

Un occhio sull'ambiente fisico del Pianeta Terra

An eye on the physical environment of planet Earth

FEA M. (*)

CONSIDERAZIONI GENERALI

Dalla metà del XIX secolo l'uomo ha cominciato ad osservare la Terra ed il suo ambiente non più solo dalla superficie ma da quote sempre più alte, in funzione del progresso tecnologico e della disponibilità di nuovi mezzi "volanti": le mongolfiere, e poi gli aeroplani, hanno dato il via al moderno telerilevamento.

Infine, dal 1960, è iniziata l'era del telerilevamento dallo spazio con il lancio, a soli tre anni dal volo dello Sputnik-1, del primo satellite meteorologico, il TIROS-1.

Oggi, i satelliti in volo per il telerilevamento a scopi civili sono numerosi ed offrono eccellenti informazioni per lo studio del pianeta e la sorveglianza multidisciplinare del territorio e dell'ambiente.

I settori spaziali che forniscono un importante contributo alla conoscenza ed alla gestione dell'ambiente e del territorio sono le telecomunicazioni, la navigazione e localizzazione di precisione, il telerilevamento o osservazione della terra.

È quasi superfluo sottolineare che anche in questi settori, a garanzia di un corretto uso dei dati e di un'equilibrata ed approfondita capacità di analisi ed interpretazione dei dati stessi, valgono le due regole d'oro: fare un uso integrato di ogni fonte informativa disponibile, passata e presente, al suolo e dallo spazio, ed avere un solido ed efficiente programma di informazione, educazione e formazione a tutti i livelli.

ASPETTI DECISIONALI PER L'OGGI E PER IL DOMANI

Nelle applicazioni relative a responsabilità sul territorio e sull'ambiente, la circolazione dell'informazione per arrivare ad una decisione, e quindi ad un'azione, si svi-

luppa in due fasi principali, come si evince dalla figura 1.

La prima fase concerne due aspetti essenziali: la raccolta dei dati necessari alla conoscenza della storia precedente e della situazione al momento dell'analisi, ed il lavoro analitico di specialisti con capacità ed esperienza adeguate che, dall'indagine sul passato e sul presente, siano in grado di rilevare eventuali tendenze od incongruenze ed, alla fine, di estrarne il risultato più utile e più completo.

I dati di diversa provenienza strumentale e temporale sono "assimilati" nello spazio quadridimensionale (nelle tre coordinate spaziali ed in quella temporale) ed elaborati per ottenere, del fenomeno o del territorio in studio, la sua evoluzione passata e la sua situazione fino all'istante dell'assimilazione, detto spesso "istante iniziale".

È a questa prima fase che le osservazioni in superficie, eseguite con metodi convenzionali o di telerilevamento, e quelle in quota, eseguite solo con metodi di telerilevamento, danno il loro contributo, così come lo danno i dati d'archivio e altre fonti locali d'informazione.

Il risultato di questa prima tappa è, dunque, l'*analisi*, vale a dire la conoscenza della situazione a quel preciso momento e della storia precedente, dalla quale si possono già identificare possibili tendenze, laddove le informazioni mostrino che un'evoluzione sia in atto o una variazione sia avvenuta nel passato.

Questa è la fase nella quale si possono già costruire carte tematiche specifiche, quali "modelli digitali di elevazione" del terreno (DEM) oppure "carte di vulnerabilità" del territorio rispetto a particolari fenomeni, quali esondazioni di fiumi, eventi franosi, incendi boschivi, sollevamenti o cedimenti del suolo, urbanizzazioni incontrollate, smaltimento di rifiuti, e così via.

