

# Nuovi strumenti di telerilevamento da satellite nel controllo del territorio

## 2ª parte

di Michele Dussi

Il sistema Cosmo-Skymed, soluzione innovativa per le applicazioni di osservazione della Terra, apre uno scenario nuovo nell'impiego del telerilevamento da satellite. Questa seconda parte – che segue l'articolo pubblicato sul numero 1-2008 di GEOmedia – introduce all'uso applicativo delle immagini fornite dal sistema.

Nell'articolo precedente abbiamo visto una descrizione generale del sistema Cosmo-Skymed, di tipo architettonico e funzionale senza tuttavia entrare nelle tecniche dell'immagine processing. Ora passiamo a vedere sinteticamente le caratteristiche principali da tenere in conto nell'uso delle immagini radar. Successivamente esemplificheremo due casi di applicazioni in cui l'uso di Cosmo può effettivamente marcare una differenza importante rispetto al quadro delle tecnologie precedentemente disponibili.

### La costruzione delle immagini SAR

Nell'analisi delle immagini SAR, occorre tener conto di alcune tipicità derivanti dalle caratteristiche fisiche e geometriche del metodo di generazione delle riprese. Il SAR opera per mezzo di onde elettromagnetiche ed il sensore (antenna) consente di rilevare particolari parametri di ritorno degli impulsi trasmessi (intensità del segnale di ritorno o *backscattering*, fase di ritorno, tempo di ritorno, polarizzazione, caratterizzazione Doppler). Ognuno dei parametri, da solo o in combinazione con altri, fornisce informazioni utili alla costruzione dell'immagine per pixel ed alla valutazione per questi di alcuni aspetti specifici (copertura del suolo, elevazione, distanza, caratterizzazione risposta, focalizzazione target) (Figura 1a). Per costruire un'immagine utilizzabile a partire dai segnali di ritorno di tutti gli impulsi inviati dal sensore, occorre ricostruire lo schema geometrico della griglia di ripresa a

terra attraverso opportuni procedimenti di focalizzazione del segnale per aumentare la risoluzione e di correzione della distorsione sulla geometria laterale (*slant range vs ground range*). Una volta fatto questo si ha una immagine per pixel analoga a quelle derivanti dai più noti sensori ottici (Figura 1b).

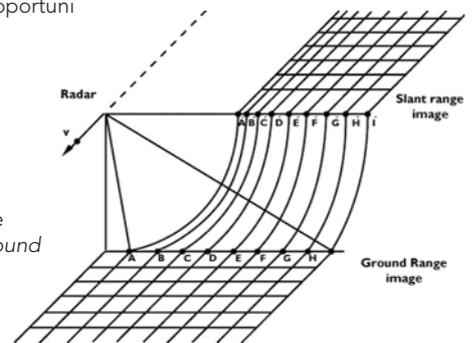


Fig.1b distorsioni di ripresa - © ESA

### Peculiarità delle immagini SAR

La granularità (*speckle*) è la caratteristica più evidente e deriva dal sovrapporsi per ogni pixel del *backscattering* di elementi circostanti a quello target. È una sorta di rumore che rende l'immagine meno nitida. La correzione di questo aspetto presenta un limite dipendente dal sistema. Le distorsioni dipendenti dall'orografia sono di tre tipi e sono facilmente riconoscibili sulle immagini SAR. Il *foreshortening* che consiste nell'accorciamento di distanze per punti che giacciono su una superficie di rilievo orientata verso il SAR, il *layover* che consiste in un ridotto *backscattering* evidenziato da zone molto bianche delle immagini corrispondenti a superfici di rilievo viste dal SAR con angoli molto obliqui, lo *shadowing* che consiste in vere e proprie zone d'ombra del segnale di ritorno su superfici non in visuale del SAR. (Figura 2a)

