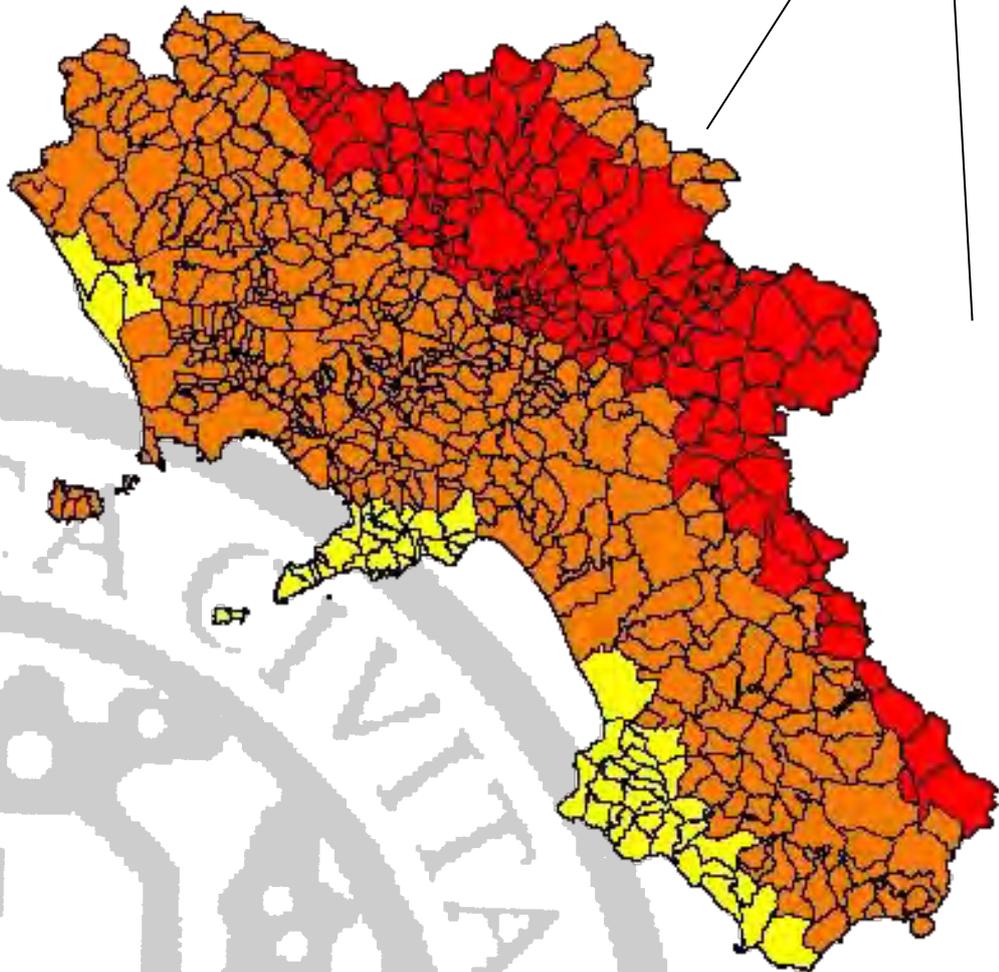
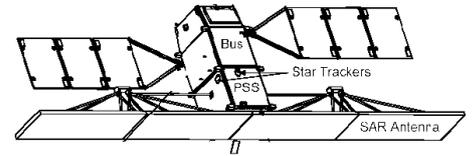


ATTIVITÀ SVOLTE NELL'AMBITO DELL'ASSEGNO DI RICERCA
BANDITO CON D.R. N. 4639 DEL 9.08.2001



**“MONITORAGGIO DI AREE SISMICHE
MEDIANTE TECNICHE INNOVATIVE
DI TELERILEVAMENTO”**

Dott. Ing. Luigi Iannone

INDICE

Introduzione	3
1. Premessa	3
2. Obiettivi.....	3
3. Stato dell'arte.....	3
4. Metodologia.....	4
5. Attività formativa di base sulle problematiche del telerilevamento.....	4
Capitolo 1	8
Il Rischio Sismico	8
1.1 Premessa	8
1.2 I Parametri Del Rischio	8
1.3 Suddivisione Del Rischio Sismico.....	8
1.4 Finalità Degli Studi Di Rischio.....	9
1.5 Metodologie Di Analisi Della Pericolosità Sismica	10
1.5.1 Modelli Per La Valutazione Della Pericolosità Sismica	10
1.6 L'utilizzo di Sistemi Informativi Territoriali per Analisi su Vasta Scala	12
1.6.1 Analisi del Rischio Sismico Territoriale.....	13
Capitolo 2	16
Il Telerilevamento	16
2.1 Introduzione.....	16
2.2 Cenni teorici della disciplina	16
2.2.1 La propagazione dell'energia	19
2.2.2 Interazione energia - atmosfera.....	20
2.2.3 Interazione radiazione – materia.....	21
2.2.4 Emissione dei corpi: la vera temperatura	22
2.2.5 Caratteristiche spettrali degli elementi della superficie terrestre	22
2.2.6 La firma spettrale	23
2.2.7 Acquisizione delle immagini	24
2.2.8 La geocodifica.....	24
2.2.9 Analisi di un sistema di telerilevamento	24
2.2.10 Sensori attivi e passivi.....	26
2.2.11 Riprese nell'infrarosso termico	27
2.2.12 Il Telerilevamento a microonde	27
2.2.13 Sistemi RADAR ad apertura sintetica.....	28
2.2.14 Le Orbite.....	35
2.2.15 Copertura del territorio.....	35
2.2.16 Segmento terrestre	36
2.3 Principali missioni	37
2.3.1 Landsat: Il Thematic Mapper (TM)	38
2.3.2 Il satellite SPOT	41
2.3.3 I satelliti ERS	42
2.3.4 SIR -A, -B, e -C sulle missioni Shuttle	44
2.3.5 I satelliti IRS	46
2.3.6 Il satellite JERS.....	47
2.3.7 I sistemi iperspettrali	48
2.3.8 SeaWifs.....	50
2.3.9 Sensori e satelliti meteorologici	51
2.3.10 NOAA AVHRR	52
2.3.11 METEOSAT	53
2.3.12 IKONOS II: Pancromatico e Multispettrale ad altissima risoluzione	53
2.3.12 Envisat	56
2.3.13 Skymed/COSMO	58
2.3.14 OrbView.....	58
Fig. 2.64 Il satellite OrbView 4	59
2.4 I sistemi di telecomunicazione ad alta risoluzione spaziale.....	59

Capitolo 3	62
Applicazioni del Telerilevamento	62
3.1 Geologia	62
3.2 Agricoltura e foreste	62
3.3 Uso del suolo	63
3.4 Meteorologia	63
3.5 Osservazioni Oceanografiche	63
3.6 Idrologia: le alluvioni	63
3.7 Terremoti: Vulnerabilità e Rischio sismico	64
3.8 LiDAR	65
3.9 <i>Stima dei danni mediante immagini da satellite ad alta risoluzione</i>	67
3.9 Conclusioni	68
BIBLIOGRAFIA	69
SITI INTERNET	70

Introduzione

Attività svolte nell'ambito dell' Assegno di Ricerca
bandito con D.R. N. 4639 del 9.08.2001
Coordinatore prof. Ing. Ciro Faella

1. Premessa

L'Assegno di Ricerca oggetto della presente relazione ha lo scopo di studiare le problematiche connesse alla valutazione del rischio sismico di aree vaste mediante l'utilizzo di tecniche innovative di telerilevamento satellitare. Lo studio parte dalla conoscenza delle aree che possono indurre scuotimento nel sito e tende alla realizzazione di mappe di rischio sismico e scenari di danno potenziale integrando i dati provenienti da più sorgenti informative con dati da satellite.

2. Obiettivi

Gli obiettivi della ricerca, che si intendono perseguire all'interno dell'assegno di ricerca, sono connessi all'utilizzo delle tecniche del telerilevamento per gli studi di Ingegneria Sismica con particolare riferimento a:

- a) Analisi della vulnerabilità sismica mediante impiego di immagini telerilevate sia da aereo che da satellite.
- b) Valutazione del danno nelle fasi immediatamente successive all'evento sismico mediante analisi comparata di immagini pre-evento e post evento.
- c) Valutazione del rischio sismo-vulcanico dovuto alla raccolta di materiale piroclastici da fallout mediante identificazione da satellite della vulnerabilità delle diverse tipologie strutturali delle coperture degli edifici presenti sul territorio.
- d) Approfondimento delle conoscenze sulla pericolosità sismica mediante rilevamento dei movimenti crostali e analisi delle deformazioni.

3. Stato dell'arte

Sia la cartografia previsionale che quella di pianificazione degli interventi post-sisma costituiscono un campo in cui le informazioni di osservazione della terra da satellite possono dare un contributo significativo. Tali informazioni consentono di mappare su grande e piccola scala la geologia, la copertura del suolo, la densità delle antropizzazioni e gli spostamenti superficiali del suolo. Le problematiche ed i limiti riscontrati nell'acquisizione di tali informazioni sono la risoluzione spaziale e quella temporale: la prima è l'area minima sul terreno vista dallo strumento da una data altezza ad un dato istante e viene rappresentata dalla dimensione dell'elemento di superficie riconoscibile in una immagine registrata da un sistema di telerilevamento o, ancora, dalla distanza minima entro la quale due oggetti appaiono distinti nell'immagine; la seconda è il tempo che intercorre tra acquisizioni successive della stessa area.

Per perseguire gli obiettivi elencati sopra sarebbero necessari dati (immagini) relativi alle scene dell'evento sismico immediatamente antecedenti e immediatamente successive al sisma e quelli relativi al periodo compreso tra i due istanti per valutare il movimento tettonico pre-sismico e co-sismico con la giusta precisione e dettaglio nella scena osservata. Data la "scarsa" presenza in orbita di satelliti dedicati a tale rilievo non è possibile avere un tempo di rivisita degli stessi luoghi tale da poter monitorare in quasi tempo reale il fenomeno oggetto di studio. Le problematiche relative alla risoluzione spaziale, quindi relative alla possibilità di entrare nel dettaglio delle scene osservate, è in parte superata con l'avvento dei nuovi satelliti ad altissima risoluzione a terra. Tali problematiche non saranno più presenti quando in orbita saranno presenti costellazioni di satelliti che

consentiranno il tempo di rivisita necessario alle applicazioni da svolgere. Quanto sopra esposto non ha impedito a studiosi e società di tutto il mondo di sviluppare metodologie adatte allo scopo. A tal proposito si sottolinea l'attività svolta dal prof. Roland T. Eguchi et al. sia in "Using Advanced Technologies to Conduct Earthquake Reconnaissance After the 1999 Marmara Earthquake" che, nello specifico dei trasporti, con la pubblicazione "Using Advanced Technologies to Develop the Next Generation of Earthquake Loss Models for Transportation System". Di notevole interesse è anche l'attività svolta da Kanamori et al. su "Earthquake-Related Deformation, Lander, California" dove si mostra il rilievo mediante interferometria SAR del movimento tettonico causato dal terremoto avutosi in California il 28 giugno 1992. Gli autori mostrano delle immagini interferometriche differenziali molto suggestive in quanto la scena oggetto dell'evento sismico è il territorio desertico dove si vede in modo chiaro il meccanismo focale del sisma.

4. Metodologia

Si riporta di seguito una sintesi della metodologia che si vuole utilizzare, allo scopo di analizzare e gestire un territorio campione a rischio sismico, individuando le zone a maggiore esposizione. Partendo dalla conoscenza delle zone che possono indurre scuotimento in un sito campione, al fine di realizzare mappe di rischio sismico e scenari di danno potenziale, si limitano con tecniche di telerilevamento i nuclei urbani ed il costruito in generale, e si creano sia scenari di danno che mappe elettroniche, le quali aggiornate a con la cadenza temporale ammissibile forniscono uno strumento speditivo per la valutazione del danno post sisma.

Il punto di forza del telerilevamento è la sovrapposizione ed integrazione dei dati, ovvero l'utilizzo di tecniche di fusione di dati multispettrali e pancromatici con diverse risoluzioni a terra. Infatti, utilizzando in modo integrato i vari dati, si può enfatizzare il contenuto informativo di ogni singolo dato. Partendo dalla semplice utilizzazione di dati telerilevati come immagini di tipo raster utilizzati come base cartografica si possono disegnare i primi tematismi. Poi dalla conoscenza del territorio e dal contenuto informativo delle immagini stesse si possono estrarre dei nuovi tematismi con tecniche di classificazione e fotointerpretazione. Dalle varie immagini tematizzate, con l'utilizzo di operazioni algebriche e filtri, si ottengono ulteriori contributi per l'informazione finale.

I requisiti fondamentali che rappresentano il nocciolo del problema sono sia il rilievo delle costruzioni che la loro classificazione. La classificazione del costruito è operata per macro tipologie, ovvero focalizzando alcuni parametri caratteristici che costituiscono la semiotica del territorio. La variazione delle tipologie di copertura, la differenza di altezza degli edifici, la loro distribuzione in pianta ed altri parametri peculiari, possono essere le chiavi di lettura di un territorio antropizzato per un "inventario" di tipo qualitativo del costruito.

Per perseguire gli obiettivi sopra citati sono necessari dati, immagini, relative alle scene dell'evento sismico immediatamente antecedenti e immediatamente successive al sisma, infine quelle relative al periodo compreso tra i due istanti per valutare il movimento tettonico pre-sismico e co-sismico con la giusta precisione e dettaglio nella scena osservata. Gli strumenti utilizzabili a tale scopo sono i sensori multispettrali per la ricerca di firme spettrali del costruito o di particolari tipologie costruttive, i sensori a microonde per il rilievo altimetrico di particolari zone, l'utilizzo di dati pancromatici ad alta risoluzione (1m) per la classificazione delle aree e per l'integrazione in overlay delle informazioni. Il supporto scientifico di riferimento per la valutazione del danno sul costruito e per la stima della vulnerabilità è la EMS 98 (European Macroseismic Scale). La scala EMS, per quanto attiene gli edifici, considera le principali tipologie strutturali raggruppate in quattro classi in considerazione del materiale costruttivo e ne descrive la vulnerabilità per mezzo di sei classi. In particolare, per ogni tipologia è rappresentato l'intervallo delle classi di vulnerabilità più probabile ovvero, la vulnerabilità attesa, differenziando la classificazione del danno tra edifici in muratura e in cemento armato.