Molto spesso, tuttavia, il telerilevamento è cono-

(*) Associazione Geofisica Italiana (AGI); Università degli Studi - Roma Sapienza, Roma Tor Vergata; Università degli Studi del Molise, Istituto Universitario di Architettura di Venezia e-mail: maufea@gmail.com

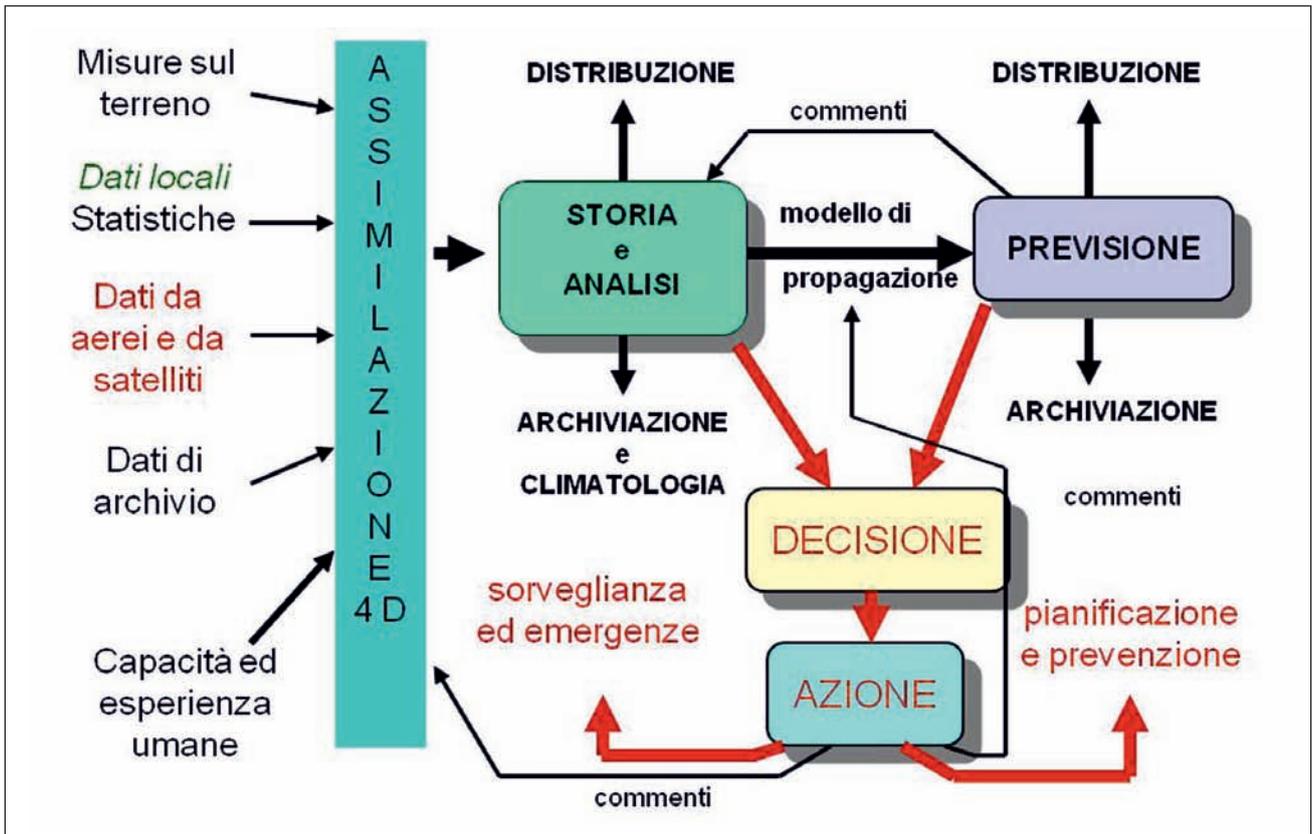


Fig. 1 - La circolazione dell'informazione in una sequenza decisionale.
 - The flow of information in a sequence decision.

sciuto come la metodologia che fornisce immagini del territorio e dell'ambiente dallo spazio. Invece, la disponibilità di sensori e di strumenti atti a rilevare dati attraverso molteplici e diversificati procedimenti permette a questa disciplina una grande versatilità d'acquisizione dell'informazione sullo stato della Terra in numerosi settori geofisici e in maniera multidisciplinare.

Ad esempio, l'*altimetria* genera dati soprattutto, ma non solo, per l'oceanografia, la geodesia e la glaciologia, l'*interferometria*, tramite modelli digitali di elevazione, per la topografia, e l'*interferometria differenziale* per la geologia, la vulcanologia e la cinetica dei ghiacciai, la *spettrometria* e la *spettrometria differenziale* alla fisica ed alla chimica dei gas atmosferici, degli aerosoli e degli inquinanti sospesi.

