

# IL TELERILEVAMENTO SATELLITARE

UNA RISORSA PER LA SICUREZZA DEL TERRITORIO

**CARLO TERRANOVA**

*A partire dagli anni Sessanta il telerilevamento satellitare ha rappresentato un insostituibile strumento di osservazione e diagnosi dei principali fenomeni naturali sulla Terra e sulla sua atmosfera, fornendo informazioni originali, affidabili e ripetute nel tempo per attività di studio e analisi delle dinamiche naturali e per le necessarie azioni di prevenzione e gestione delle discendenti catastrofi. Il suo impiego rappresenta una componente indispensabile per la previsione precoce e la gestione delle situazioni di emergenza sui territori colpiti da fenomeni naturali di tipo catastrofico, alcuni particolarmente accentuati negli ultimi decenni nella frequenza e intensità a seguito dell'accelerazione del cambiamento climatico in atto sul pianeta.*

**Dal** lancio dei primi satelliti per l'osservazione della Terra (il sovietico Sputnik 4 nel 1959 e lo statunitense Tiros 1 nel 1960), i sistemi e le tecnologie di telerilevamento dallo spazio hanno registrato una costante e rapida evoluzione, offrendo supporto a numerose discipline scientifiche, come la geologia, la meteorologia, l'oceanografia, le scienze agrarie ecc. L'impiego dei satelliti orbitanti nello spazio, finalizzati all'osservazione del pianeta, ha certamente portato negli anni innegabili risultati non solo in ambito scientifico, ma anche sociale, economico e politico. Tra i tanti esempi, è sufficiente citare (con riferimento al passato): il controllo della desertificazione nel Nordafrica e della deforestazione in America Latina; la rilevazione di discontinuità nello spessore dell'ozonofera; le stime Usa sui raccolti di frumento nell'ex Unione Sovietica; le immagini delle catastrofi nucleari di Chernobyl (Ucraina) e di Kyštym (Urali); lo scioglimento delle calotte polari, fino alle informazioni tattiche nei conflitti delle Falkland / Malvinas, del Golfo Persico e, più recentemente, del Medio Oriente.

Le missioni satellitari erano il risultato d'imponenti investimenti governativi, principalmente con finalità militari, che limitavano la diffusione del telerilevamento alle applicazioni scientifiche e a quelle a carattere sociale e diffuso. Ciò fino all'approvazione da



parte del governo Usa della *Land Remote-Sensing Commercialization Act* (1984). Ma un'ulteriore opportunità per gli usi civili del telerilevamento satellitare si è realizzata all'inizio degli anni Duemila con la declassificazione dei sensori ottici e radar ad alta risoluzione spaziale che, negli anni della Guerra fredda, erano impiegati esclusivamente per scopi strategici e d'intelligence. Dal 2001, con il lancio del primo satellite con caratteristiche militari per usi civili – alta risoluzione spaziale, programmabilità delle orbite ecc. – e in relazione alla massiccia presenza sul mercato occidentale di immagini provenienti da sistemi di spionaggio ex sovietico, il Congresso Usa (*REMOTE SENSING POLICY ACT 1992*) ha consentito alle industrie spaziali americane, fornitrici di sistemi satellitari di tipo avanzato, di realizzare missioni a carattere commerciale utilizzando tecnologie fino a quel momento segrete. La moltiplicazione di piattaforme orbitanti per l'osservazione terrestre, soprattutto di tipo commerciale, oltre a giovare alle discipline interessate ha anche favorito una certa stabilità nei rapporti tra paesi confinanti, specialmente tra quelli in cui controversie nella definizione delle frontiere avevano portato a errate interpretazioni sulle attività militari e civili che si svolgevano a ridosso di esse.

I sistemi civili di telerilevamento satellitare, fino a oggi operativi, sono stati finanziati e sviluppati nell'ambito di progetti governativi di osservazione della Terra, voluti e condotti da grandi potenze come gli Stati Uniti, la Russia, la Cina e da paesi europei il cui scopo è sempre stato quello di fornire immagini della superficie terrestre in grandi quantità, per usi molteplici e non predefiniti. Tutte le discipline di studio dei fenomeni naturali presenti nella litosfera / atmosfera / ionosfera hanno beneficiato direttamente, dagli anni Sessanta a oggi, della crescente disponibilità di immagini telerilevate dallo spazio con sempre maggiore risoluzione al suolo (ora sub-metrica) ed elevata risoluzione temporale delle loro acquisizioni (da un giorno a 15 minuti). Il telerilevamento da satellite ha inoltre rafforzato le capacità dei sistemi di protezione civile, consentendo applicazioni rivolte al supporto per la previsione e prevenzione dei principali fenomeni naturali di carattere catastrofico sui territori abitati – quali uragani, frane, subsidenze, incendi, eruzioni vulcaniche e terremoti – rendendo possibile la valutazione del danno e la pianificazione delle attività di soccorso e ricovero delle popolazioni interessate.