5. Attività formativa di base sulle problematiche del telerilevamento

A supporto della formazione nell'ambito dell'assegno di ricerca in oggetto si riporta il contenuto e la descrizione delle attività svolte alla data d'oggi.

- Corso introduttivo all'uso di ENVI

Il corso articolato in cinque lezioni è stato tenuto dal dott. ing. Adele Fusco, professore a contratto della Facoltà di Ingegneria dell'Università del Sannio introducendo all'utilizzo di un Software per la manipolazione delle immagini telerilevate. Nel ciclo delle lezioni svolte è stato mostrato l'utilizzo di massima del software e sono state illustrate alcune possibilità di effettuare classificazioni ed indagini statistiche sul contenuto informativo del dato etc .

▪ Corso sul Telerilevamento

Il corso seguito ha trattato la formazione a distanza sui Sistemi Informativi Territoriali in materia di Telerilevamento svolto dai prof. M. Fea – prof. L. Guerriero- prof. Giovanni Sylos Labini nell’ambito delle attività del consorzio Nettuno. L’attività formativa è stata coordinata, presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell’Università degli Studi di Salerno, dal prof. ing. Bruno Palazzo. Tale corso è stata articolato in 30 lezioni, gli argomenti trattati spaziano dall’ottica e la gestione delle immagini alle applicazioni delle più recenti missioni spaziali. Di seguito si riporta l’elenco sintetico delle lezioni seguite con il relativo docente.

Titoli delle videolezioni

1	Il telerilevamento: introduzione	Maurizio Fea
2	Propagazione della luce e delle onde elettromagnetiche	Luciano Guerriero
3	Ottica geometrica e Formazione delle immagini	Luciano Guerriero
4	Ottica Fisica: natura ondulatoria della luce	Luciano Guerriero
5	Rilevazione della luce e delle onde elettromagnetiche	Luciano Guerriero
6	I sensori per l'osservazione della terra	Maurizio Fea
7	Caratterizzazioni delle missioni spaziali per il telerilevamento	Maurizio Fea
8	I sistemi di distribuzione dei dati	Giovanni Sylos Labini
9	Sensori e Ottiche	Giovanni Sylos Labini
10	I sistemi spaziali per l'osservazione della terra	Maurizio Fea
11	Le principali missioni di osservazione della terra	Giovanni Sylos Labini
12	Analisi dei dati di osservazione della terra	Giovanni Sylos Labini
13	Pre-elaborazione dei dati	Giovanni Sylos Labini
14	Esplorazione dei dati	Giovanni Sylos Labini
15	Operazioni Algebriche e filtri	Giovanni Sylos Labini
16	Georeferenziazione delle immagini	Giovanni Sylos Labini
17	Analisi dei dati multispettrali e loro rappresentazione	Giovanni Sylos Labini
18	Tecniche di classificazione	Giovanni Sylos Labini
19	Il formato dei dati telerilevati	Giovanni Sylos Labini
20	Esempi di integrazione di dati telerilevati in un GIS	Giovanni Sylos Labini
21	La scelta dei sensori per le applicazioni dell' osservazione della terra	Maurizio Fea
22	Applicazioni del telerilevamento: sversamento di petrolio in mare	Maurizio Fea
23	Applicazioni del telerilevamento: incendi boschivi ed alluvioni	Maurizio Fea
24	Applicazioni del telerilevamento: analisi del territorio e fenomeni globali	Maurizio Fea
25	Analisi dei requisiti utente	Giovanni Sylos Labini
26	Selezione dei dati telerilevati	Giovanni Sylos Labini
27	Selezione dei dati ancillari	Giovanni Sylos Labini
28	Elaborazione dei dati di un progetto applicativo	Giovanni Sylos Labini
29	Telerilevamento e GIS	Giovanni Sylos Labini
30	Il mercato dei dati telerilevati	Giovanni Sylos Labini

Il contributo formativo del corso è stato di tipo riepilogativo delle nozioni e dei concetti di fisica, in particolare dell’ottica fisica e geometrica. Particolare attenzione è stata posta sulle proprietà di riflessione e rifrazione delle onde e sulla natura ondulatoria della luce, sottolineando inoltre, l’utilizzo dello spettro elettromagnetico per la classificazione delle onde elettromagnetiche in base alle loro frequenze caratteristiche. Sulla base dello spettro vengono classificati gli assorbimenti atmosferici e di conseguenza individuate le “finestre atmosferiche” che ci consentono di classificare le particolari onde alle quali l’atmosfera risulta trasparente. La distinzione delle onde nello spettro ci consente una macro classificazione, all’interno dello spettro stesso, tra la parte del visibile, dell’infrarosso e delle microonde; questa classificazione è di fondamentale importanza in quanto ci permette di selezionare gli “strumenti”, ovvero le onde, adatte al tipo di osservazione che vogliamo svolgere.

Inoltre, oggetto del corso sono state le metodologie del telerilevamento, le caratteristiche dei sensori e le peculiarità dei satelliti, entrando nello specifico nelle tecniche di acquisizione del dato grezzo, di formazione delle immagini, di manipolazione, campionamento, geocodifica, classificazione e integrazione fino alla fase di archiviazione dei dati stessi. Oltre a ciò sono state chiarite le problematiche relative alla risoluzione geometrica delle immagini ed al loro contenuto informativo in termini spettrali; si sono affrontati gli argomenti del riconoscimento degli oggetti; la classificazione delle immagini per la realizzazione di carte tematiche che rispettino degli standard internazionali di classificazione etc.

L’uso integrato dei dati costituisce il nucleo centrale del contenuto, in quanto solo mediante l’opportuna integrazione dei dati da satellite ad altri dati, sia da satellite che provenienti da altre fonti informative, si riesce a perseguire l’obiettivo finale della fotointerpretazione con riscontro esatto della verità a terra. Quindi, si

comprende che l'uso dei dati ricevuti da satellite non è immediato, ovvero, il dato deve essere trasformato dal formato binario di partenza all'immagine di base, quest'ultima al fine del suo utilizzo deve essere processata ed integrata con altri dati definiti "ancillari" ed in ultimo resa interpretabile dall'utente finale.

Il corso conclude il suo percorso formativo illustrando dei progetti di monitoraggio ambientali quali il progetto "Manhuma" per il monitoraggio e la gestione delle aree umide ed il progetto "Mars" per il monitoraggio in agricoltura, mostrando con l'introduzione al CAD Overlay come l'integrazione tra telerilevamento e GIS dà la possibilità di sovrapporre i dati per la costruzione di dati complessi, mappe tematiche e sistemi informativi territoriali orientati all'utenza finale.

A conclusione di questo percorso formativo non posso non ringraziare il prof. Ciro Faella che ha permesso l'esistenza di questo lavoro, il prof. Bruno Palazzo e il dott. Luigi Petti che hanno sempre guidato in modo sapiente l'attività di ricerca svolta.

Fisciano li 31.12.02

Luigi Iannone

**POTENZIALITÀ DELLE TECNICHE
DI TELERILEVAMENTO
PER GLI STUDI DEL RISCHIO
SISMICO TERRITORIALE**

Attività svolta nell'ambito dell' assegno di ricerca bandito con d.r. n. 4639 del 9.08.2001.
Allegato alla relazione semestrale illustrativa.

Capitolo 1

Il Rischio Sismico

1.1 Premessa

Le applicazioni del telerilevamento nell'ambito dell'ingegneria Civile, con particolare riferimento all'ingegneria sismica ed al monitoraggio delle aree sismiche, si differenziano principalmente in due filoni quello della ricerca di precursori d'evento e quello della realizzazione di scenari di danno. L'inizio dell'attività di ricerca pur basandosi sulle conoscenze acquisite nel corso di studi in Ingegneria Civile non ha esonerato lo scrivente dal reperire quelle che sono le conoscenze di base in materia di Telerilevamento al fine di comprenderne le potenzialità e ricercarne le applicazioni. Infatti, la comprensione delle metodologie, dei sensori, della produzione e della gestione dei dati ottenuti, richiedono una preparazione di base sulla teoria dei segnali e sul "image processing". Di seguito si riporta un documento di sintesi in grado di dare una visione d'insieme del significato e delle applicazioni del telerilevamento, cercando di avvicinare tale disciplina al monitoraggio delle aree sismogenetiche. Tale documento è frutto di ricerche e approfondimenti sulla materia del telerilevamento, tutti i testi e le immagini riportate sono di proprietà dei rispettivi autori citati in bibliografia.

1.2 I Parametri Del Rischio

Il "Rischio Sismico" di un'area rappresenta la previsione delle perdite socio economiche attese in un determinato intervallo di tempo causate dagli eventi futuri che ivi avranno risentimento. La probabilità con cui si decide di accettare un certo rischio è invece un parametro che sarà possibile scegliere di volta in volta a seconda del margine di errore che si decide di tollerare nelle stime di previsione. La valutazione del rischio sismico di un'area richiede un'analisi separata di tre componenti di base: Pericolosità sismica (P) della zona, Vulnerabilità sismica (V) dei beni presenti ed Esposizione (E) degli stessi sul territorio. La definizione delle tre componenti P,V,E consente di esprimere il Rischio come la seguente funzione composta:

$$R = f(P, V, E)$$

Per *Pericolosità* si intende la probabilità di avere scuotimenti sismici di assegnata intensità in un prefissato intervallo di tempo in un determinato sito. Tale parametro può essere valutato a scala locale, quale risultato di studi dettagliati di microzonazione sismica all'interno del comune considerato e a scala regionale, mediante analisi probabilistico-sismotettoniche su aree vaste.

Per *Vulnerabilità* si intende la propensione dei beni presenti sul territorio al danneggiamento sismico per uno scuotimento di assegnata intensità. In riferimento alla vulnerabilità, questa si può distinguere in diretta, la quale descrive gli effetti immediati di un sisma su di un sistema, e differita la quale rappresenta il danno che si potrebbe sviluppare nel sistema sociale dopo gli effetti immediati dell'evento.

L'*Esposizione* rappresenta la quantità ed il valore dei beni presenti sul territorio considerato. Si distingue un'esposizione fisica (riguardante i beni umani e materiali presenti) ed un'esposizione del sistema economico-sociale (che rappresenta principalmente i rapporti economici soggetti al rischio)

1.3 Suddivisione Del Rischio Sismico

Si distinguono:

Rischio Diretto: danni attesi economici ed umani che si verificano immediatamente dopo l'evento. Può essere ulteriormente suddiviso in rischio edilizio (con riferimento ai danni economici degli edificati); rischio

infrastrutturale (con riferimento agli eventuali morti, feriti o senz'altro attesi come conseguenza dei rischi precedenti)

Rischio Indiretto: danni attesi immediatamente successivi all'evento dovuti vulnerabilità indotta o secondaria, che rappresenta la predisposizione di elementi fisici e attività economiche a subire effetti indotti da quelli diretti (interazione tra edifici vicini, isolamento del centro colpito, inefficienza o impossibilità dei soccorsi dovute alla dislocazione delle unità colpite, danneggiamento funzionale dei centri produttivi dei generi di prima necessità e di emergenza).

Rischio Indotto: danno sociale successivo all'evento, correlato all'organizzazione ed alla capacità di ripresa del sistema sociale (squilibri economici, saccheggiamenti, disoccupazione).

1.4 Finalità Degli Studi Di Rischio

Lo studio del Rischio ha le seguenti due finalità: previsione e prevenzione dello stesso. La L.225/1992 all'art.3 così definisce tali concetti:

La *previsione* consiste nelle attività dirette allo studio ed alla determinazione delle cause dei fenomeni calamitosi, alla identificazione dei rischi ed alla individuazione delle zone del territorio soggette ai rischi stessi.

La *prevenzione* consiste nelle attività volte ad evitare o ridurre al minimo la possibilità che si verifichino danni conseguenti ad eventi calamitosi, catastrofi od eventi connessi con l'attività dell'uomo, anche sulla base delle conoscenze acquisite per effetto delle attività di previsione

Obiettivi delle *stime* di tipo previsionale sono:

Stima del rischio medio annuo: consiste nella quantificazione delle perdite medie attese in un tempo prefissato, al fine di individuare le zone più a rischio in cui devono concentrarsi le azioni di previsione.

Stima di danno post-sisma: serve per elaborare simulazioni degli effetti di un certo evento, noto l'epicentro, al fine di indirizzare in modo opportuno e in tempo reale, gli interventi di protezione civile.

Per quanto riguarda le politiche di prevenzione, le metodologie di mitigazione del rischio possono essere suddivise in strategie attive e passive. Le prime intervengono sulla vulnerabilità edilizia (unico parametro su cui poter intervenire almeno per l'edilizia esistente), le seconde riguardano principalmente le strategie politiche per contenere le conseguenze del sisma.

Le strategie attive possono realizzarsi attraverso:

- riduzione della vulnerabilità strutturale degli edifici esistenti mediante interventi di adeguamento o miglioramento sismico;
- utilizzo di nuove tecnologie per il controllo della risposta sismica delle strutture.
- riclassificazione sismica dei comuni sulla base sulla nuova proposta di riclassificazione formulata dai gruppi GNDT-SSN-ING basata non solo sulla massima intensità storica risentita al sito, ma anche su parametri di pericolosità (come l'intensità spettrale di Housner) direttamente legati all'energia dissipabile nelle strutture con periodi di ritorno proporzionali alla vita media delle strutture. Tale strategia è stata recepita dalla regione Campania con deliberazione di Giunta Regionale n° 5447 del 07 novembre 2002 (Fig.1).