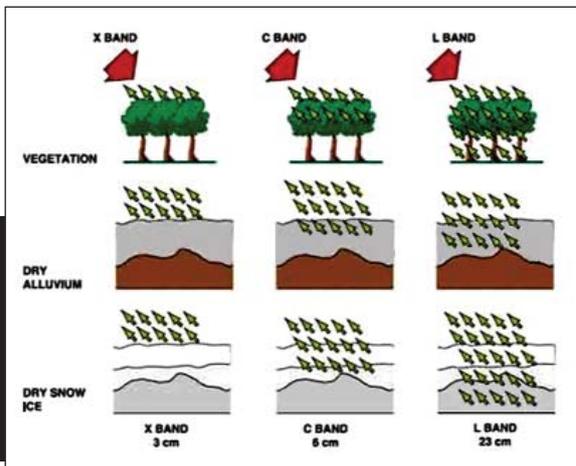


Fig.1a  
backscattering - ©  
ESA earth esa int.

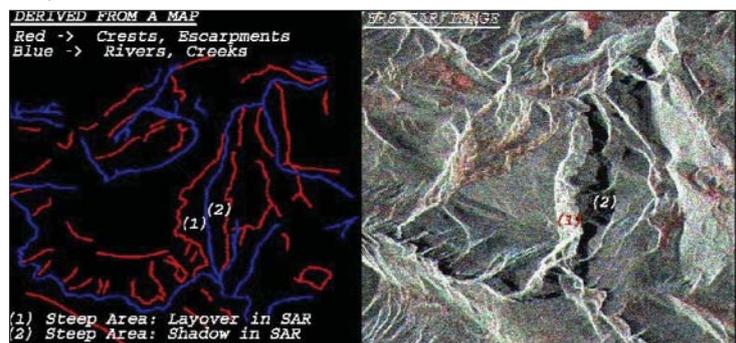


Fig.2a distorsioni di orografia - © ESA & PoliMi.

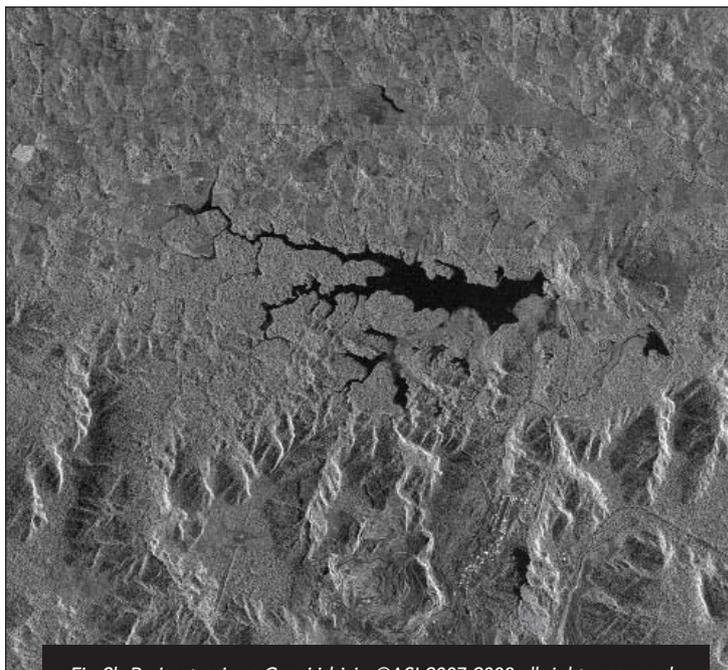
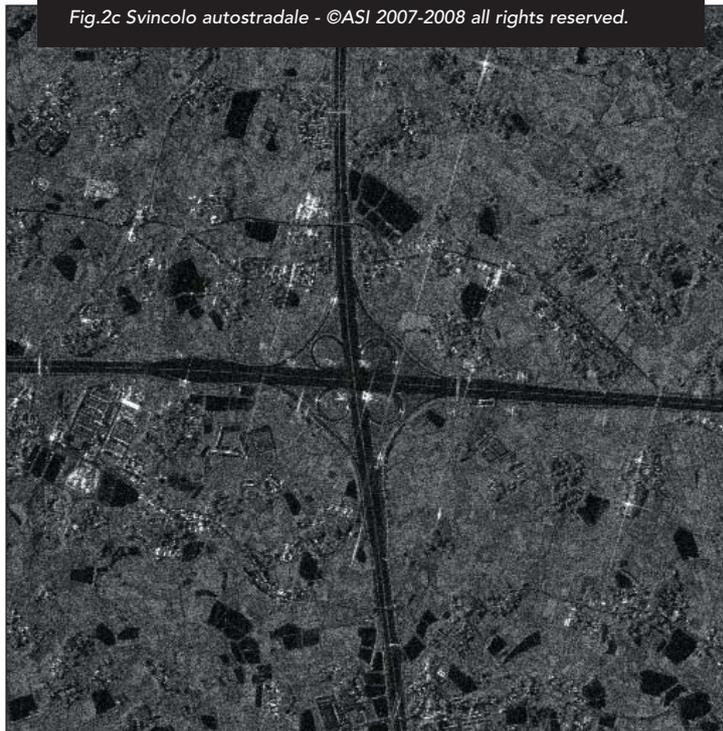