#### IL TELERILEVAMENTO SATELLITARE

Il telerilevamento è la scienza che permette di acquisire informazioni sulla Terra mediante strumenti remoti come i satelliti. Esso risulta indispensabile per lo studio dei fenomeni naturali e della loro evoluzione. Due tipi complementari di sistemi satellitari sono particolarmente importanti:

- quelli in orbita polare, posizionati a quote relativamente basse (400-900 km dal suolo), che forniscono una risoluzione spaziale alta (decine di metri) o altissima (30 cm), ma che raccolgono solo i dati nello stesso punto a cadenze prefissate;
- quelli geostazionari, collocati a una quota molto più alta (circa 36.000 km), che or-

bitano solidali al moto di rotazione terrestre, inquadrando così sempre la stessa area; i loro dati a immagine sono molto più grezzi in termini di risoluzione al suolo, ma vengono raccolti per la stessa scena anche ogni 15 minuti (Meteosat Msg).

Ogni satellite è in grado di portare a bordo uno o più sensori per effettuare principalmente misurazioni e registrazioni nelle diverse lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico, sfruttando i fenomeni fisici della riflessione ed emissione, dell'assorbimento e della trasmissione, quando tali onde interagiscono con la materia terrestre compresa la sua atmosfera.

I sensori consistono in scanner ottico-elettronici: di *tipo passivo* (sfruttano il Sole o la Terra come sorgente di energia), che operano nella regione del visibile e dell'infrarosso vicino, medio e lontano dello spettro elettromagnetico, o radar ad apertura sintetica (Sar); di *tipo attivo* (che emettono fasci di microonde) in grado di catturare l'intensità di riflessione misurando i tempi e quindi le distanze nella trasmissione del segnale radar dal satellite al suolo. I sistemi di telerilevamento Sar possono operare anche di notte e con copertura nuvolosa.

#### IL TELERILEVAMENTO NELLO STUDIO E PREVENZIONE DEI FENOMENI NATURALI CATASTROFICI

*Siccità* – Per il contrasto ai fenomeni di siccità e alle conseguenti carestie, il telerilevamento satellitare agisce attraverso previsioni climatiche a lungo termine, utili a costruire vari scenari prima o durante la stagione. I dati delle precipitazioni via satellite geostazionario possono aiutare a monitorare le condizioni di crescita o stress idrico della vegetazione, prevedere l'umidità del suolo o verificare la produzione e la resa del raccolto. La carestia dovuta a fenomeni di siccità, particolarmente accentuati nella frequenza e nell'intensità, rappresenta una costante minaccia ambientale e sociale nei paesi in via di sviluppo, in particolare in Africa. Tuttavia, a differenza di molti disastri naturali, i fenomeni di siccità iniziano lentamente e pertanto possono essere previsti con mesi di anticipo tramite le osservazioni satellitari. Ad esempio, la rete di sistemi di allarme precoce Famine Early Warning Systems Network, finanziata dalla United States Agency for International Development, monitora la sicurezza alimentare via satellite – utilizzando indici di vigore e densità della vegetazione e stime sulle precipitazioni in modo da modellare i sistemi idrologici – e le modalità attraverso le quali i fenomeni meteo-climatici possono influire sull'agricoltura.



*Cicloni e tempeste* – Già all'inizio degli anni Sessanta, dalle prime immagini del satellite Tiros, la comunità scientifica mondiale percepì l'immenso contributo che tale tecnologia avrebbe assicurato alle discipline di studio della climatologia e della meteorologia che hanno ormai raggiunto livelli straordinari di performance grazie alla disponibilità di missioni dedicate. Basti considerare che la risoluzione temporale delle previsioni meteo è passata dai cinque giorni del 2005 a quasi due settimane grazie ai satelliti geostazionari di nuova generazione (Meteosat, Goes ecc.) e a catene di processamento sempre più rapide ed efficaci dei dati.