L'esame dell'analisi è, quindi, la sorveglianza dell'ambiente e del territorio già permette alle autorità responsabili di prendere una decisione e cominciare un'azione non appena si rilevi una situazione anomala o addirittura d'emergenza.

L'aggiornamento regolare e frequente della banca dati è, pertanto, una condizione necessaria in tutte le applicazioni che riguardano fenomeni evolutivi, quali, ad esempio, i fenomeni idrometeorologici o lo sviluppo dell'urbanizzazione in aree a rapido incremento di popolazione (fig. 2).

La tappa successiva è quella rivolta verso il futuro, vale a dire riguarda la *previsione*.

Questa fase richiede l'applicazione di un modello di propagazione del fenomeno in studio, nel quale l'analisi configura lo stato iniziale; si lascia, poi, "correre" il modello in avanti nel tempo, fino all'istante desiderato, come avviene, ad esempio, nel caso delle previsioni meteorologiche.

Tuttavia, è bene sottolineare che non basta avere una buona analisi di partenza per ottenere una buona previsione: occorre anche che il modello sia di ottima qualità e "lavori" ad una scala spazio-temporale adeguata alle caratteristiche di quel fenomeno, la cui evoluzione futura si vuole conoscere. Inoltre, è fondamentale ricordare che, qualunque siano l'accuratezza dell'analisi e la qualità del modello di propagazione, la precisione della previsione è inversamente proporzionale al tempo per il quale si fa "correre" il modello: per il principio d'indeterminazione, infatti, all'aumentare del periodo di previsione aumenta inevitabilmente l'incertezza spazio-temporale del risultato finale. L'esame della previsione permette, dunque, di prendere una decisione e, quindi, di iniziare un'azione che riguardi il futuro. Pertanto, questa seconda fase è indispensabile ad attività quali la pianificazione e la prevenzione: in effetti, per queste applicazioni è possibile eseguire operazioni di simulazione per conoscere come si evolverebbe nel tempo un fenomeno d'interesse, a partire da certe condizioni iniziali prefissate.

Nel caso di aree soggette a potenziali esondazioni,

ad esempio, è possibile visualizzare quanto territorio sarebbe invaso dall'acqua in funzione di determinate condizioni meteorologiche stabilite a priori e, quindi, quali nuclei urbani sarebbero affetti dall'evento; con diverse simulazioni, variando le condizioni meteorologiche iniziali, si possono, dunque, studiare gli effetti delle varie situazioni possibili. Nelle applicazioni che riguardano le emergenze, questa funzionalità è assai utile nella preparazione o nella revisione dei piani e delle procedure di protezione civile, perchè non solo aiuta a generarle con più accuratezza, ma anche e soprattutto a provarle nelle condizioni ambientali più svariate.

Per quanto detto, è evidente l'importanza della fase di acquisizione dei dati per avere un'analisi accurata. Vale la pena, quindi, di sottolineare l'importanza dei dati locali, in particolare su due classi di dati, spesso trascurate: i dati storici e quelli che si potrebbero definire "indicativi". I primi forniscono informazioni precise su eventi del passato e documentano fatti o fenomeni e, spesso, anche la loro evoluzione. I secondi, in realtà, riguardano due altre categorie d'informazioni: da un lato i proverbi, i detti popolari e le tradizioni, da considerarsi come una memoria centenaria, a volte millenaria, di carattere statistico locale; e dall'altro i miti, le leggende, i miracoli, da considerarsi come possibili segni di eventi naturali avvenuti nel lontano passato, il cui riscontro "storico" non è, però, mai pervenuto al tempo attuale.

La *geomitologia* è, infatti, divenuta oggi una disciplina d'interesse non solo culturale, ma anche scientifico per la conoscenza e, spesso, una migliore comprensione di eventi del passato, soprattutto per quelli di natura geologica e vulcanica. In questo ambito, l'integrazione e l'analisi di ogni informazione disponibile è la chiave metodologica adottata dal Gruppo Interistituzionale di Ricerca TELEGEO, sin dalla sua istituzione, il 18 gennaio 2000, dopo il successo della 1ª Conferenza Nazionale su Archeologia, Vulcanismo e Telerilevamento, che si svolse a Roma nella Sala dello Stenditoio, presso il Ministero dei Beni Culturali nel maggio 1999.