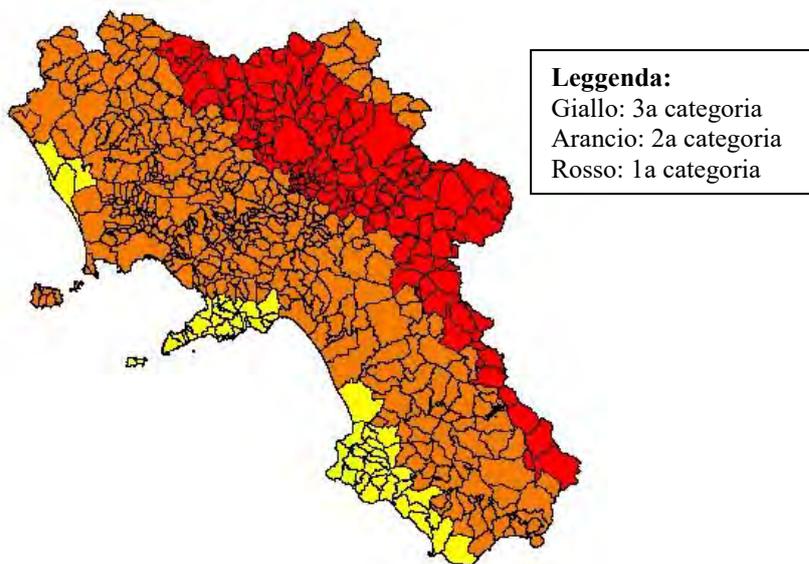


Fig.1.1 Nuova classificazione della regione Campania

Anche per le strategie passive sono possibili varie soluzioni:

- a) assicurazione obbligatoria degli immobili presso compagnie assicurative garantite a loro volta da grandi società internazionali di riassicurazione.
- b) pianificazione territoriale dell'esposizione edilizia utilizzando indagini di microzonazione sismica al fine di individuare le aree meno pericolose da destinare ai futuri sviluppi urbani;
- c) redazione di piani di emergenza ed evacuazione post-sisma, in grado di permettere un'organizzazione preventiva dei soccorsi e la preparazione della popolazione ad affrontare l'evento;
- d) utilizzo di tecniche di telerilevamento per il monitoraggio del costruito e valutazione della vulnerabilità;
- e) utilizzo di tecniche integrate di GIS e telerilevamento al fine di stimare il danno post-sisma del patrimonio edilizio, delle strutture a rete dei danni antropici indotti.

1.5 Metodologie Di Analisi Della Pericolosità Sismica

1.5.1 Modelli Per La Valutazione Della Pericolosità Sismica

La pericolosità sismica è definita come la probabilità di superamento di una determinata soglia di intensità I in un tempo prefissato in un determinato sito. Tale probabilità è evidentemente funzione dei fenomeni fisici e tettonici che provocano le fratture sismogenetiche e delle leggi di propagazione dell'energia sismica lungo la direzione sorgente-ricevitore.

La valutazione della pericolosità sismica può essere affrontata con diversi metodi; due approcci metodologici, oramai consolidati nella letteratura scientifica internazionale sono i seguenti:

1. *storico deterministico*, che considera il massimo scuotimento verificatosi nel passato;
2. *probabilistico sismotettonico*, che consiste nello studio probabilistico degli eventi sismici nelle diverse zone sismogenetiche e, quindi, della probabilità del verificarsi di un risentimento locale di assegnata intensità.

Si precisa che in entrambi gli approcci non si considera l'influenza delle diverse caratteristiche locali di sito nell'ambito comunale.

Metodo Storico Deterministico

L'analisi della sismicità storica è uno degli strumenti necessari per individuare le aree in cui si sono avuti risentimenti sismici e per analizzare i caratteri di ricorrenza ed intensità con i quali tali fenomeni hanno colpito il territorio. Utilizzando la scala MCS il Gruppo Catalogo dei Terremoti del CNR, Progetto Finalizzato Geodinamica, ha prodotto nel 1985 il catalogo "Atlas of isoseismal maps of italian earthquakes" il quale riporta le isosiste dei forti terremoti italiani (intensità epicentrale non inferiore a IX MCS) dal 990 al 1980. Lo studio delle isosiste degli scuotimenti sismici che hanno avuto risentimenti in un'area consente di ricavare informazioni sulla sua sismicità storica, strumento di base per individuare le aree in cui si sono avuti risentimenti sismici e per analizzare i caratteri di ricorrenza ed intensità con i quali tali fenomeni hanno colpito il territorio. Tali linee mostrano il modo in cui si propaga un terremoto in superficie; la loro forma dipende dalle condizioni all'epicentro, dal percorso seguito dalle onde sismiche, dalle condizioni geologiche dei siti attraversati dalle onde e da molti altri complessi fattori. Il tracciamento delle isosiste è stato ed è il mezzo più usato per rendere di immediata percezione la distribuzione territoriale del danneggiamento.

Sismicità delle Aree Sismogenetiche

La sismicità di ogni zona sismogenetica è definita dalla funzione di ricorrenza che correla lo scuotimento, in termini di intensità I MCS, alla frequenza media annua di eccedenza di quel livello di scuotimento. Il periodo di ritorno T è l'inverso della frequenza di occorrenza annua e può essere interpretato come il numero medio di anni tra l'occorrenza di due scuotimenti di pari entità. La funzione di distribuzione delle intensità più diffusa a livello internazionale è quella di Gutenberg-Richter:

$$\text{Log}N = a - b \cdot I$$

dove:

- N è il numero medio annuo di terremoti di intensità maggiore o uguale ad I ;
- a e b sono parametri stimati per ogni zona, mediante regressione lineare, dai dati del catalogo NT 4.1.1.

Nella figura 2 che è riportata, a titolo di esempio, la legge di ricorrenza annua delle zone sismogenetica 63 con l'equazione analitica ed il coefficiente R di correlazione .

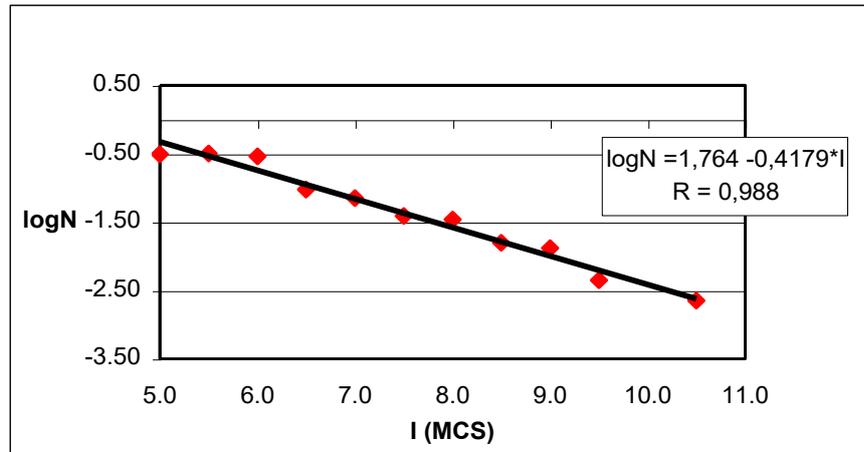


Fig.1.2 Legge di ricorrenza

Leggi di Attenuazione

L'effetto che si risente al sito, ma che ha origine in un'area sorgente, può essere valutato per mezzo delle leggi di attenuazione dei parametri sismici più importanti, tra cui l'intensità macrosismica. Le leggi di attenuazione dipendono da molteplici fattori quali la severità del terremoto, la profondità ipocentrale, la distanza dall'epicentro, il modello di rottura della faglia sorgente, le condizioni geologiche del mezzo nel quale si propagano le onde sismiche, ecc.

Tra le varie formulazioni della relazione che regola l'attenuazione dell'intensità macrosismica con la distanza si ricordano quelle di:

1. Blake ;
2. Grandori ;
3. Berardi.

1. La relazione di Blake, che assume un decadimento di tipo logaritmico decimale, per il territorio italiano è data da:

$$I_0 - I = 4.38 \cdot \log \sqrt{1 + \left(\frac{D}{h}\right)^2}$$

dove:

- I_0 = intensità epicentrale;
- I = intensità al sito;
- D = distanza dall'epicentro, in km;
- h = profondità ipocentrale.

2. La relazione di Grandori assume:

$$I_0 - I = \frac{1}{\ln \psi} \cdot \ln \left[1 + \frac{\psi - 1}{\psi_0} \cdot \left(\frac{D_i}{D_0} - 1 \right) \right]$$

dove:

- D_0 = raggio equivalente dell'isosisma di massima intensità (raggio del cerchio di area pari a quella racchiusa dall'isosisma di intensità massima);
- D_i = raggio equivalente dell'isosisma i-esima;
- ψ, ψ_0 = parametri funzione delle zone sismogenetiche.

La relazione di Berardi assume, infine, l'attenuazione proporzionale alla radice cubica della distanza:

$$I_0 - I = \alpha + \beta \cdot \sqrt[3]{D}$$

con:

- D = distanza dall'epicentro;
- α, β = parametri funzione delle zone sismogenetiche.

A differenza della legge di Blake, che presenta un coefficiente di attenuazione costante, i modelli di Grandori e Berardi tengono conto della diversa attenuazione per le varie zone sismogenetiche.

Valutazione Della Pericolosità Sismica Con il Metodo Storico Deterministico

Con il metodo di Cornell la pericolosità sismica al sito è valutata attraverso una convoluzione probabilistica degli scuotimenti che si avrebbero a causa di eventi nelle zone sismogenetiche circostanti, tenuto conto di funzioni di attenuazione dell'intensità. Il metodo, nell'ipotesi che l'occorrenza sia considerabile come un processo di Poisson (eventi tra loro indipendenti e stazionari nel tempo) e la sismicità all'interno di ogni zona sismogenetica uniforme, consta dei seguenti passi:

1. individuazione delle zone sorgenti;
2. studio dell'attività sismica delle zone sorgenti attraverso la determinazione delle funzioni di ricorrenza per ciascuna zona;
3. applicazione della legge di attenuazione per determinare le intensità risentite al sito;
4. valutazione probabilistica della pericolosità al sito mediante inviluppo dei risentimenti.

Sulla base della ipotizzata distribuzione di Poisson la probabilità di eccedenza $p(1,t)$ di avere un evento di periodo di ritorno T nel tempo t è data da:

$$p(1,t) = 1 - e^{-t/T}$$

Per eventi di periodo di ritorno T di 95, 475, 950 e 2370 anni, la probabilità di eccedenza p in intervalli di tempo più piccoli, rispettivamente di 10, 50, 100 e 250 anni, è pari al 10% mentre, in tutto l'arco temporale costituito dal periodo di ritorno, tale probabilità è data da $1 - e^{-1}$, pari a circa il 63%.

Assumendo come parametro l'intensità MCS, l'intensità I al sito si può supporre funzione della I_0 all'epicentro e della distanza R tra il sito e l'epicentro:

$$I = f(I_0, R)$$

Considerato un sito vi sono varie zone sismogenetiche che su di esso danno risentimenti. Al variare della distanza R dalle varie sorgenti viene calcolata la probabilità di eccedenza di un certo livello di intensità al sito. Tale probabilità è funzione dei parametri della legge di attenuazione e di quella di ricorrenza.

Attraverso l'applicazione del metodo di Cornell si sono avuti i seguenti risultati:

la probabilità annua di scuotimenti di fissata intensità I MCS;

l'intensità I MCS e la massima accelerazione al suolo (PGA) con assegnata probabilità di eccedenza del 10% e per intervalli di tempo di 10, 50, 100 e 250 anni.

Applicando la legge di attenuazione di Blake all'intensità sismica epicentrale e le correlazioni proposte da Richter fra scala MCS ed accelerazioni di picco al suolo (PGA) è possibile elaborare una mappa con indicazione dei valori attesi della PGA, fissata una probabilità di eccedenza dell'evento del 10% in 50 anni (corrispondente alla vita media degli edifici) ed equivalente ad un periodo di ritorno dell'evento di 475 anni. Ciascun comune è individuato da una colorazione alla quale è associato un intervallo di valori di PGA attesi con la probabilità assegnata. Tali valori possono essere particolarmente utili ai progettisti per la costruzione di spettri di risposta calibrati su specifici valori di scuotimento al suolo.

1.6 L'utilizzo di Sistemi Informativi Territoriali per Analisi su Vasta Scala

Il territorio, nella sua definizione più ampia, appare come un sistema complesso di elementi coesistenti nello stesso spazio, interconnessi tra loro e che si influenzano reciprocamente. Tali elementi sono rappresentati da un lato dalle risorse naturali (suolo, sottosuolo, vegetazione, risorse idriche, ecc.), dall'altro dai fattori umani che contribuiscono in modo determinante a organizzare e trasformare tali risorse. Inoltre il territorio rappresenta un sistema dinamico in continua evoluzione in quanto gli elementi che lo formano possono subire nel tempo trasformazioni e cambiamenti sia di tipo quantitativo che qualitativo. Studiare il territorio è indispensabile per avere una visione aggiornata delle modificazioni naturali ed antropiche e soprattutto per tenerlo sotto controllo

per le questioni di sicurezza, per la gestione delle azioni e degli interventi conseguenti a catastrofi naturali, per la perlustrazione di aree di interesse ambientale, ecc.

Il problema è che descrivere un tale sistema in modo completo è molto complicato così come lo è comprendere le complesse relazioni tra gli elementi che lo compongono. Diventa allora necessario disporre di strumenti sempre più aggiornati per ottenere rapidamente informazioni da utilizzare nelle attività di pianificazione e di programmazione. Allo stato attuale il problema del controllo e della gestione del territorio viene affrontato con mezzi e strumenti anche molto diversi tra di loro. In diverse situazioni vengono già utilizzate tecnologie avanzate (stazioni per il monitoraggio e il controllo di dati fisico-ambientali, riprese aerofotogrammetriche, modelli di analisi e previsione su base statistica o deterministica); in altre è ancora l'uomo l'unico osservatore analitico dell'ambiente che lo circonda.

Negli ultimi anni uno sviluppo sempre maggiore hanno avuto i **GIS: Geographical Information Systems** i quali rappresentano uno strumento utilissimo sia per immagazzinare dati territoriali in maniera logica e strutturata che per mettere a punto metodologie di analisi per la pianificazione degli interventi.

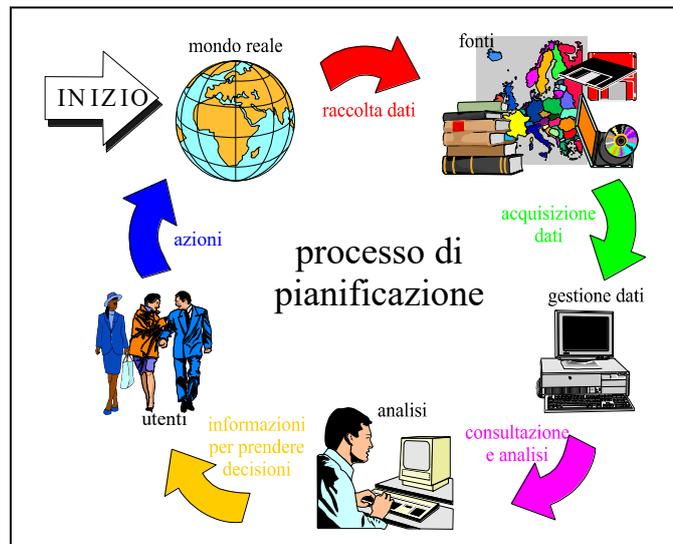


Fig.1.3 Processo decisionale

L'obiettivo primario di un sistema informativo è quello di mettere a disposizione dei responsabili di decisioni operative, tutte le informazioni necessarie per effettuare le migliori scelte possibili. In figura 3 è sintetizzato il processo decisionale che va dalla selezione e raccolta di informazioni dal mondo reale, alla generazione della banca dati, all'elaborazione e sintesi dei dati di supporto alle decisioni ed infine alla pianificazione degli interventi.