Ad esempio, il programma *Tropical Cyclone* della World Meteorological Organization utilizza osservazioni satellitari, insieme a misurazioni meteorologiche e modellizzazione, per produrre un servizio di pre-allerta. La frequenza di acquisizione delle immagini a infrarosso stima la posizione, la direzione e la velocità della tempesta / ciclone, la velocità massima del vento, le aree che potrebbero essere colpite, fornendo costantemente la loro progressione ed evoluzione temporale.

*Alluvioni* – Oltre all'impiego di osservazioni pluviometriche di previsione pre-allarme tramite missioni ottiche geostazionarie a infrarosso (Meteosat), il telerilevamento satellitare fornisce immagini a elevata precisione delle aree inondate, sia nella loro estensione che nel livello altimetrico raggiunto dalle acque. Esso, inoltre, contribuisce in modo significativo alla mappatura preventiva di aree soggette a inondazioni, identificando siti di ricovero e di stoccaggio tramite l'uso combinato di immagini ottiche e di modelli digitali del terreno, derivati da osservazioni in modalità stereoscopica (Alos Prism).

*Frane e subsidenze* – L'impiego di sensori a bordo di piattaforme satellitari consente osservazioni periodiche e di rilevare su aree a propensione di frana modificazioni superficiali spesso collegate, direttamente o indirettamente, a fenomeni d'erosione e/o di movimento lento di masse instabili. Il telerilevamento con sensori passivi contribuisce allo studio delle aree di frana attraverso il rilevamento e l'identificazione di fattori predisponenti dell'umidità di superficie o della massa instabile, della fratturazione, della morfologia, delle condizioni ambientali complessive (vegetazione, drenaggio, antropizzazione ecc.) e, in generale, di cause prossime o remote (pericolo distale). Dagli anni Novanta, con l'uso dei Sar a bordo dei satelliti europei Ers 1 e 2 e l'impiego di metodologie di elaborazione multitemporale del segnale di fase (interferometria differenziale o DInSAR), l'applicabilità del telerilevamento per la difesa del suolo si è estesa con la possibilità di individuare deformazioni millimetriche delle masse instabili o delle aree sottoposte a subsidenza naturale e indotta.

*Incendi* – Le osservazioni satellitari per la prevenzione e la gestione degli incendi boschivi si avvalgono di un'ampia gamma di sensoristica e di missioni. Missioni geostazionarie e orbitanti a bassa quota forniscono immagini quotidiane quasi in tempo reale (entro poche ore dalla raccolta dei dati), identificando anomalie termiche (hotspot) sulla scena osservata attivando, laddove richiesto, altri satelliti per raccogliere ulteriori informazioni sul fuoco attivo e sulle superfici percorse dalle fiamme per la successiva stima dei danni. Ad esempio, l'European Forest Fire Information System (Effis), utilizzando dati dalle missioni Eos 1 e Suomi, fornisce in tempo quasi reale la situazione giornaliera di eventuali anomalie termiche che possano determinare incendi di vaste proporzioni, contribuendo alle attività di contrasto. In fase post-evento satelliti ottici ad altissima risoluzione sono in grado di rilevare il danno in termini di estensione e classificazione della severità dell'incendio sulle superfici forestali percorse.

*Attività vulcanica* – Il telerilevamento satellitare fornisce utili informazioni sullo stato e sull'evoluzione di sistemi vulcanici attivi controllando, in termini di precursori, eventuali emissioni termiche e deformazioni del suolo che accompagnano e/o precedono eruzioni ed effusioni. Le immagini termiche sono utilizzate, inoltre, per mappare i flussi di lava durante un'eruzione, mentre la deformazione dell'edificio vulcanico viene oggi controllata dallo spazio attraverso satelliti radar in grado di ricostruire, dopo successivi passaggi, le variazioni altimetriche del suolo generate dalle pressioni endogene. Negli ultimi decenni molti eventi eruttivi a scala globale o continentale sono stati inoltre monitorati da satelliti geostazionari per rilevare l'andamento e la dispersione del plume vulcanico di cenere e particolato emesso nella bassa e alta atmosfera, al fine di garantire la sicurezza al volo delle rotte aree commerciali e militari interessate. I satelliti ottici ad altissima risoluzione sono, infine, impiegati per la valutazione dei danni e delle modificazioni morfologiche e ambientali post-evento.