L'OSSERVAZIONE DELLA TERRA DALLO SPAZIO

La raccolta continuativa di dati è un'attività fondamentale per un'accurata conoscenza e, quindi, per una gestione intelligente e strategica dell'ambiente e del territorio: è proprio in questo settore che danno un contributo essenziale il telerilevamento in generale ed il telerilevamento dallo spazio in particolare, questo ultimo chiamato semplicemente anche "Osservazione della Terra". Infatti, uno degli obiettivi primari di questa disciplina è quello di permettere la raccolta di lunghe serie temporali di dati coerenti, rilevati a distanza con procedure obiettive e ripetibili e accompagnati dai parametri necessari alle successive elaborazioni. Inoltre, per un accordo internazionale approvato nell'ambito delle Nazioni Unite, questi dati sono disponibili a tutti in modo non discriminatorio ("Politica dei Cieli Aperti" dell'O.N.U.): ciò non vuol dire che essi siano gratuiti, poiché soprattutto i prodotti derivati richiedono spesso elaborazioni complesse.

Il telerilevamento è una metodologia multidisciplinare per sua natura, nel senso che il contenuto informativo estratto dall'analisi e dall'elaborazione di un segnale acquisito in modo remoto da un sensore di uno strumento imbarcato su un pallone, un aereo o un satellite è utilizzabile da una grande varietà di discipline scientifiche ed applicative. Accade, infatti, che, a causa di fenomeni fisici o chimici interni ed esterni, un oggetto irradia energia elettromagnetica in funzione delle proprie caratteristiche e del suo "stato". Ad esempio, quando è illuminato dalla luce solare, esso può rifletterla tutta o una parte o assorbirla interamente; l'analisi di questa "risposta" in diverse lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico permette di definire la "firma spettrale" dell'oggetto e, quindi, di utilizzare questa ultima per riconoscerlo quando si esamina il segnale di un sensore che sia efficace a quelle lunghezze d'onda. Inoltre, a causa della propria temperatura ogni oggetto irradia continuamente energia termica in misura proporzionale alla temperatura stessa, con un massimo di

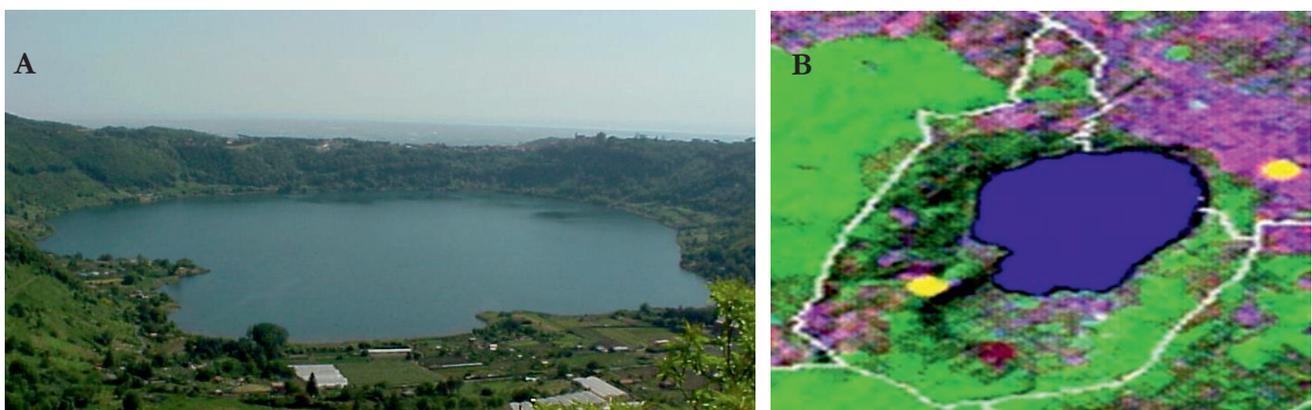


Fig. 2 - A) Panorama reale del lago di Nemi; B) immagine telerilevata, visualizzata in falsi colori e con i confini comunali sovrapposti in colore bianco.
- A) Real Nemi Lake Panorama; B) remote image, visualized in false colors and with municipal boundaries superimposed in white.

