

## IL TELERILEVAMENTO PER L'OSSERVAZIONE DEL TERRITORIO DALLO SPAZIO (1)

Maurizio FEA, European Space Agency (ESA) - ESRIN, Frascati con la collaborazione di Alberto Baroni.

### Il Cairo e i suoi dintorni, esempio di contrasti ambientali estremi

Dopo aver osservato aspetti della geografia in Italia nel 2005 e in Europa nel 2006, i temi degli inserti del 2007 volgono lo sguardo ai paesi extra-europei, cominciando da una megalopoli nell'area del Mediterraneo: la città del Cairo. La capitale dell'Egitto, conosciuta in tutto il mondo per la sua storia plurimillennaria e i suoi splendidi musei, è anche nota per l'elevatissimo numero di pendolari che quotidianamente entrano ed escono dalla città. Nata da un insediamento militare romano, il Cairo si è sviluppata sulle rive del Nilo nel punto dove comincia il fertile triangolo del Delta, mentre il territorio a levante e a ponente è desertico; sono fertili anche le terre lungo il corso del fiume, ma solo per poche centinaia di metri da un lato e dall'altro in ambedue le sponde. Facendo riferimento come sempre alle brevi note pubblicate su questa Rivista nel 2004, il territorio di questa megalopoli è qui illustrato attraverso immagini da satellite rilevate in diverse bande spettrali con i metodi tipici del telerilevamento, privilegiando le immagini rispetto al testo. I portali web dell'ESA (<www.esa.int>, <earth.esa.int>) e il sito web sviluppato dall'ESA per scopi educativi in sei lingue (<www.eduspace.esa.int>) offrono un utile e ricco complemento, così come i portali di altre istituzioni che lavorano nel campo dell'osservazione della Terra. Al succitato sito EDUSPACE, in particolare, si rimanda per gran parte dei dettagli, della metodologia e delle elaborazioni dei dati, che qui non è possibile approfondire.

### La regione del Cairo osservata dallo spazio

Le immagini di copertina illustrano il forte contrasto ambientale nel quale si è sviluppata la città del Cairo attraverso i dati rilevati il 16 maggio 1990 dal radiometro Thematic Mapper (TM) imbarcato sul satellite statunitense satellite Landsat-5. Queste immagini sono state visualizzate in colori naturali e in falsi colori, rispettivamente. L'immagine visualizzata in colori quasi naturali (RGB 321) è stata generata elaborando i dati delle prime tre bande spettrali dello strumento TM. I centri abitati appaiono di colore grigio-blu chiaro e sono visibili sul fondo marrone scuro della vegetazione (Il Cairo si trova a sinistra verso il basso in corrispondenza dell'Isola sul Nilo), mentre il deserto appare chiaro brillante a causa della sua forte riflettanza nella Banda Spettrale del Visibile. Sulla destra dell'immagine appare chiaramente in alto il Canale di Suez, si distingue la città di Ismailia, dove il ramo destro del Nilo si congiunge con il Canale, mentre la parte occidentale del Grande Lago Amaro appare appena più in basso. Quasi al centro dell'immagine, verso l'alto, si osserva una zona intensamente coltivata con campi circolari perché irrigati con sistemi a pivot, osservati più in dettaglio in Fig. 3a. Dalle varie tonalità del bianco-grigio-blu del deserto si deduce che la geologia e la topografia dell'area sono abbastanza mosse.

Nell'immagine di copertina in falso colore (RGB 431), l'informazione acquisita nella banda spettrale dell'infrarosso vicino è visualizzata nel canale rosso (R) dello schermo, quella acquisita nella banda del rosso nel canale verde (G) e quella acquisita alle lunghezze d'onda del blu nel canale blu (B). In tal modo, la vegetazione rigogliosa si riconosce dalle tonalità di colore rosso, in chiaro contrasto con le zone urbanizzate che appaiono invece di colore blu-turchese, mentre il deserto mantiene un'altissima brillantezza con tonalità grigio-blu chiaro. Da questa informazione multispettrale si risale al riconoscimento degli oggetti attraverso le loro *firme spettrali*. L'immagine sinottica rilevata dallo strumento MERIS del satellite Envisat dell'ESA il 14 febbraio 2005 e visualizzata in colori quasi naturali (Fig. 1) illustra bene il contesto geografico del territorio dall'Egitto al Medio Oriente e la sua struttura geologica, nelle gole della quale s'incuneano i due rami del Mar Rosso e si è formato il Mar Morto (in alto a destra). In particolare, oltre al contrasto già citato tra il deserto egiziano e il Nilo, è ancora più impressionante la netta linea di demarcazione tra l'arida penisola del Sinai e il verde territorio d'Israele. Si nota anche la notevole quantità di sedimenti che il Nilo trasporta al mare.