*Terremoti e tsunami* – Il telerilevamento da satellite di tipo passivo è stato estesamente impiegato per identificare faglie, lineazioni tettoniche ed elementi morfotettonici in superficie, utili a caratterizzare aree sismogenetiche a elevata pericolosità, ma fino a oggi ha principalmente prodotto immagini post-evento, tramite sistemi ad alta risoluzione in grado di evidenziare, anche automaticamente, estesi danni all'edilizia e alle infrastrutture nonché di identificare le aree di ricovero e la pianificazione dei soccorsi. Dal 1992, con i satelliti



europei Ers, dal telerilevamento radar sono state tratte impressionanti immagini delle modificazioni geologiche e morfologiche in aree colpite da forti terremoti, ma sempre a evento catastrofico avvenuto. Anche se, allo stato dell'arte delle tecnologie e conoscenze, è universalmente riconosciuto che i fenomeni tellurici sono estremamente difficili da prevedere, il telerilevamento satellitare potrebbe, nel prossimo futuro, migliorare le previsioni utilizzando i Sar per l'analisi interferometrica multitemporale con cui osservare e misurare le anomalie geodetiche pre-evento su un'area a elevato potenziale sismico. L'accuratezza delle misure millimetriche oggi realizzabili e la raffinatezza delle metodologie di analisi multitemporale di tipo puntuale (PSinSAR), soprattutto se realizzate in accoppiamento con i segnali delle reti permanenti Gps, sono in grado di potenziare, in termini analitici e informativi, le previsioni su possibili eventi sismici valutando l'accumulo di stress in atto tramite il monitoraggio e la modellizzazione delle deformazioni rilevate nel passato e nel presente.

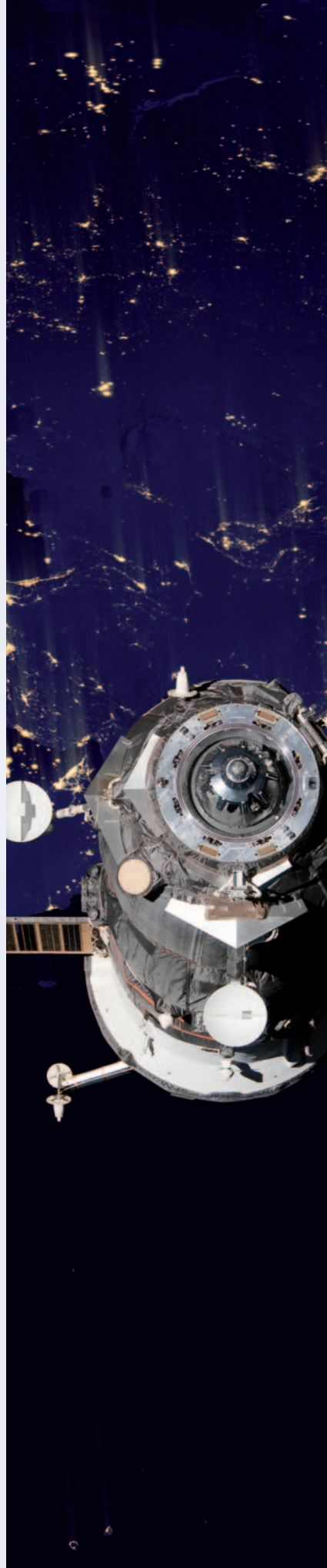
#### QUALE FUTURO

Il telerilevamento satellitare per usi civili è una tecnologia e una disciplina in rapida espansione, trainata dallo sviluppo dei mercati Ict e aerospaziale ma anche dalla crescente domanda di immagini da settori di utenza sempre più ampi e articolati (ambiente, sicurezza, protezione civile, agricoltura, navigazione, turismo ecc.). I fornitori nazionali e commerciali offrono una varietà di sistemi di cui molti distribuiti con la logica degli *open data* e, quindi, senza costi per l'utenza pubblica e privata.

È il caso del Programma Copernicus dell'Unione europea – sviluppato in collaborazione con l'Agenzia spaziale europea – che prevede una nuova famiglia di sette specifiche missioni satellitari chiamate Sentinel.

Ogni missione, basata su una costellazione di due satelliti in orbita tandem per soddisfare i requisiti di risoluzione temporale e copertura, consente di acquisire dati affidabili da strumenti di *imaging* radar e multispettrale per il monitoraggio terrestre, oceanico e atmosferico.

