

USO DEI SATELLITI TERRESTRI PER LO STUDIO DELLE RISORSE NATURALI

COMUNICAZIONE PRESENTATA AL XV CONVEGNO NAZIONALE S.I.F.E.T

PALERMO, 25 - 30 SETT. 1970

Dr. Roberto Steffensen, N.R.C.

Introduzione

Il termine risorse naturali si applica all'insieme delle caratteristiche che condizionano l'esistenza dell'uomo sulla terra, in quanto esso ne fa direttamente o indirettamente uso.

Considerato che lo sviluppo umano ha raggiunto uno stadio in cui le sue necessità interferiscono negativamente con l'equilibrio insito nella vita naturale, e che le sue esigenze di approvvigionamento in materie prime sono in continua espansione, risulta evidente che una conoscenza globale delle risorse naturali della terra sia urgente.

Purtroppo, per ottenere questo ambizioso fine non esistono metodi o tecniche unici, nè semplici.

Un vasto insieme di discipline scientifiche deve contribuire a dare le informazioni necessarie a costituire un quadro completo. La combinazione di informazioni ottenute isolatamente e spesso seguendo procedimenti concettualmente diversi è tuttavia difficile se non impossibile.

Per ovviare a questi inconvenienti, in tempi recenti, ai metodi tradizionali di studio della natura si sono aggiunti i metodi cosiddetti integrati, nei quali si procede ad una analisi congiunta dei diversi aspetti geografici, cioè climatologici, vegetativi, geomorfologici, geologici, pedologici, idrologici, etc.

Lo scopo sarebbe di raggiungere la comprensione dei mutui rapporti esistenti fra i singoli aspetti, e quindi una conoscenza di base per una loro utilizzazione razionale.

Per investigare questi rapporti le tecniche aerofotografiche posseggono notevoli pregi e di esse nel passato si è fatto un limitato uso. L'impiego di apparecchiature aerofotografiche convenzionali, sviluppatasi per fine fotogrammetrico, cioè di ricavare la massima accuratezza dimensionale dell'immagine, non soddisfa totalmente le esigenze interpretative, cioè la distinzione del numero più vasto possibile di oggetti e fenomeni naturali.

Con l'introduzione dei film a colori, operanti nel campo del visibile e dell'infrarosso fotografico, e di strumenti ottico meccanici, operanti in altre bande elettromagnetiche, l'acquisizione di dati interpretativi si è notevolmente accresciuta, ed una nuova disciplina scientifica, conosciuta nel mondo anglosassone come « remote sensing », si è creata.

* Senior Resident Research Associate, NASA Manned Spacecraft Center, Houston, Texas.

Questa denominazione, applicata in senso ristretto, indica la misura a distanza di radiazioni di natura elettromagnetica, provenienti da corpi terrestri. Si ritiene infatti che lo spettro di emissione o riflessione di radiazioni terrestri sia legato alle proprietà fisiche del corpo da cui provengano in una maniera distintiva. La loro misura permetterebbe di identificare indirettamente la natura dei corpi ed in alcuni casi i cambiamenti di stato fisico prodottisi nel tempo.

I satelliti terrestri di studio delle risorse naturali sono concepiti su questi principi. Essi rappresentano una estensione della applicazione dei rilievi aerei; un esame comparativo permetterà di definire il loro campo di azione.

Attraverso uno sguardo al processo di trasmissione delle radiazioni nell'atmosfera, una valutazione delle misure eseguibili da un satellite verrà raggiunta, ed il loro legame con le caratteristiche degli oggetti naturali sarà discusso. Seguirà una breve descrizione delle caratteristiche tecniche degli strumenti di accertato o proposto impiego e dei risultati che possiamo attenderci.



Fig. 1 - La piana alluvionale del Mississippi al confine tra gli stati del Mississippi e della Luisiana. La pellicola a colori falsati sensibile all'infrarosso mette in rilievo le diverse unità geografiche. Volo Apollo 9 del marzo 1969; camera Hasselblad focale 80 mm.; pellicola Kodak.

Caratteristiche operative dei rilievi da satelliti.

I rilievi effettuati da satelliti terrestri si differenziano da quelli effettuati dagli aerei principalmente per due motivi:

1. Distanza degli oggetti osservati, che normalmente si aggira nell'intervallo 200-1000 Km.
2. Modo di spostamento del veicolo aereo e tracciato sul terreno della sua traiettoria.