Il telerilevamento con le microonde attive attraverso il radar a sintesi d'apertura (SAR) permette di ottenere informazioni supplementari a quelle rilevate dagli strumenti che operano nelle bande ottiche. Di particolare interesse è ad esempio un'immagine creata visualizzando tre immagini del SAR rilevate in tre date diverse in modo da inviare a ciascuno dei tre cannoni elettronici dello schermo una data diversa; i pixel dell'immagine finale appaiono in bianco e nero quando non ci sono stati cambiamenti d'intensità del segnale radar tra le date utilizzate, mentre appaiono colorati se un cambio c'è stato e il colore dà un'idea di quando esso è avvenuto. La Fig. 2 mostra l'immagine multitemporale costruita dai dati rilevati dal SAR di ERS-2 sull'area del Cairo, acquisiti nel 2002 e nel 2004 e visualizzati rispettivamente il 26 Settembre 2002 nel rosso (R), il 2 maggio 2002 nel verde (G) e il 4 gennaio 2004 nel blu (B). Come d'abitudine, la città appare bianca a causa delle riflessioni multiple sugli edifici e sull'asfalto, così come appaiono nere le piste dell'aeroporto, mentre tutto ciò che appare colorato ha subito dei cambiamenti entro quelle date. Nell'immagine a microonde le reti di comunicazione (strade, canali, ferrovie), appaiono generalmente nere e quindi in grande evidenza, così come accade ad una superficie d'acqua in assenza di vento.

### Curiosando più da vicino e confrontando...

Le figure 3 e 4 permettono di analizzare più da vicino quanto detto sopra. La Fig. 3 mostra la zona a Nord Est del Cairo, dove si trovano un gran numero di particelle coltivate di forma rotonda, perché irrigate con i tubi rotanti del sistema a pivot. Il confronto tra le due immagini ottica e in microonde sottolinea la complementarità dell'informazione che ciascuno dei due sistemi fornisce. Infatti, le aree aride sono visualizzate in toni di grigio, mentre sulle zone coltivate la crescita delle piante determina dei cambiamenti nell'intensità dei segnali inviati al satellite e quindi appaiono colorate. La Fig. 3a mostra l'immagine ottica a colori naturali, con toni domi-

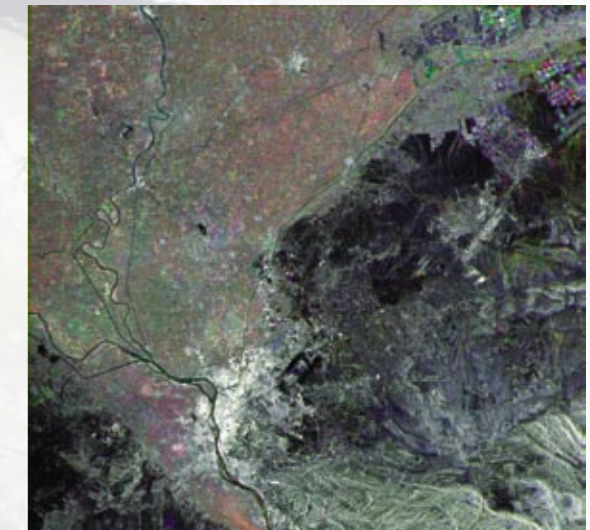
nanti sul marrone. La Fig. 3b illustra invece il dettaglio dell'immagine multitemporale. Osservando bene i campi rotondi, si vede che il colore in molte particelle non è uniformemente distribuito, perché in una delle tre date il satellite è passato in diversi momenti d'irrigazione, per esempio con il giro del campo non ancora completato.