Con l'utilizzo di dati telerilevati è possibile integrare le banche-dati costruite nei vari anni, e soprattutto eseguire delle comparazioni rilevandone in modo speditivo i cambiamenti.

Le potenzialità di un sistema GIS sono utilizzabili per poter gestire l'enorme mole di dati relativi ai Comuni italiani o nel particolare della Regione Campania e per effettuare le numerose elaborazioni necessarie per l'analisi del rischio sismico. Tale strumento integrato con le tecniche di telerilevamento consente di effettuare anche stime di vulnerabilità e di danno post-evento .

1.6.1 Analisi del Rischio Sismico Territoriale

Rischio Sismico Edilizio Comunale

Il *rischio sismico del patrimonio edilizio* viene qui inteso come il valore economico del danno medio annuo, provocato dai futuri scuotimenti sismici attesi al sito. I risultati così ottenuti possono essere, quindi, utilizzati nel pianificare interventi di prevenzione basandosi su analisi costi-benefici.

Il rischio sismico del patrimonio edilizio $R_{ed}(p)$ è dato quindi da:

$$R_{ed}(p) = E \cdot \sum_{I=VI}^{XII} p_I(I) \cdot d_I(p, I)$$

esplicitando $d_I(p, I)$ si ottiene:

$$R_{ed}(p) = E \cdot \sum_{I=VI}^{XII} p_I(I) \cdot \left[\sum_{m=1}^n e_m(T) \cdot D_m(p, I) \right]$$

essendo $D_m(p, I)$ il danno atteso per la tipologia edilizia m -ma e $e_m(T)$ la sua frazione volumetrica rispetto al volume edilizio totale. La sommatoria rispetto alle intensità sismiche tiene conto solo degli scuotimenti che provocano danni alle costruzioni: ossia quelli con $I \geq VI$ MCS. L'ultima espressione rappresenta il *rischio sismico assoluto* il quale fa riferimento al totale di metri cubi edificati di ciascun Comune. Il *rischio unitario* si riferisce invece all'unità di volume costruito.

Rischio Sismico del Sistema Antropico

In analogia al rischio sismico edilizio può essere valutato il rischio del sistema antropico in termini di numero medio di vittime attese annualmente provocato dai futuri scuotimenti sismici attesi al sito.

Indicando con:

- m_I = numero atteso di vittime (morti+feriti), normalizzato a 1000 abitanti, per un evento di intensità I ;
- Ab = numero di abitanti del Comune in esame;

il rischio in termini di vittime R_V si esprime come:

$$R_V = \frac{Ab}{1000} \cdot \sum_{I=VI}^{XII} p_I(I) \cdot m_I$$

Tale espressione rappresenta il rischio assoluto. In termini unitari (con riferimento a mille abitanti) si può scrivere:

$$r_V = \sum_{I=VI}^{XII} p_I(I) \cdot m_I$$

Analogamente, indicando con:

- s_I = numero atteso di senzatetto, normalizzato a 1000 abitanti, per un evento di intensità I ;
- Ab = numero di abitanti del Comune in esame;

il rischio R_s in termini di numero medio di senzatetto attesi annualmente è dato da :

$$R_s = \frac{Ab}{1000} \cdot \sum_{I=VI}^{XII} p_I(I) \cdot s_I$$

In termini unitari:

$$r_s = \sum_{I=VI}^{XII} p_I(I) \cdot s_I$$

Infine, indicando con:

- D_I = danno economico alle infrastrutture (in milioni di lire/abitante) per un evento di intensità I ;
- il rischio R_{inf} in termini di danno economico alle infrastrutture (opere di urbanizzazione primarie e secondarie) atteso annualmente è dato da:

$$R_{inf} = Ab \cdot \sum_{I=VI}^{XII} p_I(I) \cdot D_I$$

Al rischio unitario è correlabile il livello di sicurezza presente in ciascun comune (con riferimento soprattutto alle vite umane), mentre al rischio assoluto è associabile il danno economico complessivo espresso in metri cubi annui persi.

Definiti i parametri essenziali del rischio sismico, si descrivono nel seguito le caratteristiche e le potenzialità del telerilevamento, spaziando dai principi fisici di funzionamento alle più recenti applicazioni, esponendo quali sono, o possono essere, le possibilità offerte da tali tecniche al monitoraggio delle aree con particolare attenzione alle zone sismiche.

Capitolo 2

Il Telerilevamento

2.1 Introduzione

Il Telerilevamento, inteso come l'insieme delle metodologie di acquisizione, elaborazione ed interpretazione di immagini digitali rilevate da aereo, satellite o altra piattaforma più prossima all'oggetto da studiare, può avere notevoli applicazioni in campo scientifico, ma la sua utilizzazione nel campo dell'Ingegneria Civile si sta sviluppando solo negli ultimi anni.

Il Telerilevamento si basa sulla possibilità di acquisire informazioni su oggetti senza un contatto fisico con essi. I metodi potenzialmente utilizzabili, sono lo sfruttamento del campo magnetico e gravitazionale, l'analisi delle caratteristiche elettriche dei corpi, l'utilizzo delle onde acustiche, l'utilizzo delle onde elettromagnetiche etc. Vi è un consenso quasi unanime nel limitare l'uso del termine Telerilevamento a quei casi in cui si utilizzano esclusivamente onde elettromagnetiche, che mediano le informazioni fra l'oggetto studiato e lo strumento di analisi. Possiamo distinguere principalmente due modalità operative: sistemi attivi e sistemi passivi. I primi forniscono l'energia "illuminando" la scena da studiare, i secondi si limitano a rilevare l'energia emessa dagli oggetti o quella parte dell'energia solare che gli stessi oggetti riflettono.

I metodi attivi si basano quasi esclusivamente su sistemi radar ed utilizzano onde elettromagnetiche di lunghezza centimetrica (microonde). I metodi passivi possono rilevare l'energia che i corpi emettono in funzione della loro temperatura, o quella che essi riflettono quando vengono illuminati dal Sole.

Si può, quindi, operare nelle lunghezze d'onda del visibile e del vicino e medio infrarosso, sfruttando l'energia solare che i corpi riflettono, oppure nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso termico espandendosi fino alle microonde, in quanto la Terra emette energia in questa parte dello spettro elettromagnetico.

2.2 Cenni teorici della disciplina

Gli organi di senso dell'uomo prendono coscienza del mondo esterno quasi esclusivamente attraverso la ricezione di una grande varietà di segnali emessi o riflessi, attivamente o passivamente, da oggetti che trasmettono informazioni sotto forma di onde o impulsi. Si percepiscono dunque come suoni quelle perturbazioni dell'atmosfera che si propagano con moto ondoso, si sperimentano sensazioni quali il calore, si reagisce ai segnali chimici provenienti dal cibo con il gusto e l'olfatto, si è consapevoli delle proprietà di certi materiali quale la ruvidezza grazie al tatto, e si è in grado di riconoscere forme, colori, posizioni relative di oggetti esterni e tipologie di materiali attraverso il campionamento della luce visibile che da essi proviene.

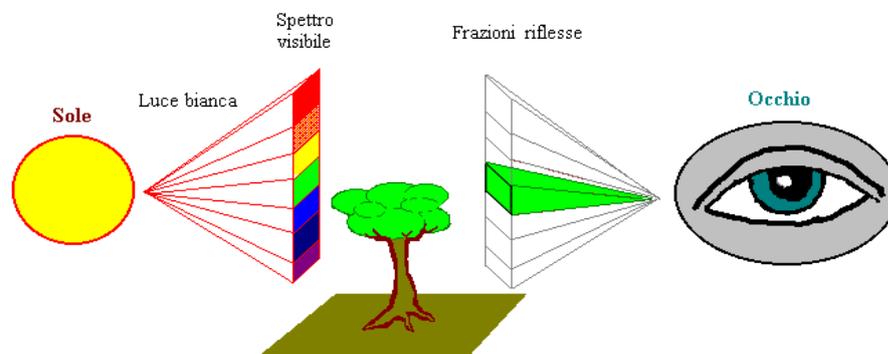


Fig. 2.1 Riflessione dei colori

Il nostro occhio percepisce le radiazioni luminose riflesse dalla superficie dei corpi reali. Il senso del colore dipende dalla percentuale di questa radiazione riflessa (riflettanza) nelle differenti lunghezze d'onda di cui è

composta la luce solare. L'apparato fogliare di un albero assorbe tutte le frazioni dello spettro tranne quelle del verde che vengono riflesse e percepite dal nostro occhio.

La nostra dotazione sensoriale ci permette di percepire gli oggetti fisici attraverso il fenomeno della visione con gli occhi. Questi ultimi però possono darci informazioni solamente di tipo "qualitativo" e limitate al solo canale visibile delle onde elettromagnetiche. Misure quantitative e quindi una investigazione più ampia sugli oggetti reali, possono essere effettuate solamente attraverso strumenti appositamente costruiti con possibilità di indagine al di là della semplice vista, in canali elettromagnetici come l'Infrarosso, l'Ultravioletto, le Microonde, ecc.

Tutte le sensazioni incluse nella lista precedente che non sono indotte da contatto diretto sono frutto di un rilevamento a distanza in anglosassone "remote sensing" (telerilevamento). In pratica però non pensiamo ai nostri sensi corporei come a sensori a distanza nella loro rigorosa definizione tecnica. Tale definizione formale e completa del telerilevamento è riportata di seguito:

l'acquisizione e la misura di dati e/o informazioni relativi a proprietà di un fenomeno, oggetto, o materia attraverso uno strumento di registrazione non in stretto contatto fisico con l'oggetto di analisi; la tecnica comprende la maturazione di conoscenze sui diversi ambienti attraverso la misura di campi di forza, di radiazione elettromagnetica¹, o di energia acustica utilizzando macchine fotografiche, sistemi laser², ricevitori a radio frequenza, sistemi radar³, sonar, dispositivi termici, sismografi, magnetometri, gravimetri, scintillatori e altri strumenti.

Si tratta di una definizione piuttosto lunga e generale. Probabilmente una definizione più semplice sarebbe: il telerilevamento è una tecnologia basata sul campionamento della radiazione e dei campi di forza volta ad acquisire ed interpretare dati geospaziali per derivare informazioni su attributi, natura degli oggetti e tipologie presenti sulla superficie terrestre, negli oceani e nell'atmosfera.

O ancora si potrebbe dire: *il telerilevamento implica la rivelazione e la misura di fotoni di diverse energie provenienti da materiali situati a distanza dal rivelatore, giungendo in tal modo ad identificarli e categorizzarli per tipologia, composizione e distribuzione spaziale.*

Tutte queste definizioni sono valide e, considerate nell'insieme, dovrebbero fornire un'idea ragionevole del significato e dell'utilizzo del termine "telerilevamento".

Le basi teoriche del Telerilevamento vanno cercate nel campo della fisica con particolare attenzione all'ottica ed alla natura ondulatoria della luce. Infatti come accennato nella premessa il telerilevamento sfrutta proprio le onde trasmesse a varie lunghezze per osservare, misurare, rilevare la superficie della Terra. La maggior parte dei testi di telerilevamento introducono il lettore ai principi basilari necessari alla costruzione del *background teorico*, sottolineando i principi relativi alla fisica della radiazione, quindi è doveroso riportare un breve cenno sull'argomento. L'unità fondamentale utilizzata nei fenomeni elettromagnetici è il fotone, particella subatomica che corrisponde alla radiazione emessa dalla materia eccitata termicamente, o da processi nucleari o da altra radiazione. I fotoni, privi di massa, si muovono alla velocità della luce: 300,000 km/sec. Queste particelle hanno una natura "duale" per cui sono anche caratterizzate da una propagazione ondosa. Tali onde sono rappresentabili analiticamente attraverso funzioni trigonometriche. La distanza fra punti equivalenti (corrispondenti a stesse ampiezze dell'onda) su un treno d'onda è la lunghezza d'onda. Il numero di punti equivalenti che attraversano una posizione di riferimento in un secondo è indicato dalla frequenza dell'onda (espressa in cicli/sec o hertz). Un fotone è caratterizzato da una certa quantità di energia determinabile (in erg) dalla equazione generale di Planck:

$$E = h\nu$$

¹ - Electromagnetic radiation / EMR

" Energia che si propaga alla velocità della luce sotto forma d'onde vettoriali trasversali attraverso lo spazio o mezzi materiali con i quali interagisce, eventualmente trasformandosi in altra forma di energia. Il vettore campo elettrico e il vettore campo magnetico che la costituiscono vibrano perpendicolarmente tra loro e in un piano perpendicolare alla direzione di propagazione della radiazione stessa. La radiazione elettromagnetica può essere descritta in forma ondulatoria o in forma corpuscolare secondo la lunghezza d'onda e secondo il tipo di interazione con cui si rivela. Caratteristiche della radiazione elettromagnetica sono: la direzione di propagazione, le diverse bande spettrali, l'intensità in ogni banda, la polarizzazione, la fase, la frequenza, l'ampiezza."

² - Laser

" Acronimo dei termini anglosassoni Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. È un dispositivo per produrre una radiazione elettromagnetica monocromatica e coerente mediante l'emissione di energia da parte di un sistema molecolare o atomico quando viene stimolato. Un fascio laser si propaga per lunghe distanze senza dispersione e può raggiungere altissime energie."