emissione a lunghezze d'onda inversamente proporzionali a questa temperatura; pertanto, i dati rilevati da un sensore nella banda spettrale relativa all'irraggiamento termico permettono la generazione di mappe termiche della superficie terrestre e dei sistemi nuvolosi, dei quali, inoltre, si può stabilire anche l'altitudine della cima e la velocità di crescita verticale, ottenendo con queste un parametro di allerta per la navigazione aerea e per la violenza delle idrometeore associate alle perturbazioni atmosferiche. Infine, se la sorgente di energia è un radar a bordo di un aereo o di un satellite, l'interazione tra gli impulsi elettromagnetici inviati dallo strumento nella banda spettrale delle microonde e gli oggetti "illuminati" dal radar può generare eco di ritorno al sensore che permettono di analizzare le caratteristiche geometriche (rugosità) ed elettriche (natura e umidità) della superficie degli oggetti stessi.

Moltissime applicazioni del telerilevamento allo studio del territorio, dell'ambiente e del clima sono oramai ben consolidate ed operative in tutto il mondo, dando l'opportunità ad istituzioni pubbliche ed imprese private di offrire molteplici servizi di osservazione dello stato delle cose e di sorveglianza sistematica. I satelliti dedicati al telerilevamento volano intorno alla Terra sfruttando due categorie di orbite, tutte praticamente

circolari: *a*) quelle geostazionarie, nelle quali i satelliti orbitano sul piano equatoriale con la stessa velocità angolare della Terra e stesso periodo di 24 ore e, pertanto, possono osservare con continuità i luoghi sottostanti, ma con dettaglio limitato (con una risoluzione geometrica dell'ordine del chilometro perché da una distanza molto grande, quasi 36.000 km, che impedisce, però, l'osservazione delle zone polari); esse sono adatte ad osservazioni continuative dello stesso sito e dedicate alla sorveglianza quasi globale di fenomeni molto evolutivi, quali quelli meteorologici; *b*) quelle quasi polari eliosincrone, nelle quali i satelliti volano su un piano orbitale inclinato di circa 10 gradi rispetto ai meridiani e quasi fisso rispetto alle stelle, mentre la Terra ruota sotto di essi; queste orbite sono usate per osservare tutto il globo da quote assai più basse (dell'ordine di circa 500 a 1000 km) con grande dettaglio (risoluzione geometrica anche inferiore a 50 cm!), pur se ad intervalli temporali anche di giorni o settimane tra un'osservazione e la seguente, permettendo l'acquisizione di dati multispettrali e, quindi, elaborazioni più complete in molte discipline geofisiche ed ambientali (fig. 3).

In realtà, molte applicazioni, soprattutto quelle relative alle situazioni di emergenza territoriale ed ambientale, richiedono la disponibilità rapida di dati aggiornati