Il primo punto è il più semplice da analizzare. La distanza molto elevata ha come conseguenza primaria la forte riduzione in scala della immagine; è questo un fattore ambivalente, da un lato limitativo, a ragione delle dimensioni molto ridotte degli oggetti risolvibili, dall'altro vantaggioso, per le zone più estese su cui si può osservare allo stesso tempo. Si potrebbe anche pensare che tale distanza rappresenti un elemento limitativo per l'accresciuta attenuazione che le radiazioni terrestri verrebbero a subire. I fenomeni di diffusione ed assorbimento che producono questa attenuazione sono tuttavia concentrati negli strati bassi dell'atmosfera, si ritiene inferiori a 20 Km. L'effetto dunque si compara con quello ottenuto nei voli stratosferici.

Il secondo punto si origina nella natura stessa del satellite, veicolo che si muove passivamente sotto l'azione del campo gravitazionale. Mentre l'aereo può spostarsi a suo piacimento ed adeguare il suo percorso a diverse, se non tutte le esigenze di una missione, il satellite per ogni specifica orbita possiede parametri determinati.

Questi includono: la posizione del piano dell'orbita, la velocità del satellite e quindi il suo periodo orbitale.

A causa dell'azione di forze perturbatrici questi valori però non restano fissi, ma con il tempo variano leggermente ed in maniera in parte imprevedibile.

La conseguenza di ciò, ai fini dell'esecuzione di rilievi terrestri da un satellite, è l'impossibilità di stabilire solo a mezzo di calcolo la zona esatta che gli strumenti visioneranno. Solo seguendo continuamente lo spostamento del satellite a mezzo delle stazioni radar, il tracciato può essere previsto con accuratezza paragonabile a quella ottenibile da un aereo, questo però per un numero ridotto di orbite susseguenti le misure.

Le caratteristiche del tracciato di per sè presentano elementi peculiari. Il movimento della terra intorno al proprio asse, accoppiato al movimento del satellite lungo l'orbita fanno sì che le orbite successive, riportate sulla superficie terrestre rappresentata nella proiezione del Mercatore, appaiono come curve di tipo sinusoidale, tangenti ai paralleli aventi latitudine Nord e Sud pari all'inclinazione dell'orbita sull'equatore. I successivi tracciati sono spostati verso Ovest in longitudine di un valore angolare pari alla rotazione terrestre avvenuta durante un periodo.

Ad esempio, un satellite operante nell'intervallo già menzionato, che avesse un periodo orbitale di 90 minuti, mostrerebbe una variazione in longitudine per orbita di circa 22,5 gradi.

A questa variazione si aggiunge quella prodotta dalla lenta rotazione del piano orbitale conosciuta come regressione dei nodi.

Se si tiene conto di tutti gli effetti è possibile scegliere i parametri orbitali

in modo che il satellite ripeta approssimativamente il suo percorso dopo un prefisso numero di giorni.

Un problema a parte è rappresentato dalla stabilità del satellite in orbita in rapporto alla verticale, e cioè alla normale posizione di puntamento degli strumenti.

Una serie di disturbi provoca, come nei voli aerei, uno spostamento continuo del satellite attorno al suo asse di volo. Per mezzo di sistemi di stabilizzazione si riesce a mantenere l'angolo nadirale dell'asse verticale nell'ambito di 1-2 gradi.



Fig. 2 - Rilevamento radiometrico a mezzo del sistema scanner HRIR (High Resolution Infrared Radiometer) effettuato di giorno nell'agosto 1969 durante un passaggio del satellite Nimbus III sul continente europeo. L'immagine, che si estende da orizzonte ad orizzonte, riporta in sovrapposizione i punti d'intersezione del reticolato geografico, marcati a mezzo di piccoli tratti chiari. Si noti la forte distorsione ai bordi dell'immagine.

Il fattore atmosferico

Le radiazioni terrestri che pervengono agli strumenti posti in un satellite sono affette dalle caratteristiche fisiche dell'atmosfera. L'effetto sulle radiazioni è complesso, essendo dovuto ad un insieme di fenomeni differenti.

Nell'insieme si osserva una riduzione sia della loro intensità che del loro contrasto. La perdita di contrasto si opera a causa dell'irraggiamento atmosferico che si sovrappone a quello terrestre.

Solo nel campo delle microonde l'influenza di questi fenomeni è secondaria. Spostandosi verso le frequenze più elevate, nell'infrarosso troviamo le bande di assorbimento dovute alle molecole gassose ed al vapor acqueo, nel visibile soprattutto i fenomeni di diffusione, finché nell'ultravioletto si osserva un assorbimento quasi totale.

Lo studio del campo di radiazioni terrestri viene a limitarsi in precise regioni dello spettro, dove il fattore di trasmissione è elevato, le cosiddette « finestre atmosferiche ». In queste regioni due tipi di radiazioni possono incontrarsi, l'energia solare riflessa e l'energia emessa da corpi terrestri. L'intensità massima dei due campi di radiazioni è localizzata a differenti valori di lunghezza d'onda, l'energia solare nel visibile e l'energia terrestre nell'infrarosso « termico ».