³ - Radar

" Acronimo di Radio Detection And Ranging, Rilevamento e misura delle distanze per mezzo di radioelettricità. Tecnica o apparecchiatura - costituita da un trasmettitore, un'antenna e un ricevitore - che invia impulsi di radiazione elettromagnetica di una determinata lunghezza d'onda dell'ordine dei centimetri e raccoglie gli impulsi riflessi dal bersaglio. La tecnica radar viene perciò detta tecnica attiva. L'intervallo di tempo che intercorre tra l'emissione dell'impulso dall'antenna e la sua ricezione, da parte della stessa antenna, permette di misurare la distanza tra l'antenna e il bersaglio. L'analisi dell'intensità della radiazione riflessa dal bersaglio permette di ricavare informazioni circa la natura del bersaglio stesso. Nel telerilevamento la tecnica radar viene usata perché, oltre a fornire informazioni sulla riflettività delle superfici a quella determinata lunghezza d'onda, fornisce anche informazioni relative alla loro costante elettrica e al coefficiente di diffusione."

dove h è la costante di Planck ($6.6260... \times 10^{-34}$ Joule-sec)* e ν indica la frequenza. I fotoni di frequenza più alta sono dunque più energetici. Se un materiale eccitato sperimenta un passaggio da un livello energetico più alto E_2 ad un livello inferiore E_1 , la formula precedente diventa:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h \nu$$

laddove il valore di ν è dato da $(\nu_2 - \nu_1)$; in altri termini, una particolare transizione energetica è caratterizzata dall'emissione di radiazione (fotoni) con una precisa frequenza e una corrispondente lunghezza d'onda λ .

La lunghezza d'onda è l'inverso della frequenza, secondo la relazione:

$$c = \lambda \nu \text{ (transposable to } \nu = c/\lambda)$$

dove c è la costante che indica la velocità della luce, così che l'equazione di Planck può essere riscritta come

$$E = hc/\lambda$$

La luce visibile è formata dalle onde elettromagnetiche, vibrazioni di campi magnetici ed elettrici che si propagano nello spazio. Ogni onda elettromagnetica ha una frequenza definita ed una lunghezza d'onda associata a questa frequenza. Tutte le onde elettromagnetiche sono classificate in base alle loro frequenze caratteristiche all'interno di quello che è noto come: lo spettro elettromagnetico

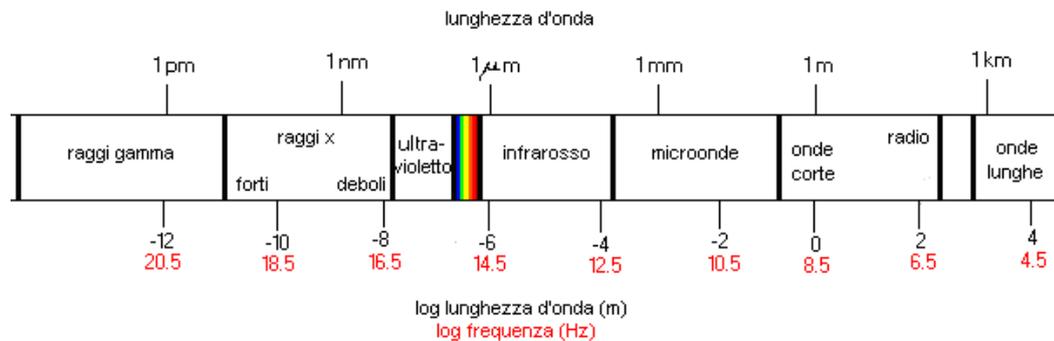


Fig. 2.2 Spettro elettromagnetico

La distribuzione delle energie di radiazione può essere rappresentata sia in funzione della lunghezza d'onda che della frequenza nel grafico sopra illustrato. Lo spettro elettromagnetico è stato arbitrariamente suddiviso in regioni o intervalli cui sono stati attribuiti nomi descrittivi.

Classificazione generale dello spettro elettromagnetico:

- **Onde a radiofrequenza**
Sono le frequenze comprese tra alcuni Hz e 10^9 Hz e sono utilizzate principalmente per trasmissioni radio-televisive.
- **Microonde (MW)**
Comprendono onde di lunghezza tra 0.3 m e 10^{-3} m e sono utilizzate per comunicazioni radar, via satellite, ponti radio.
- **Infrarosso (IR)**
Questa banda, a sua volta divisa in estremo, medio e prossimo infrarosso, comprende lunghezze d'onda che vanno da 10^{-3} m a $7.8 \cdot 10^{-7}$ m. Le applicazioni riguardano l'astronomia, la medicina e piccole apparecchiature d'uso domestico (ad esempio telecomandi).
- **Luce visibile (VIS)**
E' l'intervallo di frequenze che può essere percepito dall'occhio umano e si estende da $7.8 \cdot 10^{-7}$ m a $3.8 \cdot 10^{-7}$ m. Al variare della frequenza all'interno dello spettro luminoso, varia il modo con cui queste vengono avvertite dall'occhio: questo fenomeno origina i diversi colori quali violetto, blu, verde, giallo, arancio, rosso.
- **Raggi ultravioletti**
Questi raggi coprono l'intervallo da $3.8 \cdot 10^{-7}$ m a circa $6 \cdot 10^{-10}$ m e vengono generati principalmente dal sole.
- **Raggi X**
Utilizzati soprattutto nella medicina, hanno lunghezze d'onda che vanno da 10^{-9} m a $6 \cdot 10^{-12}$ m.

- Raggi Gamma

Prodotti dalle sostanze radioattive e dalle radiazioni nucleari, possono essere letali per gli organismi viventi. Coprono l'intervallo da 10^{-10} m a 10^{-14} m.

Le leggi della Fisica che non bisogna trascurare per le basi sono due, la prima ci dice che tutti i corpi con temperatura superiore allo zero assoluto emettono energia sotto forma di onde elettromagnetiche e che la quantità di energia emessa è proporzionale alla quarta potenza della loro temperatura assoluta (Legge di Stefan-Boltzmann).

$$W = sT^4 [W \cdot cm^{-2}]$$

Questa in realtà è l'energia massima che emetterebbe un corpo teorico, mentre i corpi reali emettono una quantità di energia minore e proporzionale ad un coefficiente di emissività che può avere valori compresi fra 1 (corpo nero) e 0 (corpo bianco). Anche se i valori di riflettività dei corpi che studiamo non hanno una così forte variabilità, questo aspetto può portare alcuni problemi nella caratterizzazione termica dei corpi analizzati, in quanto corpi alla stessa temperatura possono avere una temperatura radiante significativamente diversa ed apparire uno più freddo dell'altro.

La seconda legge, quella di Wien, mette in relazione la lunghezza d'onda alla quale un corpo emette il massimo di energia con la temperatura del corpo stesso. La relazione è inversa ed un corpo caldo emette il picco di energia ad una lunghezza d'onda minore di quella a cui emette il picco un corpo più freddo.

$\lambda_{max} = 2890 / T$ [mm]. Se prendiamo in considerazione il Sole, con una temperatura alla fotosfera di circa $6.000^\circ K$, ne deriva che il picco di energia è emesso a circa 0.5 mm, ossia nel visibile ($0.4 \div 0.7$ mm); e non è un caso che il nostro occhio, come molti altri sistemi biologici, si sia evoluto per catturare la luce in quella parte dello spettro elettromagnetico dove vi è molta energia. La Terra, con una temperatura superficiale di circa $300^\circ K$, emette il massimo di energia intorno ai 10 mm, e a queste lunghezze d'onda dovrà lavorare un sensore passivo per avere la massima efficienza.

2.2.1 La propagazione dell'energia

La principale sorgente di eccitazione energetica utilizzata per illuminare i bersagli naturali è la radiazione solare. Il suo spettro è determinato dalla temperatura della fotosfera solare. La radiazione solare incidente è prevalentemente concentrata nell'intervallo di lunghezze d'onda fra 200 e 3400 nm (0.2 e $3.4 \mu m$), con un massimo di potenza a circa 480 nm ($0.48 \mu m$) (nel verde). Quando la radiazione solare attraversa l'atmosfera terrestre una frazione dell'energia irraggiata viene assorbita o riflessa, e il resto è trasmesso.

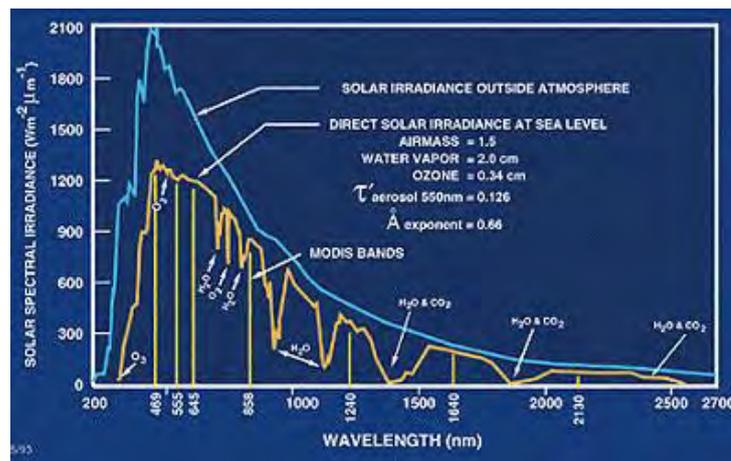


Fig. 2.3 Radiazione solare

La radiazione incidente (radianza) sulla superficie terrestre o oceanica è caratterizzata da tre diversi modi di propagazione successiva:

- (1) trasmissione - parte della radiazione penetra in alcuni mezzi, per esempio nell'acqua;
- (2) assorbimento - parte della radiazione è assorbita attraverso interazioni molecolari o elettroniche con il mezzo attraversato; in seguito potrà essere parzialmente riemessa (emittanza), soprattutto in corrispondenza delle lunghezze d'onda maggiori, cosicché la radiazione solare contribuisce al riscaldamento dei corpi che forniscono una risposta termica;

intervalli di trasparenza (finestre atmosferiche) che vengono quindi utilizzati dai sensori . In realtà nuvole, foschia e pulviscoli vari, ampiamente presenti soprattutto nelle zone tropicali e polari , impediscono spesso buone riprese della superficie terrestre. In questi ultimi anni sono stati sviluppati sensori attivi a microonde da 1cm ad 1m che sono indipendenti da qualsiasi disturbo atmosferico e assenza di luce. Per questi sensori radar l'atmosfera è sempre trasparente.

2.2.3 Interazione radiazione – materia

La quantità di radiazione EM riflessa (assorbita, trasmessa) da un qualsiasi oggetto varia al variare della lunghezza d'onda. Questa importante proprietà della materia consente l'identificazione e la separazione di diverse sostanze o classi attraverso la loro firma spettrale (curve spettrali) come mostrato in figura 2.6.

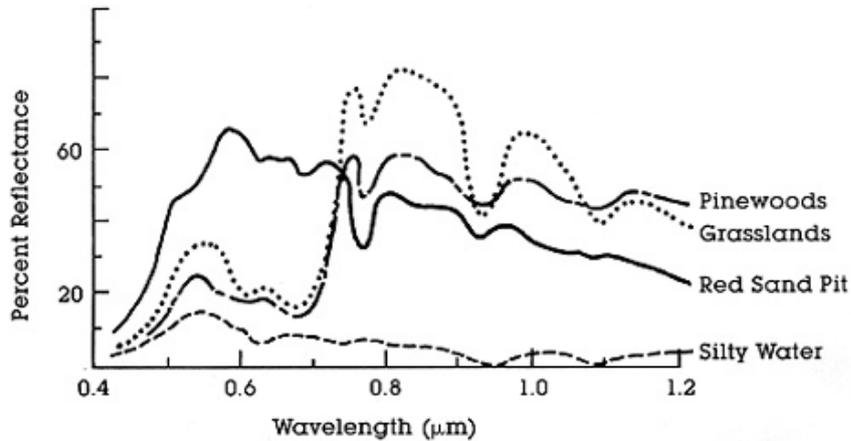


Fig. 2.6 Curve spettrali

Dunque la sabbia può riflettere più luce della vegetazione a certe lunghezze d'onda ma assorbirne di più ad altre. In linea di principio, vari tipi di superfici possono essere riconosciute e distinte fra loro grazie a tali differenze nelle riflettività relative, supposto che ci sia un metodo adeguato per la misura di tali differenze in funzione della lunghezza d'onda e dell'intensità della radiazione riflessa (come frazione o percentuale della radiazione incidente). A scopo esemplificativo si osservino, nella figura 2.7, le posizioni dei punti che indicano le percentuali di riflettività in corrispondenza di due lunghezze d'onda per quattro tipi comuni di superfici (GL = terreni erbosi; PW = pinete; RS = sabbia rossa; SW = acqua fangosa).

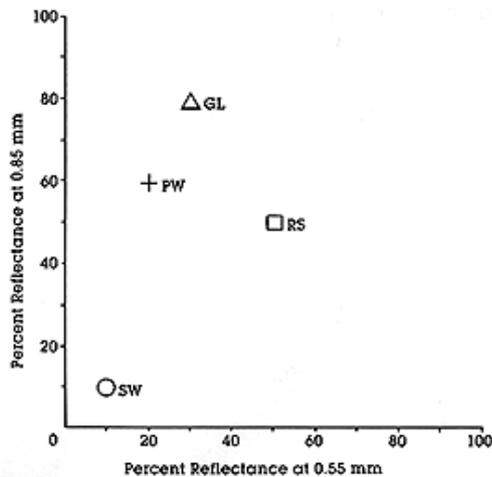


Fig. 2.7 Riflessione di vari elementi (%)

Qualora si considerino più di due lunghezze d'onda, i grafici in spazi multidimensionali tendono ad aumentare la separabilità di materiali diversi; questa è la base del telerilevamento multispettrale.

2.2.4 Emissione dei corpi: la vera temperatura

Ogni corpo emette energia nello spettro elettromagnetico con una lunghezza d'onda (λ) tipicamente correlata alla sua temperatura secondo la relazione:

$$T \times \lambda = \text{const}$$

Per cui al crescere della temperatura si osserverà la diminuzione della lunghezza d'onda di massima emissione. Esprimendo la lunghezza d'onda in micron e la temperatura in Kelvin, il valore della costante vale circa 3000. Conoscendo la temperatura superficiale del sole, circa 6000°K , la lunghezza d'onda di massima emissione della nostra stella sarà circa $0,5 \mu\text{m}$. Ci accorgiamo quindi che la lunghezza d'onda di massima emissione solare è nel VISIBILE e che anche il massimo di sensibilità dei fotorecettori umani, nella retina dell'occhio, è intorno alla medesima lunghezza d'onda di $0,5 \mu\text{m}$. Questo intervallo elettromagnetico è quello della luce visibile. Per individuare quindi a distanza la fiamma di una candela o un incendio boschivo o ancora la temperatura degli oceani dobbiamo utilizzare strumenti appositamente costruiti per misurare emissioni non visibili (telerilevamento all'infrarosso).