Copernicus offre un sistema unificato attraverso il quale vaste quantità di dati vengono immesse in una serie di servizi d'informazione a carattere tematico, progettati per favorire l'ambiente, la sua sicurezza, il modo in cui viviamo, i bisogni umanitari e per sostenere politiche efficaci per un futuro più sostenibile. L'Italia vi partecipa con risorse finanziarie e con la disponibilità della sua costellazione CosmoSkyMed. Costituito da quattro satelliti Sar, è in grado di effettuare fino a 450 riprese al giorno della superficie terrestre, pari a 1800 immagini ogni 24 ore.



Le immagini CosmoSkyMed, così come quelle dei satelliti Sentinel, rappresentano l'opportunità futura di alimentare e aggiornare l'archivio del Piano straordinario di telerilevamento (Pst) – di cui alla legge 31 luglio 2002, n. 179 – sviluppato a metà degli anni Duemila dal ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare. L'archivio Pst rappresenta una realizzazione unica nel contesto del telerilevamento internazionale; esso raccoglie le elaborazioni radar PSinSAR derivate dai satelliti europei Ers1/Ers2 ed Envisat, operativi tra il 1992 e il 2011, su tutto il territorio nazionale, e fino al 2013 su aree critiche, utilizzando il sistema satellitare CosmoSkyMed. Il nostro è quindi l'unico paese al mondo a essersi dotato, in senso operativo, di un simile strumento diagnostico e di una banca dati storica estesa all'intera penisola, anticipando di un decennio la pressante esigenza conoscitiva e il fabbisogno informativo degli altri paesi europei risolvibile oggi, e in futuro, con gli investimenti richiesti dal programma Copernicus.

Per l'Italia il futuro sviluppo del telerilevamento satellitare, quale pratica accessibile e diffusa soprattutto nella nuova pubblica amministrazione digitale, è legato alla capacità di rendere velocemente attuativo il programma di investimenti previsto dalla recente delibera del Comitato interministeriale per la programmazione economica sulla *Space Economy*



#### BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, *Manual of Remote Sensing*, 2nd ed., Asp, Falls Church (Virginia) 1983.
- EUROPEAN FOREST FIRE INFORMATION SYSTEM (Effis) <<http://effis.jrc.ec.europa.eu/>> [23-03-2018].
- L.W. FRITZ, *The Era of Commercial Earth Observation Satellites*, «Photogrammetric Engineering & Remote Sensing» (gennaio 1996).
- L.J. LEAVY – S.B. CHODAKEWITZ, *Implications for cross-border conflict*, in M. KREPON ET AL., *Commercial Observation Satellites and International Security*, Palgrave Macmillan, Basingstoke UK, 1990.
- S. LEWIS, *Remote sensing for natural disasters: Facts and figures*: <<https://www.scidev.net/global/earth-science/feature/remote-sensing-for-natural-disasters-facts-and-figures.html>> [23-03-2018].
- MINISTERO DELL'AMBIENTE, DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE – 2005 *Il Piano Straordinario di Telerilevamento*: <<http://www.pcn.minambiente.it/mattm/progetto-piano-straordinario-di-telerilevamento/> <<http://www.pcn.minambiente.it/mattm/progetto-pst-prodotti-interferometrici/>> [23-03-2018].
- G.L. ROCHON ET AL., *Applicability of Near-Real-Time Satellite Data Acquisition, Analysis & Distribution of Geoinformation in Support of African Development*, UN Eca 2005.
- C. TERRANOVA, *Le immagini tematiche telerilevate nel passaggio dal sistema cartografico al sistema telematico di comunicazione delle informazioni geografiche*, Atti del XXIX Convegno Naz. Ass. It. di Cartografia, Pavia 1993.
- C. TERRANOVA, *Evoluzione dei sistemi di telerilevamento da satellite e trasformazione indotte nel mercato dell'informazione geografica*, «Rivista Italiana di Telerilevamento» (ottobre 1996): <[https://aitonline.files.wordpress.com/2014/07/rit\\_07-08.pdf](https://aitonline.files.wordpress.com/2014/07/rit_07-08.pdf)> [23-03-2018].
- L. WATER, *Uses of Satellite Technology in Disaster Management in Communication When It's Needed the Most: How New Technology Could Help in Sudden Disasters*, Report of the International Disaster Communications Project, Washington, D.C., The Annenberg Washington Program 1990.