Nell'intervallo tra 2 e 7μ i due campi si sovrappongono ed hanno valori energetici molto ridotti.

Per queste ragioni le due regioni dello spettro che sembrano le più appropriate per i rilievi terrestri da satelliti sono quella fra 0,4 e 0,9 microns e quella fra 8 e 13 microns.

Parametri fisici e proprietà naturali

In corrispondenza delle « finestre atmosferiche » sarà possibile eseguire la misura da satelliti di flussi energetici totali o ripartiti secondo la lunghezza d'onda, cioè possiamo effettuare misure radiometriche e spettrometriche.

In più potremmo eseguire misure sulla polarizzazione di queste radiazioni; queste tecniche però sono solo agli inizi.

Il valore interpretativo di queste misure è connesso al loro legame con gli oggetti osservati. Esso è espresso rispettivamente dal coefficiente di brillantezza spettrale, nel visibile, e dal coefficiente di emissione spettrale, nell'infrarosso.

Questi coefficienti esprimono la brillantezza e la radianza di un corpo riferita a corpi ideali, il diffusore lambertiano ed il corpo nero.

a) Fattore di brillantezza spettrale

Numerosi studi in laboratorio e sul terreno si sono occupati di misurare questa grandezza nei corpi naturali.

Non essendoci analogia tra le tecniche seguite, i risultati spesso differiscono; pertanto, le misure sul terreno saranno prese come riferimento.

Le conoscenze attuali si possono così sintetizzare:

- alcune classi di oggetti naturali mostrano simili curve di brillantezza spettrale; due esempi sono la vegetazione e le rocce. Queste classi sono sufficientemente distinte fra di loro.

- All'interno di ciascuna classe si hanno ulteriori differenziazioni che però sono difficilmente attribuibili ad uno specifico elemento costitutivo del corpo. Nel campo delle sostanze minerali, ad esempio, non sembra esista per una roccia, una precisa relazione fra questo fattore ed i suoi costituenti minerali. D'altro canto esistono in certi casi indicazioni della esistenza di un legame con il suo ambiente di formazione.
- Il valore che il fattore di brillantezza spettrale assume nelle esperienze è dipendente dalle condizioni di illuminazione, dall'angolo di misura e dalle caratteristiche della superficie esterna del corpo.

b) *Coefficiente di emissione spettrale.*

In questo campo le conoscenze sono più limitate.

Le indagini hanno per lo più diretto ad investigare il comportamento di sostanze minerali nell'infrarosso « termico », dove esistono significanti interazioni fra le radiazioni e la struttura molecolare. Gli spettri di emissione mostrano dei valori minimi dovuti a questi effetti. Anche qui però le caratteristiche fisiche del corpo, come le dimensioni, forma ed orientamento dei suoi elementi costitutivi interagiscono con la loro composizione. Questo è particolarmente valido nel caso di corpi costituiti da agglomerati di sostanze diverse.

Istrumentazione e raccolta dei dati

Le considerazioni precedenti conducono a limitazioni ben precise sul tipo di strumenti e sul modo di operarli.

In condizioni ideali la strumentazione dovrebbe possedere il migliore potere risolutivo e ricoprire una ampia distesa di terreno nel minore tempo possibile.

Si pensi alla notevole velocità del satellite (4.5 n.mi./sec.) ed ai cambiamenti continui di stato atmosferico. In più, per esigenze interpretative, il ricoprimento deve farsi senza interruzioni e con la minima distorsione geometrica, in maniera che la migliore rappresentazione tridimensionale sia ottenibile.

La gamma di strumenti di utilizzazione più indicata include: sistemi fotografici, sistemi ottico-meccanici (scanners) e sistemi televisivi.

Sistemi fotografici

Nel caso che la risoluzione sia il fattore limite nell'analisi dei dati, i sistemi fotografici posseggono i migliori requisiti. Allo stato tecnologico attuale si può ritenere, in via di massima, che essi abbiano una risoluzione circa dieci volte migliore degli altri sistemi.

Le loro limitazioni si trovano nella ristretta regione dello spettro dove operano, nella difficoltà, sia ad isolare precise bande di piccolo intervallo spettrale che ad eseguire una calibratura fotometrica.

In numerosi voli orbitali della serie Gemini ed Apollo riprese fotografiche della terra sono state eseguite con successo (fig. 1).