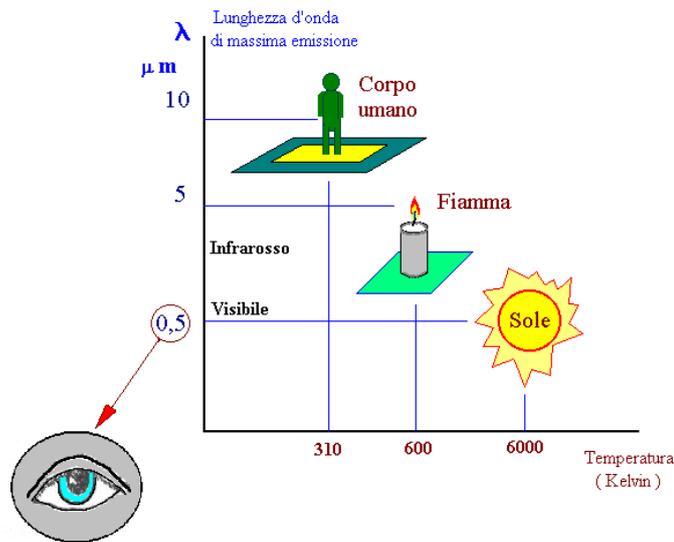


Fig. 2.8 Emissione dei corpi: la vera temperatura

2.2.5 Caratteristiche spettrali degli elementi della superficie terrestre

Dall'osservazione di curve spettrali mostrate misurate in campo con uno spettrometro portatile è possibile evidenziare che la risposta spettrale della vegetazione è distinta da quella della materia inorganica grazie alla improvvisa crescita della riflettività a circa $0,7 \mu\text{m}$ seguita da una graduale diminuzione fino al raggiungimento dell'intervallo a $1,1 \mu\text{m}$. Le curve indicano una crescita graduale della riflettività all'aumentare della lunghezza d'onda per materiali prodotti dall'uomo. Il calcestruzzo, caratterizzato da una colorazione tenue, ha una risposta media più elevata dell'asfalto scuro; gli altri materiali si collocano nel mezzo (la ghiaia è probabilmente più blu come suggerito dalla crescita della riflettanza fra $0,4$ to $0,5 \mu\text{m}$ e dalla risposta piatta nel resto della regione visibile [$0,4 - 0,7 \mu\text{m}$]). Gran parte dei tipi di vegetazione hanno una risposta molto simile fra $0,3$ e $0,5 \mu\text{m}$; mostrano variazioni modeste nell'intervallo $0,5 - 0,6 \mu\text{m}$; e la loro massima variabilità (e quindi la discriminazione ottimale) è fra $0,7$ e $0,9 \mu\text{m}$.

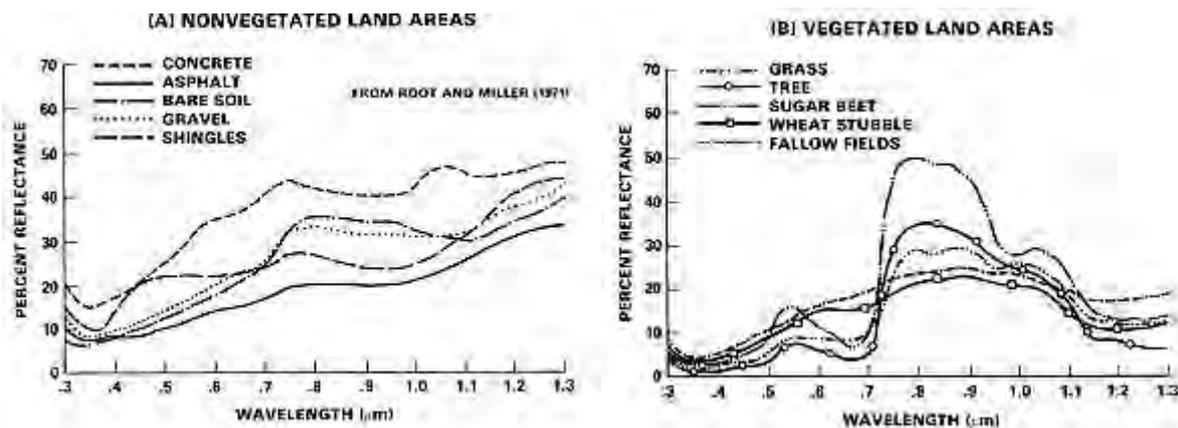


Fig. 2.9 Esempi di firme spettrali

In senso stretto, dunque, le misure spettrali coinvolgono l'interazione fra la radiazione che illumina e la struttura atomica/molecolare di qualsiasi mezzo, determinando un segnale riflesso modificato in seguito all'attraversamento dell'atmosfera e in funzione della natura della risposta del sistema di rivelazione del sensore. Comunque, in pratica, oggetti e proprietà della superficie terrestre sono descritti piuttosto in termini di classi che di materia. Si consideri, per esempio, il calcestruzzo. Lo si può trovare in strade, parcheggi, piscine, edifici e altre strutture, ciascuna delle quali può essere trattata come classe distinta. La vegetazione può essere distinta in: alberi, coltivazioni, prati, alghe lacustri, ecc.; si può ricorrere anche a suddivisioni ulteriori, classificando gli alberi come decidui o sempreverdi, o ancora gli alberi decidui come querce, aceri, pioppi, ecc.

Le varie classi sono distinte attraverso due proprietà aggiuntive agli attributi spettrali, ovvero la forma (caratteristiche geometriche) e l'uso o il contesto (in certi casi la dislocazione geografica). Quindi una struttura di calcestruzzo può far parte della classe delle "strade" e dei "parcheggi" a seconda che sia lineare o più o meno estesa. Due oggetti con caratteristiche spettrali pressoché identiche di vegetazione potrebbero essere assegnate alle classi "foresta" e "area coltivata" in funzione della regolarità dei contorni (rettilinei, spesso con strutture rettangolari o irregolari). Un'applicazione fondamentale del telerilevamento è nella classificazione della miriade di tipologie presenti in una scena (generalmente presentata come immagine) in categorie significative o classi che possono essere convertite in mappa tematica. Obiettivo di un qualsiasi sistema di telerilevamento è semplicemente la rivelazione di segnali di radiazione, la determinazione del loro carattere spettrale, la derivazione di adeguate firme, e la correlazione delle distribuzioni geografiche delle classi che rappresentano. Tutto ciò ha come risultato la visualizzazione di un prodotto interpretabile, che può essere una mappa o un insieme di dati numerici, che rispecchia le caratteristiche di una superficie (o di una proprietà dell'atmosfera) attraverso indicazioni sulla natura e sulla distribuzione degli oggetti presenti nel campo di vista.

Una immagine si dice classificata quando alle diverse componenti della scena sono associati valori numerici ben definiti a cui è assegnata una "label" (etichetta) che identifica una parte definita di territorio rilevato. Va evidenziato che esistono diverse metodologie di classificazione, in particolare esse si distinguono per il supporto dato dal calcolatore nel riconoscimento. Possiamo distinguere la classificazione non assistita dal calcolatore (unsupervised) da quella assistita o guidata (supervised). Il vantaggio di quest'ultima è che può essere effettuata anche da utenti non specializzati nel riconoscimento.

2.2.6 La firma spettrale

Le elaborazioni sopra descritte sono necessarie in tutti quei casi in cui si vogliono confrontare i dati telerilevati con le "firme spettrali" delle superfici, che descrivono come varia la riflettività (rapporto fra l'energia riflessa ed energia incidente) di ciascuna superficie al variare della lunghezza d'onda. Il riferimento alle firme spettrali è comunque utile anche per una analisi qualitativa delle immagini multispettrali, ossia rilevate contemporaneamente su più lunghezze d'onda. Di fatto, il riconoscimento delle superfici, se non può appoggiarsi sulla forma o sulla tessitura (struttura interna dell'immagine in aree discrete) si basa sul colore, ossia sulla quantità di luce assorbita o riflessa dagli oggetti alle diverse lunghezze d'onda. Ad esempio, se noi vediamo un oggetto blu, significa che esso assorbe le componenti verdi e rosse della luce solare e riflette solo quella blu. Un oggetto giallo, al contrario, assorbirà solo la luce blu e rifletterà la luce verde e rossa. Ovviamente, analizzando gli oggetti su di un tratto dello spettro elettromagnetico più ampio di quello del visibile, la possibilità di formare colori diversi sarà più grande e più alte saranno per noi le probabilità di poter riconoscere superfici diverse, che magari appaiono dello stesso colore se viste solo nello spettro visibile. Da qui derivano le grandi possibilità del Telerilevamento multispettrale. Per l'interpretazione delle immagini telerilevate si fa spesso riferimento ad alcune superfici tipo, quali la vegetazione, l'acqua e i suoli, che nelle diverse varietà ovviamente avranno firme

spettrali specifiche. In generale, si può pensare che l'acqua rifletta in parte nel blu e in parte nel verde, assorba moltissimo nel rosso e completamente nell'infrarosso. Vi saranno comunque acque di tipo diverso, mari più blu o più verdi, acque ricche di solidi sospesi che potranno riflettere abbastanza anche nel rosso. I suoli nudi hanno una riflettività che cresce dal visibile verso l'infrarosso vicino, per calare poi verso l'infrarosso medio. In questo andamento sono evidenti due picchi di assorbimento nell'infrarosso vicino dovuti all'acqua. Nei suoli umidi questi picchi saranno più evidenti e tutta la curva che rappresenta la riflettività sarà più bassa. La vegetazione riflette poco nel blu, un po' di più nel verde, assorbe molto nel rosso ed ha un picco di riflettività nell'infrarosso vicino; anche nella sua firma spettrale sono evidenti i picchi di assorbimento dell'acqua, in particolare se la vegetazione è in buona salute.

Come vi sono acque di tipo diverso con specifici comportamenti spettrali, così ogni suolo o ogni pianta ha una firma spettrale propria che può essere determinata e confrontata con archivi costruiti appositamente in modo da procedere poi ad una classificazione automatica delle superfici. È una procedura di grande efficacia in molti campi, come in agricoltura, e potrebbe trovare applicazione anche in questo campo.

2.2.7 Acquisizione delle immagini

In genere i sensori acquisiscono contemporaneamente più immagini, esattamente sovrapponibili l'una con l'altra, ciascuna ottenuta filtrando la luce in una stretta banda dello spettro elettromagnetico, nel visibile, nell'infrarosso vicino e nell'infrarosso termico. Nei sistemi a microonde tutto è più complesso, ma concettualmente non vi sono differenze significative. Ogni immagine è costituita da un insieme di numeri ordinati in righe e colonne, tipo matrice il cui valore è funzione dell'energia riflessa o emessa dai punti osservati in sequenza dal sensore. Data la forte velocità di rotazione della Terra in confronto alla velocità con la quale il satellite si sposta, in genere su orbite quasi polari, è necessario disporre una batteria di sensori che scandagliano la superficie terrestre in strisce parallele. Può accadere che uno o più di essi non siano tarati nel modo giusto e ciò si trasforma in strisce più o meno luminose disposte nel senso della scansione. Questo rumore può essere corretto per mezzo di specifiche elaborazioni, come l'applicazione di filtri numerici. Le immagini digitali possono essere elaborate per estrarne informazioni, ma per visualizzarle è necessario trasformarle in immagini analogiche, che possono apparire a monitor o direttamente su copia cartacea.

2.2.8 La geocodifica

Un'immagine la possiamo considerare come una matrice di punti dove ogni numero della matrice va a costituire un tassello (pixel = picture element) di una intensità di grigio proporzionale al valore numerico da rappresentare e posizionato in modo da rispettare la geometria della zona ripresa. Per effettuare la geocodifica o georeferenziazione è necessario elaborare l'immagine grezza in modo da fare assumere ad alcuni pixel facilmente identificabili le corrispondenti coordinate geografiche dei rispettivi punti a terra. Tutta l'immagine verrà poi deformata in modo da ridistribuire in modo ottimale i pixel presenti fra quelli di coordinate note. Per fare ciò si costruisce una nuova matrice ricampionando la precedente e assegnando a ciascun nuovo pixel il valore del pixel più vicino della matrice originaria (nearest neighbour). Così facendo, non si cambia il valore dei pixel, evitando di creare dei valori nuovi che potrebbero rappresentare superfici diverse. In alcuni casi può però essere necessario attribuire al nuovo pixel un valore che risente di tutti i pixel che lo contornano nella vecchia matrice (interpolazioni). Si possono in questo caso alterare i valori originari di radianza dei pixel creando appunto delle superfici nuove.

Nel telerilevamento, la geocodifica di immagini assume un ruolo fondamentale in tutte le fasi della ricerca, della tutela e del monitoraggio del sito. Costituisce il primo passo per la progettazione e realizzazione di dati complessi di Telerilevamento di cui sono ben note le potenzialità ottenute dall'ottimizzazione e gestione integrata di dati semplici elementari.

2.2.9 Analisi di un sistema di telerilevamento

Precedentemente abbiamo appreso alcuni dei concetti fondamentali richiesti per meglio comprendere i fenomeni fisici che sono alla base del telerilevamento: la sorgente di energia, le interazioni dell'energia con l'atmosfera, le interazioni dell'energia con la superficie. Non abbiamo ancora esaminato una quarta componente, cioè come l'energia viene registrata dal sensore. Per comprendere quest'ultima componente del "sistema telerilevamento" si deve avere una migliore conoscenza delle caratteristiche delle piattaforme per il telerilevamento, dei sensori e dei dati che vi vengono acquisiti.

Di seguito si riporta, fig. 2.10-2.11, in modo schematico la struttura di massima di un singolo satellite.

