

## Introduzione

Lo scopo del SAR è fornire immagini elettromagnetiche (a frequenze comprese tra 500MHz e 10GHz) della superficie terrestre con risoluzione spaziale di qualche metro. Il gruppo di elaborazione numerica dei segnali presso il Dipartimento di Elettronica e Informazione del Politecnico di Milano ha iniziato ad occuparsi del problema dell'elaborazione di dati Radar ad Apertura Sintetica (SAR) nel 1985. Dal 1986, la ricerca del gruppo è proseguita di pari passo con la possibilità di avere a disposizione dati reali con i quali verificare quanto sviluppato in teoria. All'epoca l'unica piattaforma che avesse fornito dati SAR per uso civile era il satellite americano SEASAT (lanciato nel 1979 e spento dopo solo 78 giorni) operante alla frequenza di circa 1GHz e con banda di circa 20MHz. I dati del SEASAT sono stati utilizzati dal gruppo per mettere a punto nuove *tecniche di focalizzazione* dei dati e per studiare le possibilità offerte dall'*interferometria* SAR per generare mappe di elevazione digitale del terreno (DEM). Nel maggio 1991 veniva lanciato il primo SAR europeo a bordo del satellite ERS-1 (frequenza centrale di circa 5GHz e banda di poco inferiore ai 20MHz). Per primo, nell'agosto dello stesso anno, il gruppo ne ha verificato le capacità interferometriche per conto dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA), utilizzato i dati per sviluppare nuove tecniche di elaborazione dei dati interferometrici che hanno portato poi ad un brevetto registrato dall'ESA negli USA, e ha poi valutato le capacità offerte dal sistema per misurare moti cristallini con precisione centimetrica. Nel 1995 veniva lanciato il secondo satellite europeo ERS-2, gemello di ERS-1. Su suggerimento del nostro gruppo i due satelliti vennero posti sulla stessa orbita in modo da poter operare sulla stessa zona a distanza di un giorno. Con questa disposizione (TANDEM) dei satelliti sono stati acquisiti ripetutamente dati di tutta la superficie terrestre che oggi costituiscono una base di dati unica al mondo e che consente di generare DEM di vaste zone della superficie terrestre.

## Introduzione al SAR

### Il sistema

Il radar ad apertura sintetica (SAR) è uno strumento costituito da un radar di tipo convenzionale montato su una piattaforma mobile (un aeroplano o un satellite). L'antenna del radar è puntata verso terra ortogonalmente alla direzione di moto della piattaforma con un angolo compreso tra 20 e 80 gradi rispetto alla direzione di Nadir (detto di off-nadir).

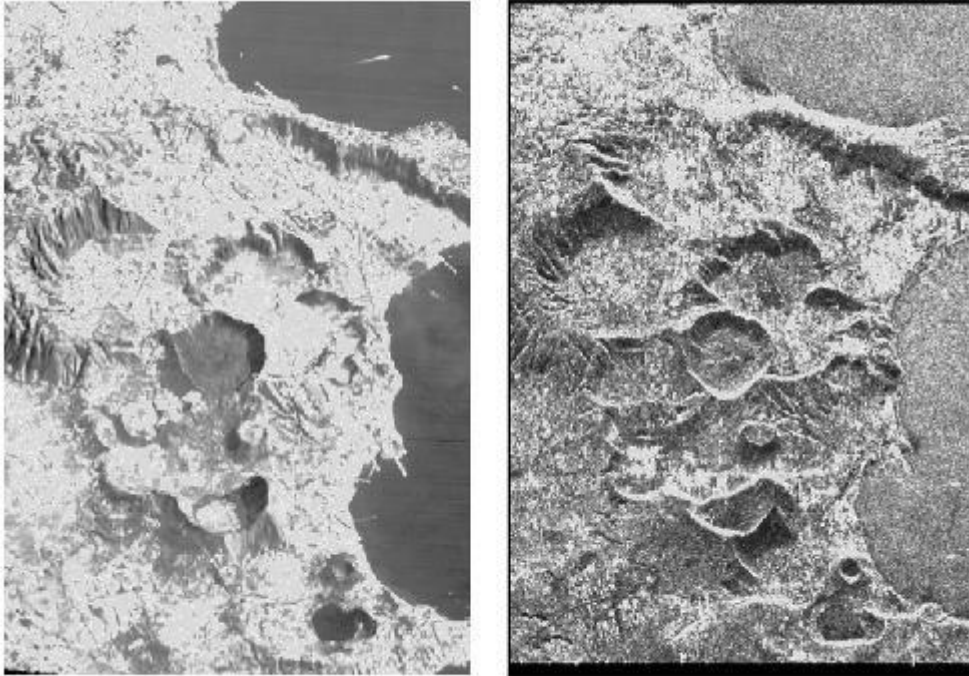
### Differenze rispetto alle immagini ottiche