Fig.2b Perimetrazione Corpi idrici - ©ASI 2007-2008 all rights reserved.

Questi tipi di errori non sono completamente correggibili con una singola ripresa, occorre integrare le informazioni mancanti con altre immagini prese da punti di vista e angolazioni diverse.

Le superfici orizzontali completamente scure corrispondono di solito a elementi che non riflettono verso la sorgente SAR, in particolare i corpi d'acqua ferma (laghi, stagni, ecc. - Figura 2b). Viceversa, i corpi metallici con superfici geometricamente capaci di riflessione parallela alle onde incidenti, appaiono come punti molto luminosi con scie nelle direzioni di moto del fascio elettromagnetico del SAR (Figura 2c).

Fig.2c Svincolo autostradale - ©ASI 2007-2008 all rights reserved.



### L' interferometria e i suoi derivati

Oltre al trattamento della singola immagine, sono state messe a punto una serie di tecniche elaborative basate sulle caratteristiche fisico-matematiche del segnale SAR, in particolare tecniche interferometriche.

Molto schematicamente, l'interferometria origina dal fatto che la fase associata ad ogni pixel è scomponibile in una parte derivante dalla distanza SAR-target e da un termine aggiuntivo che tiene conto di diversi tipi di errore indotto (*phase-shift* di riflessione, atmosferico, di rumore). Questo termine aggiuntivo di errore può considerarsi costante per riprese successive a poca distanza di tempo dello stesso punto benchè da posizioni diverse. Così, per differenza tra due riprese successive, otteniamo che la differenza di fase è proporzionale alla differenza di distanza delle due riprese ( $\Delta\Phi = k\Delta r$ ), che equivale a dire di poter correlare le variazioni di quota alle variazioni di fase.

I valori di fase possono essere rappresentati attraverso un interferogramma che di fatto evidenzia le curve di livello e mostra curve più fitte per variazioni più marcate (Fig.3). Un elemento critico è che la differenza di fase è definita a meno di  $2\pi$  e questo non consente immediatamente di valutare differenze di quota assolute, ma solo relative. Per passare alle quote assolute occorre calcolare quante volte la fase dell'onda elettromagnetica riflessa (per semplicità pensiamola sinusoidale) ha effettuato un giro completo pari a  $2\pi$ . Si opera attraverso particolari algoritmi di srotolamento (*phase unwrapping*), strumenti matematicamente complessi anche se concettualmente semplici.

Senza dilungarci troppo sui metodi, l'applicazione di questo principio consente di costruire un DEM da immagini SAR, quindi una topografia dell'area osservata, ed anche di