Le stesse considerazioni valgono per le Fig. 4a e 4b, che illustrano la città del Cairo osservata nelle bande ottiche e in quelle radar. In quest'ultima si può notare che lo sviluppo della città moderna e commerciale è avvenuto intorno al fiume, dove ci sono più edifici e quindi più riflessione multipla e quindi più bianco; invece sulla destra c'è una città più popolare, con edifici più bassi e molta meno riflettanza. Inoltre, nell'immagine del radar si possono riconoscere i ponti sul Nilo, dei quali il più visibile e più lungo si trova alla punta settentrionale della grande isola sul fiume. Di particolare interesse sono i cambiamenti intervenuti tra la data nella quale è stata rilevata l'immagine ottica dal satellite Landsat (1990) e quella delle immagini radar (2002-2004): nell'angolo in alto a sinistra, cioè a Nord Ovest della città, dopo il 1990 è stato costruito un canale che si diparte dal Nilo verso occidente, che si vede nell'immagine radar, ma non c'è ancora nell'immagine ottica. Ben visibili in nero, le piste dell'aeroporto internazionale del Cairo.

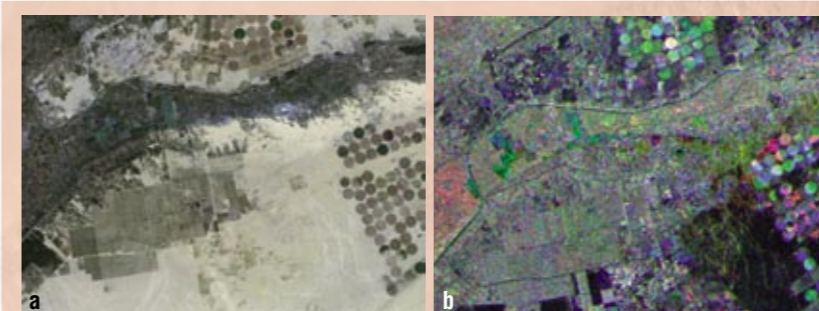
Le immagini telerilevate da satellite sono un potente strumento non solo d'indagine ma anche di sorveglianza ambientale. La Fig. 5 mostra un'immagine rilevata dal satellite Proba dell'ESA il 20 marzo 2004, nella quale è evidente la tremenda pressione antropica a cui sono sottoposte le Piramidi di Giza ai limiti del deserto alla periferia del Cairo: l'urbanizzazione le ha ormai raggiunte e il pericolo è imminente. Per questa ragione, l'ESA ha lanciato un'iniziativa internazionale con l'UNESCO per contribuire con i dati di telerilevamento spaziale alla conservazione e prevenzione del Patrimonio Culturale e Naturale Mondiale.



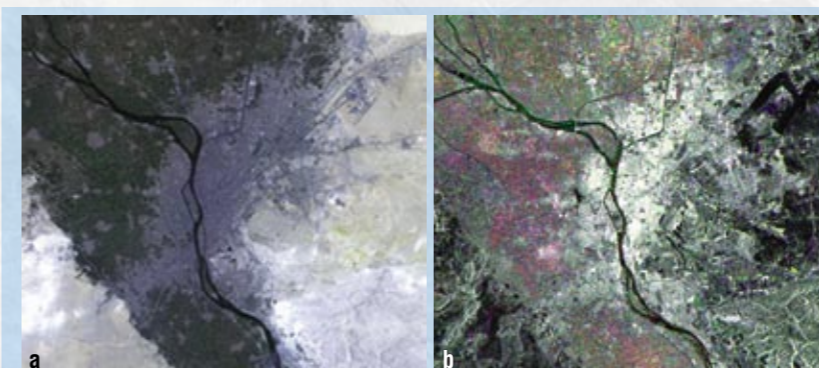
1. Immagine multispettrale rilevata da MERIS di Envisat dell'ESA il 14 febbraio 2005 e visualizzata in colori quasi naturali.



2. Immagine multitemporale elaborata dai dati rilevati nella banda spettrale delle microonde dal radar SAR del satellite ERS-2 dell'ESA nel 2002 e nel 2004 (cfr. testo). Date di Acquisizione: Red: 26 Settembre 2002, Green: 2 maggio 2002, Blue: 4 gennaio 2004.



3. Particolari della zona coltivata a Nord Est del Cairo nell'immagine multispettrale in colori naturali (Fig. 3a) e nell'immagine multitemporale del radar (Fig. 3b).



4. Particolare della città del Cairo nell'immagine multispettrale in colori naturali (Fig. 4a) e nell'immagine multitemporale del radar (Fig. 4b).



5. Immagine delle Piramidi di Giza rilevata dalla Fotocamera ad Alta Risoluzione del satellite Proba dell'ESA il 20 marzo 2004.