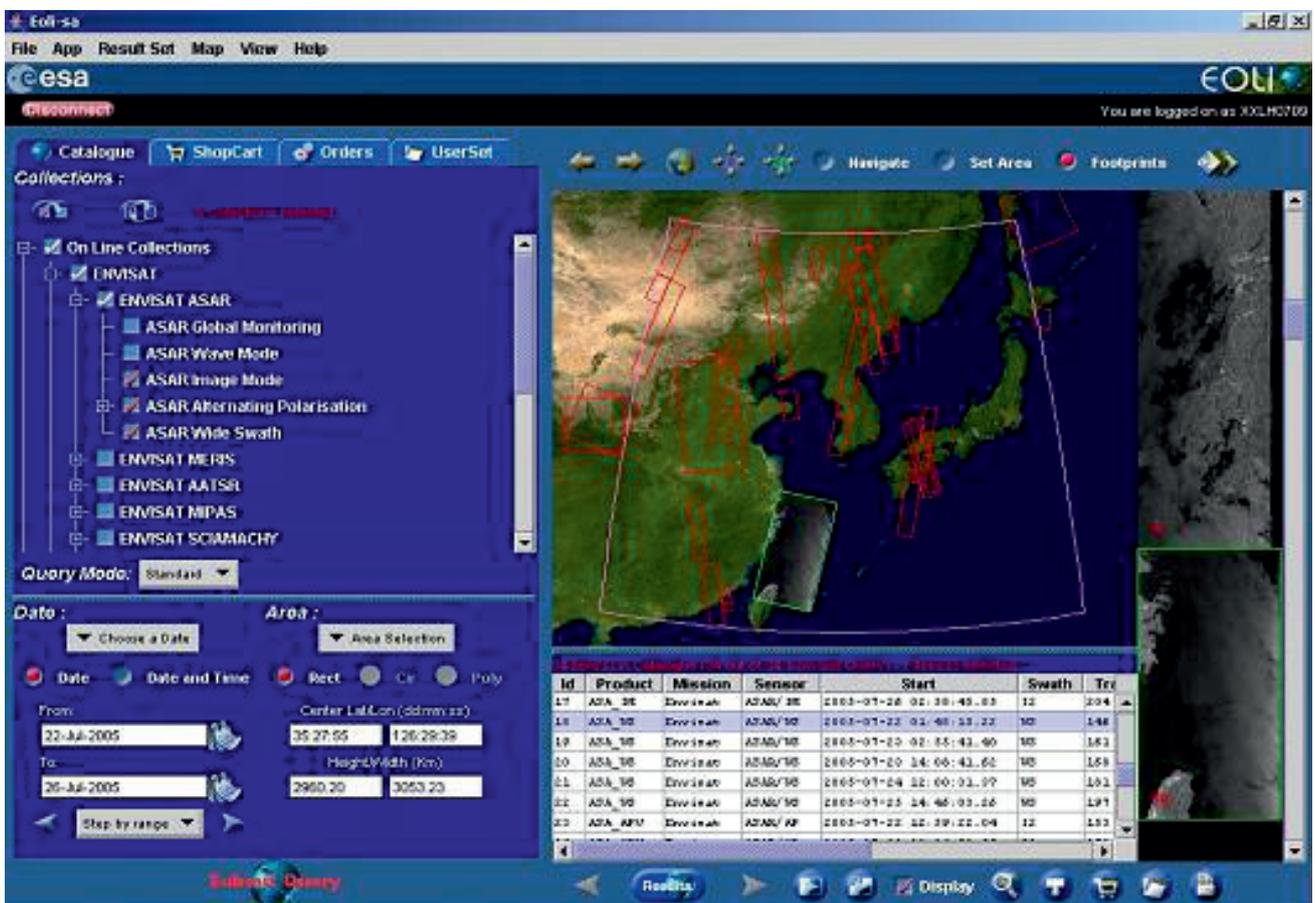


Fig. 3 - Visualizzazione dell'acquisizione dati dal radar ASAR del satellite Envisat dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA): <http://eoli.esa.int>.
- Visualization of data acquisition from Envisat ASAR radar of the European Space Agency (ESA): <http://eoli.esa.int>.

con sicura continuità laddove è necessario, in particolare per poter fornire informazioni precise alle autorità locali ed alla Protezione Civile.

Per migliorare, quindi, l'efficienza e la qualità della catena informativa del telerilevamento, è in corso un grande sforzo internazionale (Gruppo di Osservazione della Terra, GEO) per creare un sistema globale integrato (GEOSS) per l'osservazione continua e dettagliata dell'*orbe terraqueo*.

Infatti, queste informazioni non servono soltanto nei momenti dell'emergenza!

Come già citato, la raccolta sistematica della "storia ambientale" del passato di una zona, ivi comprese le immagini telerilevate, permette già una migliore conoscenza dell'area e la costruzione, ad esempio, di modelli digitali del terreno (DTM) e di "carte di vulnerabilità", strumenti preziosi per rilevare ed analizzare eventuali "tendenze" in atto.

Queste ultime e l'uso di dati passati in modelli di simulazione consentono di preparare procedure di prevenzione e di emergenza più accurate PRIMA di un evento. Poi, i dati telerilevati sono necessari per osservare l'evoluzione in atto DURANTE l'evento e per fare una prima valutazione del suo impatto. Ma anche DOPO i dati telerilevati sono molto utili: per una valutazione precisa delle conseguenze dell'evento, per la verifica e la quantificazione accurate dell'area coinvolta, per l'aggiornamento delle statistiche e per il miglioramento delle procedure di prevenzione ed emergenza.