Le tecniche usate hanno incluso diverse combinazioni di film a colori con camere fotografiche formato 70 mm. In particolare è stata sperimentata la ripresa di fotografie stereoscopiche su strisciata (Volo Apollo 6) e multi spettrali (Volo Apollo 9). Una estensione di queste ricerche si avrà con la missione

« Skylab » programmata per il 1972, che prevede lunghi periodi di sperimentazione di fotografia a colori e multi-spettrale con uso per la prima volta di sistemi appositamente studiati.

Sistemi ottico-meccanici

Questi sistemi ottengono una immagine attraverso la combinazione del movimento del veicolo con il movimento rotatorio di una parte ottica (in genere specchio) dello strumento. Il terreno viene esplorato trasversalmente in linee contigue, durante le quali un numero molto elevato di misure fotoelettriche è effettuato. I segnali elettrici vengono amplificati ed inviati su tubo a raggi catodici, film, oppure registrati su nastro magnetico. La scelta del tipo di cellula e di appositi filtri permette il rilevamento anche simultaneo su bande spettrali molto ristrette.

I satelliti della serie Nimbus, lanciati a scopo meteorologico, hanno sperimentato tali apparecchiature nell'infrarosso con successo (fig. 2).

Satelliti della serie ERTS e « Skylab » saranno forniti di questi sistemi.

Sistemi televisivi

Il loro principale vantaggio è la possibilità di trasmettere a terra le immagini su di un lungo periodo di operazione del satellite.

Essi saranno sperimentati nei satelliti della serie ERTS.

Analisi dei dati

In primo luogo è necessario tenere a mente le dimensioni sul terreno dell'elemento risolutivo.

Esse naturalmente non sono fisse, ma dipenderanno da fattori strumentali ed operativi.

In condizioni ottimali, da una distanza di circa 400 Km, un obiettivo di medio contrasto rispetto allo sfondo, dovrà avere dimensioni minime di 30 metri per poter essere percepito al limite di risoluzione di un sistema fotografico. Come già notato gli altri sistemi richiedono dimensioni superiori. La conseguenza sarà che gli studi possibili avranno principalmente carattere regionale.

In secondo luogo è essenziale poter correlare i dati nello spazio e nel tempo. Per poter utilizzare congiuntamente le misure di differenti strumenti, e dunque espandere le capacità interpretative, è necessario essere in grado di poterle attribuire allo stesso oggetto. Inoltre un insieme di fenomeni terrestri può essere solamente studiato nel caso che se ne possa seguire lo sviluppo nel tempo.

Per immagini fotografiche aventi buona risoluzione, le tecniche di analisi visuali sembrano le più indicate. Secondo i casi, l'interprete utilizzerà diversi trattamenti ottici delle immagini per filtrare e mettere in rilievo specifiche strutture. Ad esempio, minute differenze di densità fotografica possono essere analizzate tramite processi conosciuti come « color enhancement ». Procedimenti di « pattern recognition » possono applicarsi alle analisi delle microstrutture.

Per gli altri sistemi i metodi più indicati sembrano quelli dell'analisi nume-

rica e statistica, con trattamento della informazione eseguito su calcolatore elettronico.

Conclusioni

I risultati delle prime esperienze di rilievi fotografici terrestri dallo spazio hanno ecceduto le aspettative scientifiche. Soprattutto nel campo della geologia e geomorfologia le loro analisi hanno mostrato capacità di contribuire sostanzialmente alla conoscenza di entità quali: le unità primarie geologiche e geomorfologiche, le zone vulcaniche, i processi costieri di erosione e deposito.

Tuttavia, un impegno accresciuto deve essere diretto alla conoscenza completa sia dei vantaggi che dei limiti dei rilievi dallo spazio.

Una migliore comprensione dei mutui rapporti tra gli aspetti geografici naturali, e delle caratteristiche tecnologiche ed operazionali per una loro corretta identificazione, deve essere raggiunta.

Esperienze di laboratorio e di terreno debbono ulteriormente investigare l'effetto dei fattori ambientali sulle radiazioni terrestri.

Per terminare, i procedimenti di analisi dei dati spaziali debbono seguire tecniche avanzate di trattamento dell'informazione.

Nota dell'autore

Questa relazione, che ha carattere informativo, è stata compilata nel corso delle attività dell'autore in qualità di « Visiting Scientist » presso i laboratori della NASA del Manned Spacecraft Center in Houston, Texas. Essa illustra idee personali dell'autore e non intende presentare ufficialmente i programmi della NASA nel settore.

L'autore ringrazia sentitamente i colleghi del Manned Spacecraft Center per l'assistenza fornita ed il National Research Council - National Academy of Sciences per l'opportunità offerta di lavorare presso la NASA.