisatellitari cooperanti e lo sviluppo di sistemi di fusione dati bi e tridimensionali ottenuti da strumenti aventi caratteristiche differenti e complementari. **G**

#### Abstract

##### Earth observation instruments for satellite remote sensing

This article features a brief description of the instrumentation families commonly used during Earth Observation activities. The optical exploration of our planet, already anticipated more than 50 years ago at the beginning of the exploration era with the first analogic photographic instrumentation, is now complemented by sophisticated instruments that work under the domain of radio waves in order to produce informations useful for a wide variety of applications.

#### Autori

ING. GIORGIO PERROTTA - GPERROTTA@ALICE.IT  
SPACESYS