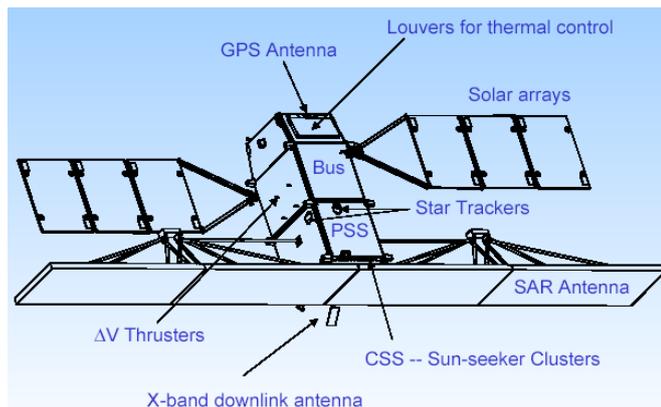


Fig. 2.10 Struttura di un satellite

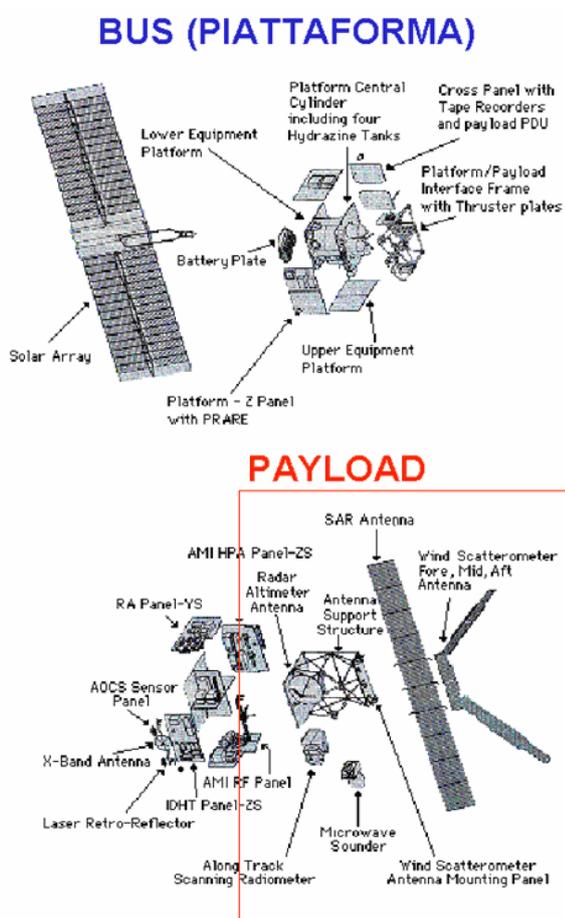


Fig. 2.11 Componenti strutturali di un satellite

Segmento spaziale

Le componenti principali di un sistema satellitare sono:

1. Il Bus: piattaforma
2. Il Payload: comprende tutti i sensori e rappresenta il carico utile del satellite.

2.2.10 Sensori attivi e passivi

La radiazione riflessa viene registrata a distanza da un sensore. In realtà la radiazione effettiva misurata risente anche degli effetti di assorbimento e diffusione cui va soggetto il segnale durante la sua propagazione attraverso l'atmosfera. Più del 50% dello spettro elettromagnetico è inutilizzabile perché la radiazione corrispondente è totalmente bloccata dall'atmosfera.

In definitiva, ciò che viene quindi registrato dal sensore ed espresso con un valore di intensità relativa, non è soltanto la radiazione proveniente dalla superficie, ma anche il risultato di tutti questi processi fisici di interazione con le particelle atmosferiche. Un sensore non è altro che uno strumento capace di acquisire informazioni attraverso la misura e la registrazione di energia elettromagnetica. Perché un sensore possa raccogliere e registrare l'energia riflessa o emessa dalla superficie, deve essere posto su una piattaforma stabile lontana dalla superficie che deve essere osservata. Le piattaforme per sensori remoti possono essere situati sul terreno, su un aereo o su una navicella o un satellite al di fuori dell'atmosfera terrestre. Sensori a terra sono spesso usati per registrare le informazioni della superficie, verità a terra, da confrontare con le informazioni raccolte dai sensori montati su aereo o su satellite. In alcuni casi possono essere usati per meglio caratterizzare il target osservato che è stato visualizzato da questi altri sensori, rendendo possibile una migliore comprensione delle informazioni nelle immagini. I sensori possono essere attivi o passivi: questi ultimi misurano la radiazione naturalmente disponibile (emessa o riflessa dagli oggetti), i sensori attivi generano invece un segnale che "illumina" l'oggetto e ne registrano l'eco di ritorno. I sensori passivi possono solo essere usati per registrare l'energia che è disponibile naturalmente. Per tutte le energie riflesse, questo può avvenire solo quando il sole illumina la Terra, per cui la notte non c'è energia riflessa disponibile. L'energia che viene naturalmente emessa (come quella dell'infrarosso termico) può essere registrata sia di giorno che di notte, purchè la quantità di energia sia tale da essere registrata. I sensori attivi, invece, forniscono la sorgente di energia per l'illuminazione. Il sensore emette la radiazione che è diretta verso l'oggetto che deve essere osservato. La radiazione riflessa dall'oggetto è registrata e misurata dal sensore. I vantaggi dei sensori attivi comprendono la capacità di ottenere misure in ogni momento senza problemi legati al momento del giorno o della stagione. Comunque i sistemi attivi richiedono la generazione di una enorme quantità di energia per illuminare adeguatamente l'oggetto. Un esempio di sensore attivo è il Radar ad Apertura Sintetica (SAR).

Ogni sensore è caratterizzato da quattro proprietà:

- la risoluzione spaziale;
- la risoluzione radiometrica;
- la risoluzione spettrale;
- la risoluzione temporale.

La risoluzione spaziale è l'area minima sul terreno vista dallo strumento da una data altezza ad un dato istante e viene rappresentata dalla dimensione dell'elemento di superficie riconoscibile in una immagine registrata da un sistema di telerilevamento o, ancora, dalla distanza minima entro la quale due oggetti appaiono distinti nell'immagine. La risoluzione radiometrica rappresenta la minima differenza di intensità che un sensore può rilevare tra due valori di energia raggianti. Le caratteristiche radiometriche descrivono il contenuto informativo in un'immagine. Ogni volta che una immagine è acquisita su un film o da un sensore, la sua sensibilità alla grandezza dell'energia elettromagnetica determina la risoluzione radiometrica. Migliore è la risoluzione radiometrica di un sensore, più sensibile è nel registrare piccole differenze nell'energia riflessa o emessa. La risoluzione spettrale è l'ampiezza delle bande spettrali risolte dal sensore cioè il minimo intervallo tra le lunghezze d'onda medie di due bande spettrali che un sensore può separare. Migliore è la risoluzione spettrale, più sottile è l'intervallo di lunghezze d'onda per una particolare banda.

I dati pancromatici relative, ad immagini in bianco e nero, sono ripresi da sensori che operano nel visibile, che hanno una banda abbastanza larga di sensibilità. Tali sensori non sono particolarmente utili nel riconoscimento delle firme spettrali ma lo sono per il riconoscimento dei dettagli presenti nella scena. Integrando tutto lo spettro del visibile hanno un grande contenuto in energia tale da far registrare dallo stesso immagini a risoluzione maggiore le quali a causa delle ridotte dimensioni del pixel emetterebbero una energia troppo piccola per essere acquisita a bordo del satellite che si trova ad una distanza di circa 900 Km. Come detto, la risoluzione spettrale nel pancromatico è piuttosto bassa dal momento che diverse lunghezze d'onda dello spettro del visibile non sono distinte singolarmente, ma viene registrata la riflettanza globale nell'intera porzione del visibile. La risoluzione temporale, infine, rappresenta il tempo di rivisita della stessa scena.

2.2.11 Riprese nell'infrarosso termico

Le immagini riprese nell'infrarosso termico, in genere a lunghezze d'onda comprese fra 9 ed 11 micron, forniscono informazioni relative alla temperatura superficiale degli oggetti. La temperatura dei corpi non è facilmente misurabile a causa della diversa emissività e delle interferenze generate dall'assorbimento e dall'emissione da parte dell'atmosfera. La temperatura raggiunta dagli oggetti illuminati dal Sole è correlabile con alcune proprietà fisiche che ne consentono il riconoscimento. La resistenza che un corpo oppone all'innalzamento della propria temperatura prende il nome di inerzia termica, fra le caratteristiche di un corpo che la influenzano vi è la densità. Anche il grado di coerenza o di fratturazione è determinante poiché le discontinuità non facilitano il trasferimento del calore all'interno del corpo favorendo un forte riscaldamento superficiale, come avviene per la sabbia delle spiagge nei giorni estivi. L'acqua ha una inerzia termica molto bassa e di conseguenza varia poco la propria temperatura nel corso della giornata. Gli oggetti umidi hanno una scarsa inerzia termica anche perché l'acqua evaporando tende a sottrarre calore e a mantenere bassa la temperatura. La stima dell'inerzia termica dei corpi si fa confrontando la loro temperatura in momenti diversi della giornata, in genere dopo il raffreddamento notturno e dopo il riscaldamento diurno.

2.2.12 Il Telerilevamento a microonde

Un sistema che opera nel campo delle microonde mediante RADAR (Radio Detection And Ranging - Rilevamento e misura delle distanze per mezzo di radioelettricità) è costituito da un generatore di energia che viene collegato ad un'antenna in modo da inviare onde elettromagnetiche in una determinata direzione. L'antenna è in grado anche di ricevere l'eco riflessa dalle varie superfici, che viene elaborata in modo da costituire un'immagine digitale analoga a quella prodotta dai sensori passivi. La risoluzione del sistema è direttamente proporzionale alla lunghezza dell'antenna utilizzata. Data l'impossibilità di ospitare su aereo o su satellite antenne di lunghezza opportuna, si elabora il segnale riflesso dagli oggetti per tutto il tempo che sono illuminati dall'antenna durante il suo movimento. Sfruttando l'effetto Doppler, per il quale la lunghezza dell'onda riflessa è maggiore se l'oggetto è in allontanamento e minore se è in avvicinamento, si riesce ad avere una risoluzione "sintetica" analoga a quella di un'antenna che ha le estremità nei punti di inizio e di fine osservazione degli oggetti questi sistemi sono detti tipo SAR (Synthetic Aperture Radar).

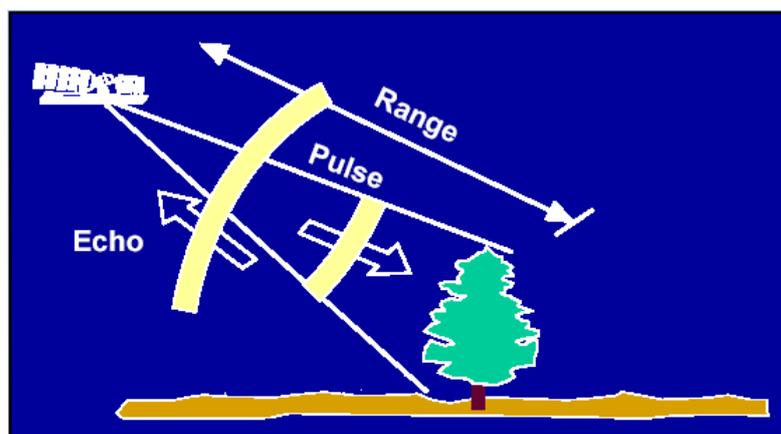


Fig. 2.12 Schema di funzionamento dei sensori a microonde

I vantaggi dei sistemi radar consistono nel fatto che le microonde, attraversando indisturbate l'atmosfera, consentono di operare anche in presenza di nebbia o nuvole. Inoltre, onde di lunghezza centimetrica e decimetrica riescono a superare ostacoli di dimensioni analoghe, quali la vegetazione erbacea ed arbustiva e le foglie degli alberi. È così possibile penetrare attraverso la vegetazione per osservare il suolo sottostante. Una discreta penetrazione è possibile anche attraverso il ghiaccio e la sabbia. Recenti successi di queste metodologie hanno consentito l'identificazione, ad esempio, di reticoli idrografici al di sotto delle sabbie sahariane. Viene così evidenziata una topografia sub-superficiale fatta di valli e rilievi incisi dal reticolo idrografico e da riferire ad una precedente fase pluviale (MCCAULEY et al. 1982).

I sistemi Radar hanno un'antenna che illumina lateralmente alla traccia di volo in modo da poter separare, in base al tempo di ritorno, gli oggetti presenti a diverse distanze. Ciò determina anche il fatto che gli ostacoli, come le montagne, producono un'ombra nera che copre parte delle scene. È quindi necessario effettuare riprese

separate su entrambi i versanti dei rilievi. Vi sono anche deformazioni dovute alla geometria della ripresa che non sono facilmente correggibili. Inoltre tutte le immagini radar sono affette da un disturbo (speckle), dovuto all'interferenza del segnale riflesso da più diffusori, che produce un effetto "sale e pepe", rendendo difficile identificazione dei particolari più minuti. Per ridurre questo effetto si applicano specifici filtri comunque classificabili come "passa basso". Le immagini da satellite rilevate nelle microonde hanno una risoluzione che raggiunge i 10 metri. I sistemi montati su aereo consentono di raggiungere risoluzioni assai più elevate.

2.2.13 Sistemi RADAR ad apertura sintetica

I sistemi di Telerilevamento Radar da satellite costituiscono uno strumento potenzialmente molto interessante per la ricerca. Essi conservano tuttavia dei limiti ed il loro utilizzo operativo sarà ancora per qualche anno circoscritto a pochi casi esemplari. Il maggiore limite di questi sistemi, oltre alla risoluzione spaziale e radiometrica, è rappresentato dalla indisponibilità di un numero adeguato di canali spettrali. I sistemi radar possono essere installati sia su piattaforme aeree (airborne) che su satelliti (spaceborne). I radar a bordo dei satelliti quali ERS, JERS e Radarsat operano tutti ad una sola frequenza, il che equivale a valutare i dati Landsat TM considerando un solo canale. Il principio di funzionamento si basa sul fenomeno dell'interferenza, per mezzo del quale, i sistemi di telerilevamento più moderni realizzano schiere sintetiche di antenne da qui il nome SAR (Synthetic Apertur Radar). Il satellite, nel suo moto in orbita, illumina una fascia della terra. Lungo la sua orbita la risoluzione dell'antenna non è tale da permettere una grande precisione dei dettagli. E' possibile raccogliere gli echi (onde di ritorno nella direzione del satellite) da più segnali successivi e memorizzarli in un apposito calcolatore. Sfruttando il fatto che noi abbiamo memorizzato la fase del segnale, possiamo ricostruire con l'ausilio del calcolatore il segnale ottenendo quello che sarebbe stato il segnale se al posto di un'antenna di pochi metri avremmo avuto un'antenna di qualche chilometro, ottenendo una risoluzione angolare estremamente più spinta.