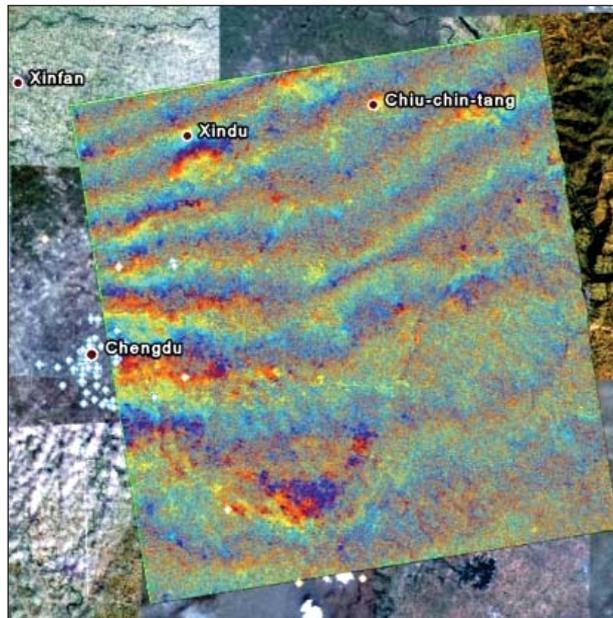


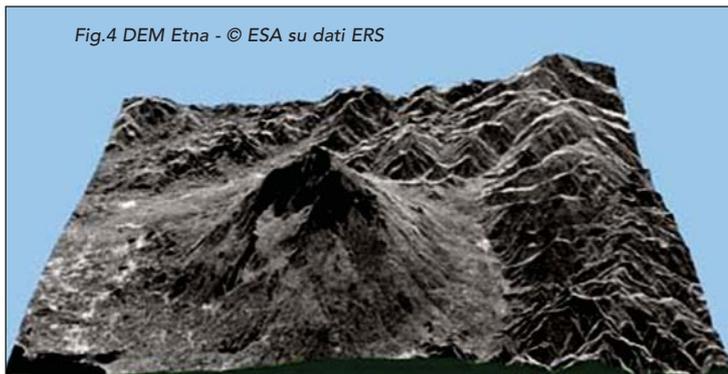
Fig.3  
CINA  
interferogramma  
Elaborazione  
PoliMi e  
Prot.Civile  
dati  
© ASI 2008  
All rights  
reserved

valutare spostamenti della crosta terrestre per confronto tra successive riprese ed un DEM di riferimento, quindi evidenziare fenomeni di subsidenza o altre deformazioni superficiali (Figura 4).

In sintesi abbiamo lo schema seguente per livelli di processamento e analisi.

Rilevazione	Tecnica	Procedimento
Copertura della superficie	SAR	Modelli di back-scattering
Elevazione del suolo	InSAR	Interferogrammi + srotolamento di fase
Spostamenti della crosta	DifSAR	InSAR + confronti successivi

Fig.4 DEM Etna - © ESA su dati ERS



### Due esempi di ambiti applicativi

Le caratteristiche tecniche più rilevanti di Cosmo sono la elevata ripetitività, che accorcia enormemente i tempi di rivisitazione rispetto ai sistemi monosatellite, la risoluzione elevata, che consente riconoscimenti delle geometrie a terra molto spinte, l'operatività ogni-tempo, grazie al sensore radar. E' evidente quanto queste tre caratteristiche rendano Cosmo particolarmente utile per impieghi di monitoraggio in condizioni di emergenza da calamità naturali o comunque con condizioni avverse, quindi per applicazioni di Protezione Civile.

All'estremo opposto vi è la possibilità di poter effettuare anche operazioni nelle quali il tempo di risposta non è affatto critico in termini assoluti, ma l'accesso ai dati riveste tuttavia una sua importanza rispetto ai processi usuali di svolgimento di operazioni tecniche. Stiamo parlando della tipica attività di verifica della cartografia.

### Applicazioni di protezione civile: rilevazione post-evento

Un esempio eclatante delle grandi capacità di Cosmo si è avuto a seguito dei recenti eventi calamitosi in Estremo Oriente. Nelle circostanze, l'Agenzia Spaziale Italiana ha potuto effettuare un survey delle zone con grandissima tempestività e con elevata efficacia, ottenendo un vero successo sia operativo che scientifico.