I vantaggi del SAR rispetto ai consueti sistemi ottici sono legati alla capacità di operare di notte e in presenza di nuvole (ci sono aree della terra di cui non esistono immagini ottiche da satellite a causa della copertura nuvolosa perenne); ancora, il SAR può fornire immagini coerenti e cioè l'immagine contiene sia l'informazione d'intensità (legata alla riflettività degli oggetti) che l'informazione di fase (legata alla distanza tra bersaglio e radar). La coerenza del sistema SAR consente alcune applicazioni di grande interesse pratico, ma è causa del cosiddetto fenomeno di "speckle" visibile come una variazione casuale dell'intensità dell'immagine intorno al valor medio della retrodiffusione (lo stesso effetto di granulosità che si nota puntando un laser su una parete non perfettamente liscia). Questa variazione è dovuta alla ricombinazione casuale dei ritorni radar dai vari retrodiffusori contenuti nella cella di risoluzione dell'immagine. Un esempio della differenza visibile tra un'immagine ottica e una SAR è mostrato in figura 1.

### Deformazioni geometriche

Le due dimensioni spaziali dell'immagine SAR sono legate alla distanza degli oggetti dal sensore ("*slant range*") e alla posizione della piattaforma lungo la direzione di moto ("*azimuth*"). A causa di questa rappresentazione l'immagine SAR è affetta da deformazioni geometriche eguali a quelle di un sistema ottico che osservasse la superficie terrestre con angolo di vista complementare. Gli oggetti disposti su un terreno con pendenza pari all'angolo di off-nadir (cioè parallela all'antenna del radar) risultano essere tutti alla stessa distanza dal radar e quindi rappresentati nella stessa cella di risoluzione (non c'è possibilità di discriminare oggetti anche molto distanti tra loro se contenuti nel piano con questa pendenza). Queste zone vengono

dette di "foreshortening". Nel caso ottico, al contrario, questa disposizione consente la miglior risoluzione spaziale. Esattamente l'opposto accade per terreni con pendenza opposta dove il SAR consente la miglior risoluzione e il sistema ottico "schiaccia" tutti gli oggetti in un solo punto dell'immagine (come in una cartolina vista di profilo).



**Figura 1** - Confronto tra un'immagine ottica (satellite SPOT) e una SAR (satellite ERS-1) dell'area dei Campi Flegrei (Napoli). L'immagine ottica è stata messa nella geometria SAR per rendere possibile il confronto.

### La focalizzazione

Durante il moto della piattaforma il radar emette impulsi di breve durata ad intervalli regolari. La risoluzione spaziale in distanza  $r$  (slant range) è proporzionale alla durata degli impulsi trasmessi  $t$ . Quindi per ottenere risoluzioni in distanza inferiori a 10 metri è necessario trasmettere impulsi di durata inferiore a 66 ns o, equivalentemente, utilizzare una banda maggiore di 15MHz. In pratica si trasmettono impulsi modulati linearmente in frequenza di durata molto maggiore che poi vengono compressi con un filtro adattato nell'elaborazione numerica dei dati. Per quanto riguarda invece la direzione di azimuth, si sfrutta il moto della piattaforma rispetto agli oggetti a terra per "sintetizzare" tramite calcolatore un'antenna di dimensioni molto maggiori rispetto a quella fisica. Infatti per avere una risoluzione di 10 metri alla frequenza di 1GHz e alla distanza di 800km (la quota delle orbite generalmente utilizzate per il SAR da satellite) sarebbe necessaria un'antenna lunga più di 10km, ovviamente non realizzabile praticamente. Il trattamento dei dati "grezzi" che consente di comprimere gli impulsi e di sintetizzare l'antenna viene indicata con il termine di "focalizzazione" SAR.