L'Italia fornisce un grande contributo al GEO attraverso l'attività dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) con i satelliti radar della missione COSMO-SkyMed e con la partecipazione ai programmi di osservazione della Terra dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA).

PERCHÉ SIA UN MEZZO E NON UN FINE

Il telerilevamento è, dunque, un'utilissima fonte d'informazione, sia globale sia puntuale, e la sua natura multidisciplinare è una grande risorsa per servire applicazioni diverse con la stessa banca dati, soprattutto se questi ultimi sono georiferiti, vale a dire orientati nella corretta posizione geografica, ed integrati in un sistema informativo geografico (GIS) assieme ad altri dati di tipo convenzionale e amministrativo.

Tuttavia, ancora oggi questa metodologia non è ancora ben utilizzata in molte discipline, anche se, con il progredire della tecnologia e delle comunicazioni, il numero ed il tipo di applicazioni sono molto cresciuti negli ultimi decenni.

Le ragioni di tale situazione sono soprattutto tre: 1) la poca o nessuna conoscenza sulla metodologia stessa e, in particolare, sulla maniera di utilizzarla in modo appropriato, 2) la necessità di una rigorosa ed accurata interpretazione, spesso non immediata né ovvia, dei risultati, quali le immagini elaborate, e 3) una cattiva o

non appropriata comunicazione dei risultati e delle informazioni agli utenti finali.

La variabilità delle soluzioni tecnologiche ed il progresso industriale permettono oggi un continuo miglioramento nelle prestazioni degli strumenti tecnici, ma richiedono anche una solida e sempre aggiornata capacità d'integrazione dell'informazione telerilevata e la sua oggettiva interpretazione. In effetti, non è sufficiente una buona conoscenza sui mezzi tecnici impiegati nella gestione, elaborazione e visualizzazione dei dati: non è sufficiente sapere quale pulsante della tastiera si deve spingere o quale procedura si deve attivare nel *software* d'elaborazione, occorre essere capaci di estrarre il contenuto informativo del prodotto finale e d'interpretarlo in funzione delle applicazioni d'interesse.

In questo senso, è opportuno pensare a tre livelli di attività sull'uso del telerilevamento come fonte d'informazione, in funzione delle caratteristiche e responsabilità degli utenti finali: la stimolazione d'interesse sui benefici a livello decisionale, indirizzata alla classe dirigente, alla gestione di progetti ed ai mezzi di comunicazione; l'educazione su questo attraente e moderno strumento d'insegnamento e d'apprendimento, rivolta ai professori ed agli studenti di ogni ordine e grado; la formazione di specialisti nelle applicazioni di questi dati alle diverse discipline operative e di ricerca.

Infine, è importante sottolineare la necessità e l'importanza della personalizzazione dei prodotti del telerilevamento, soprattutto di quelli dedicati alle applicazioni operative e ai servizi.

Affinché gli utenti finali possano trarre il massimo vantaggio dall'informazione derivata dal telerilevamento, questa ultima deve raggiungerli in una forma ed in un linguaggio ad essi familiare: ad esempio, l'analisi dell'area interessata da un incendio boschivo, elaborata tramite la classificazione di immagini multispettrali da satellite, è molto più utile per le unità operative del Corpo Forestale dello Stato, dei Vigili del Fuoco e della Protezione Civile quando essa sia proiettata su una mappa topografica dell'area d'interesse alla scala adeguata per l'uso previsto; se poi, questa carta tematica, che è risultato dell'integrazione delle informazioni cartografiche e di quelle da satellite, è anche tridimensionalizzata tramite la sua proiezione su un modello digitale del terreno dell'area in esame, allora la sua utilità ed il suo potenziale di fruizione da parte dei non specialisti in telerilevamento aumenta considerevolmente.

Da quanto detto, dunque, è logico dedurre che l'apporto dei dati di telerilevamento da satellite alle applicazioni che riguardano il territorio e l'ambiente e nelle operazioni di prevenzione e d'intervento è massimo quando essi siano opportunamente elaborati ed integrati con altre informazioni, incluse quelle storiche e quelle non convenzionali, in un sistema informativo geografico e quando siano utilizzate come mezzo e non come fine.