Il terremoto ha sorpreso gli abitanti del Sichuan e in particolare delle aree montagnose a nord della metropoli di Chengdo, costellate di piccoli paesi (Wenchuan, Beichuan, per citare i più colpiti), alle 14,30 circa del 12 maggio scorso. La violenza delle scosse ha raggiunto i 7,8 gradi della scala Richter. Quando nel 1908 a Messina si raggiunsero i 7,1 gradi, la città fu distrutta quasi interamente, con un bilancio di 130.000 morti. Nel 1915 ad Avezzano si raggiunse l'XI grado della scala Mercalli (scossa catastrofica) con 29.000 vittime e 120.000 sfollati. In Irpinia, nel 1980, si arrivò ai 6,8 gradi Richter con 3.000 morti. Non c'è quindi da meravigliarsi se in Cina, tenendo conto anche dei differenti sistemi di fabbricazione e di un contesto geologico diverso, sono stati finora accertati 35.000 tra morti e dispersi e 5 milioni di senzatetto, pari a tutti gli abitanti del Lazio (la stesura dell'articolo è stata completata il 17 giugno 2008. NdR).

E' proprio allo scopo di fornire aiuto in circostanze drammatiche come queste che Cosmo-Skymed è stato pensato e realizzato con le caratteristiche che ha, per consentire rilevazioni in condizioni avverse al fine di conoscere tempestivamente dove e come intervenire. Il tempo è sempre la risorsa più pregiata.

*"Quando i sismografi di tutto il mondo hanno registrato l'evento, e la notizia è arrivata in Italia, abbiamo cominciato a pensare a come dare supporto con i nostri sistemi alle operazioni di gestione dei soccorsi".* Alessandro Coletta – un fisico con molti anni di esperienza nel settore spaziale sia nell'Industria sia sul lato della ricerca e oggi responsabile della missione Cosmo-Skymed nell'Agenzia Spaziale Italiana –

ricorda così la riflessione della prima ora sulla possibilità di utilizzare le immagini radar satellitari per agevolare le operazioni di soccorso, basandosi anche su una precedente e analoga operazione seguita all'emergenza in Myanmar, in cui le riprese radar hanno dato il meglio delle proprie potenzialità, mappando rapidamente tutte le zone inondate e le aree distrutte dal ciclone Nargis.

*"Le autorità cinesi hanno inoltre esplicitamente gradito e voluto il supporto dell'ASI per la fornitura di strumenti di monitoraggio, dando così anche ulteriore esito positivo a tutti i precedenti colloqui avuti tra le rispettive istituzioni sulla potenziale collaborazione attorno a Cosmo-Skymed".*

Nell'immediato post-evento, le condizioni meteo particolarmente avverse hanno impedito per parecchio tempo ai mezzi aerei cinesi di effettuare efficaci ricognizioni di quanto accaduto. Così non è stato per le riprese effettuate da Cosmo-Skymed che ha osservato – grazie al radar – sia attraverso le nuvole che di notte. Una volta proceduto alla pianificazione delle riprese, non è rimasto che attendere l'acquisizione delle immagini che, attraverso una rete di stazioni terrestri distribuite sul globo (Cordoba in Argentina, Kiruna in Svezia oltre a Matera per lo scarico dei dati), sono state trasmesse al Centro di Matera dove i tecnici della Telespazio, ci racconta Luca Pietranera, hanno proceduto alla elaborazione e ritrasmissione in Cina.

Pietranera, un fisico tra i più esperti di trattamento delle informazioni telerilevate, valuta che le immagini siano state rese disponibili alle autorità cinesi circa 6 ore dopo l'acquisizione (e in assoluto 28 ore dopo la scossa sismica), comprendendo in ciò anche i tempi di trasmissione (circa 1 ora) che incidono parecchio su dati di rilevante quantità ai quali si fa fare letteralmente il giro del mondo.

*"Per usare al meglio il sistema"* – aggiunge Pietranera – *"sarebbe opportuno disporre, su tutti i territori potenzialmente a rischio, di riprese in condizioni ante-evento, in modo da poter effettuare subito anche delle analisi di change-detection che meglio consentono di definire le aree danneggiate e l'entità dei danni, come pure di fare elaborazioni particolari utilizzando l'interferometria che consente di arrivare a misurazioni delle deformazioni del suolo sub-centimetriche"* (si veda in fig.3 Interferogramma predisposto dal Dip. Protezione Civile con il Politecnico di Milano. NdA.).

*"Quando la costellazione dei satelliti Cosmo sarà completa"* – continua Coletta – *"sarà ancora più facile ridurre i tempi di ripresa e disporre di immagini programmate per massimizzare l'efficacia delle elaborazioni mirate su specifici aspetti o effetti degli eventi calamitosi".*

### Applicazione di cartografia: verifica speditiva

Intendiamo: non stiamo parlando di aggiornamento cartografico – procedura che deve rispettare norme tecniche precise, della stessa qualità tecnica della carta sottoposta al processo.

Stiamo invece dicendo che, in sede di stesura di piani o progetti è importante – anzi indispensabile – sapere che un elemento territoriale è variato, o che un nuovo manufatto esiste in un dato punto, disponendo almeno delle caratteristiche geometriche di massima e della localizzazione relativa rispetto agli elementi circostanti.

La produzione di cartografia tecnica, effettuata usualmente da o per conto di Enti Pubblici secondo normative tecniche stringenti e procedimenti amministrativi vincolanti, richiede abitualmente da 5 a 10 anni per una copertura completa di aree sufficientemente vaste da ottimizzare i tempi ed i costi. Esempi tipici sono la carta tecnica a scala regionale o le cartografie di pianificazione territoriale di coordinamento ed urbanistica.

Esiste cioè un problema di sincronizzazione tra esigenze amministrative del territorio e tempistica di messa in



Fig.5 Modifiche di Infrastrutture - ©ASI 2007-2008 all rights reserved

produzione e completamento a norma della cartografia tecnica. Spesso l'Amministrazione si trova costretta a pianificare sulla base di carte precise quanto a caratteristiche tecniche di rappresentazione ma non più aggiornate proprio nelle parti più dinamiche – tipicamente quelle urbane o quelle attraversate da infrastrutture – che per loro natura necessitano maggiormente sia di vincoli pianificatori sia di conoscenza a priori.

Per questo può essere molto utile disporre di un processo speditivo, possibilmente semi-automatico od assistito, che consenta di dare evidenza quali-quantitativa e immediata delle modifiche avutesi sul territorio rispetto ad una cartografia tecnica esistente di buona qualità ma della cui attendibilità non si può più essere completamente sicuri (Figura 5).

Peraltro, ricordiamo che gli studi di fattibilità nell'usare il SAR per produzioni canoniche di cartografie datano circa 20 anni e sono stati finora sperimentati solo su piattaforme aeree. Da oggi, disponendo di riprese da satellite ad alta risoluzione, sarà possibile anche raffinare i metodi e trasferire le tecniche già sperimentate sulle piattaforme aeree in campo spaziale.

### Conclusioni

Abbiamo detto che le competenze sul trattamento e l'impiego di immagini da sensori radar non sono altrettanto diffuse rispetto alla tecnologia dei sensori ottici. Questo in primo luogo per la complessità tecnica dei sistemi SAR che richiedono un'importante fase di processamento sui parametri di segnale prima di arrivare a generare prodotti usabili con gli abituali strumenti di image-processing end-user.

In secondo luogo perché, comunque, le caratteristiche dei prodotti base possono risultare di interpretazione meno intuitiva di quanto lo siano immagini da sensore ottico.

Purtuttavia, alcune delle caratteristiche sia tecniche sia operative rendono questo strumento utile, prezioso e in taluni casi senza alternative d'utilizzo. Non resta quindi che approfondire quanto schematizzato fin qui andando ad analizzare, nel dettaglio e sistematicamente, prodotti, tecniche e peculiarità necessari a risolvere specifiche classi di problemi di interesse. **G**

### Abstract

#### New satellite remote sensing instruments for land management

COSMO-Skymed remote sensing images, as well as other SAR (Synthetic Aperture Radar) missions, have their specific features, partly similar to optical system products. Pre-processing activities, allow the user to exploit the systems capabilities fairly easily after a focused training. SAR imaging's applications range from mission-critical applications (i.e. civil and military security applications) to simple user-driven ones (i.e. qualitative upgrade of civil cartography). In this application range, there is room for much development and optimization using new Cosmo-Skymed products. The best way to proceed seems to be tailoring single "vertical" application at a time.

### Autore

MICHELE DUSSI  
midussi@tin.it