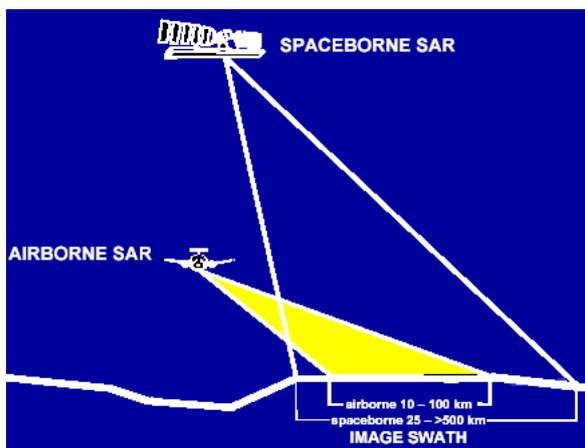


Fig. 2.13 Piattaforme per satelliti

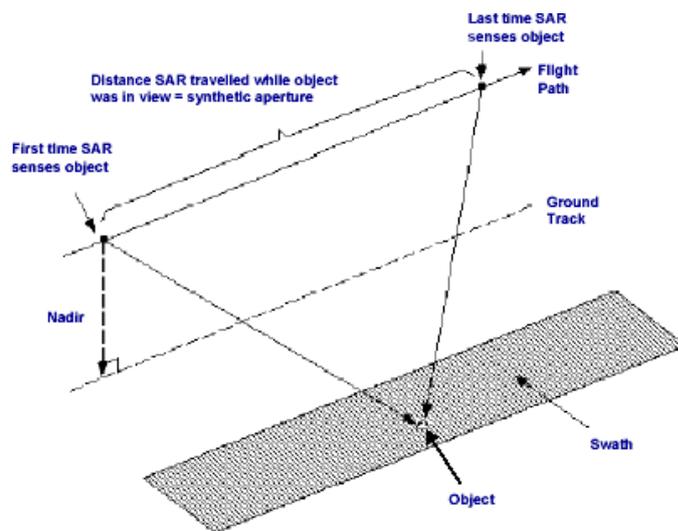


Fig. 2.14 SAR: Apertura sintetica

Un applicazione estremamente interessante riguarda le tecniche interferometriche che permettono di misurare le quote del terreno con accuratezza dell'ordine del centimetro mediante acquisizioni multiple. Con tali sistemi RADAR, godendo della possibilità di memorizzare la fase delle onde emesse e riflesse, possiamo ottenere fenomeni uguali a quelli che nella fisica ottica si chiamano "anelli di Newton". Tale fenomeno è stato sfruttato per la misura di piccoli spessori o piccoli spostamenti, sfruttando il fatto che le onde riflesse dalla superficie hanno differenza di fase che dipende dalla differenza di cammino percorso. Tale misura ha ordine di grandezza confrontabile con la lunghezza d'onda utilizzata.

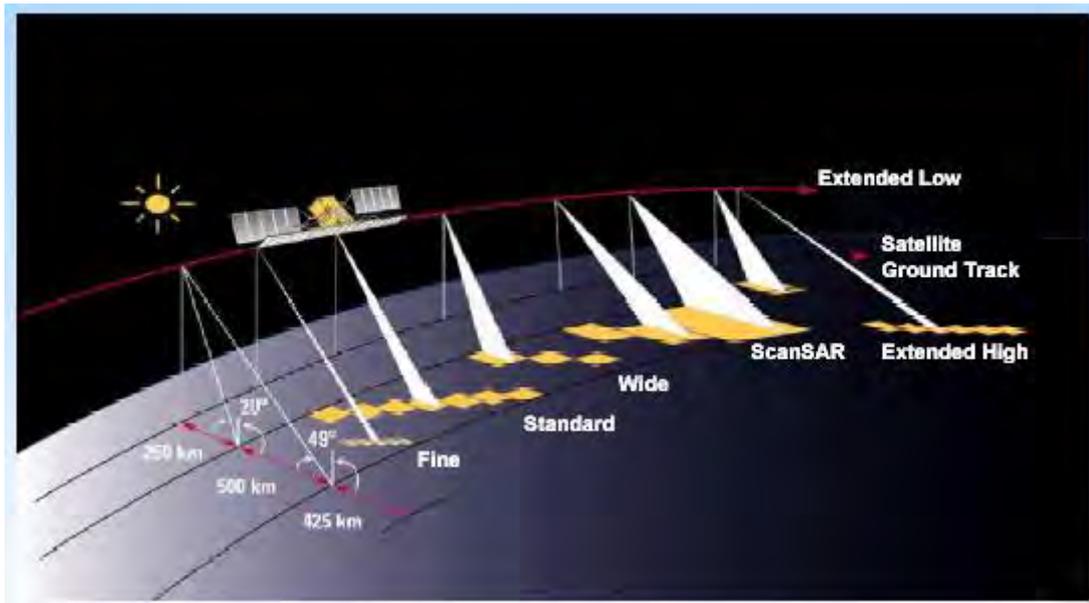


Fig. 2.15 Tipologie di illuminazione della scena

Nei sistemi SAR due passaggi dello stesso satellite emettono, raccolgono e confrontano onde sulla stessa superficie del terreno da punti di vista diversi, registrando fasi diverse in funzione del diverso cammino percorso dalle onde, si possono costruire delle frange di interferenza in maniera sintetica utili per la ricostruzione della struttura topografica della superficie terrestre.

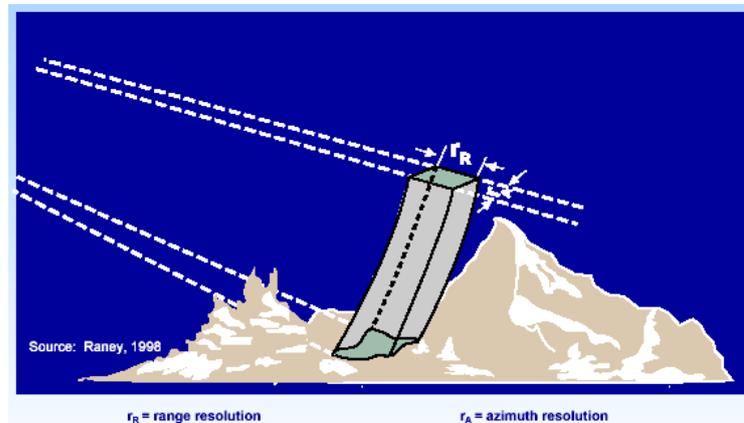


Fig. 2.16 Caratteristiche della risoluzione di un sistema SAR

Oltre a fornire accuratissimi modelli digitali di elevazione del terreno, permette di tenere sotto controllo i minimi movimenti tettonici della crosta ed altri movimenti determinati da fenomeni di bradisismo o subsidenza. Nel 1981, SIR-A, produce scene di 50 km larghezza con risoluzione spaziale di 40 m e angolo incidente di 47 gradi; l'utilità dei dati è rivolta prevalentemente al riconoscimento geolitologico e all'analisi strutturale. Nel 1984, SIR-B, osserva nel corso di un'altra missione varie zone della Terra.

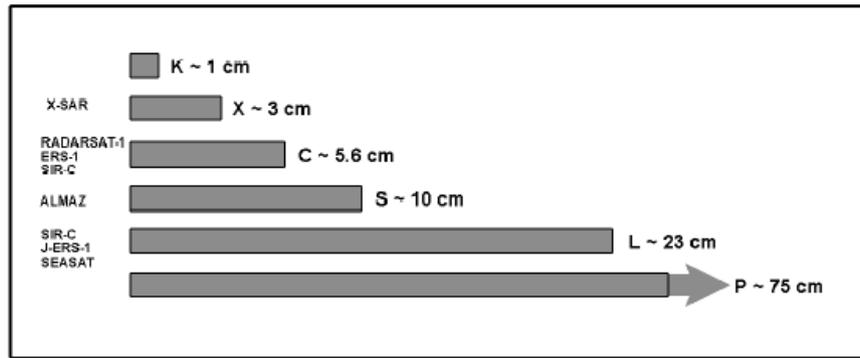


Fig. 2.17

La differenza più rilevante con il sensore precedente è la possibilità di variare l'angolo di vista tra 15 e 60 gradi consentendo di ottenere immagini stereoscopiche di grande interesse per indagini strutturali e morfologiche. Nell'aprile e ottobre del 1994 fu infine messo in orbita un sistema più versatile, il SIR-C, caratterizzato da un radar multibanda, L, C, e X; le prime due hanno quattro diverse polarizzazioni. Combinando le bande con le possibili polarizzazioni si possono creare svariati colour composite.

Le immagini radar SIR-C, riprese in due differenti date (o con due antenne), possono essere processate utilizzando tecniche interferometriche. Associate con un modello digitale del terreno (DEM) le immagini radar a singola banda o i colour composite possono essere mostrate in vista prospettica e utilizzate anche nei simulazione di volo.

Sempre con i segnali a microonde sfruttando le diverse risposte spettrali di onde superficiali sul mare si possono verificare le diverse condizioni di riflettività delle microonde per verificare le onde superficiali del mare utilizzando gli scatterometri.

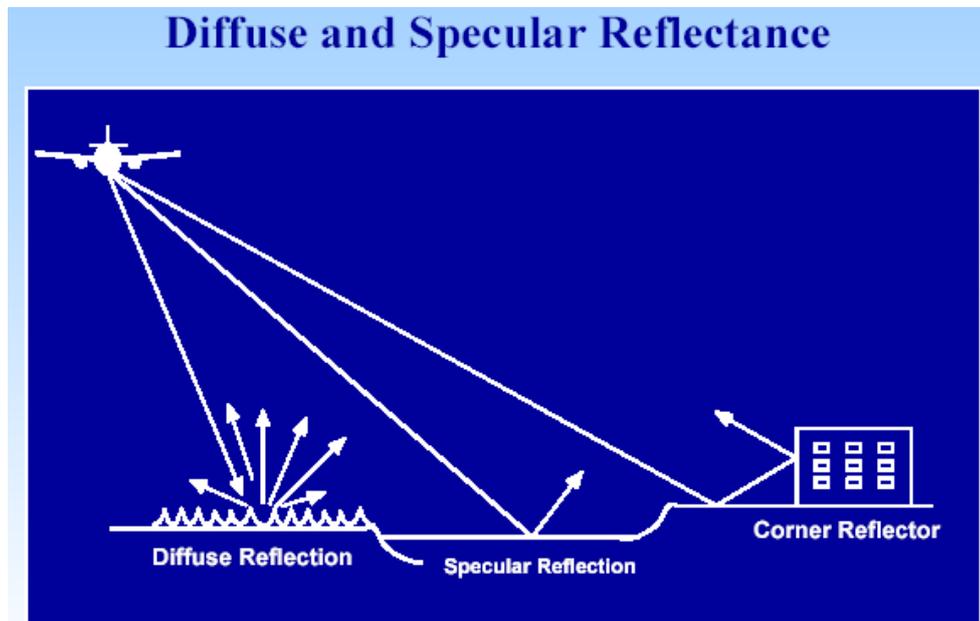


Fig. 2.18 Tipologie di riflessione dei segnali emessi

Si riporta a titolo di esempio una suggestiva immagine (Fig. 2.19) del cratere del Vesuvio (Napoli) ripresa da un satellite che utilizza sensori tipo SAR. I colori presenti nella scena sono dovuti all'accoppiamento dell'immagine radar con dati multispettrali.

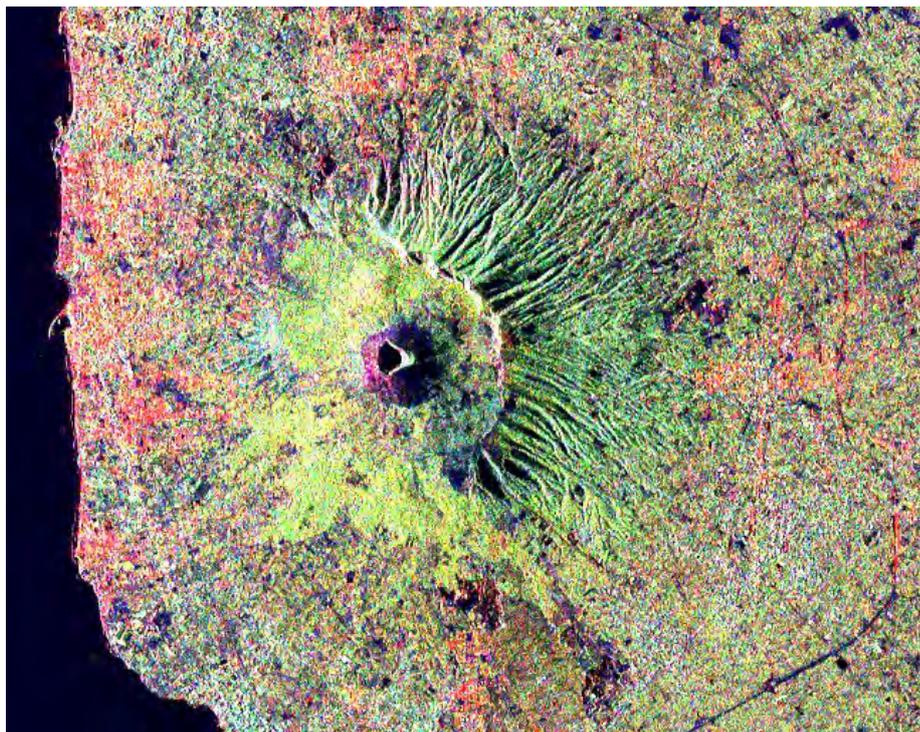


Fig. 2.19 Vesuvio:immagine SAR sovrapposta a dati mltsipettrali

Si riporta una tabella con gli studi effettuabili sul tessuto urbano e la precisione messa a disposizione dalle varie tecnologie esistenti.

Feature	Horiz. Res. (m)	Precision / Accuracy (w/ units)	Instruments and Techniques
Building Shapes			
Height	1 - 10	<1 - 3 m	XTI InSAR (X or C band), > 40-80 MHz
Area	1 - 10	10 sq m	InSAR (X or C band), optical
Volume	1 - 10	30 cu m	InSAR
Base topography	50 - 500	1 - 5 m	Dual frequency InSAR (X/C, L- and P-band)
Classification			
Regional Usage	100 - 1000	5-10 classes, 95%	InSAR, PolSAR, optical
Regional structures	50 - 500	10-15 classes, 80%	InSAR, PolSAR, optical
Individual structures	5 - 50	>20 classes, 75%	InSAR, optical
Change Detection			
Construction and demolition	1 - 50	1 - 5 m	Difference InSAR, optical images
Ground deformation	10 - 1000	0.1 - 5 cm	L band, short baseline repeat-pass interferometry (RPI)
Erosion	50 - 500	1 - 50 cm	L band, short baseline RPI
Post-disaster	10 - 500	10 classes, 95%	Difference InSAR, L-band RPI
Surface Materials			
Physical	1 - 5	5-10 classes, 70%	Multi-frequency SAR, PolSAR, optical/IR
Chemical/Spectral	1 - 5	5-10 classes, 70%	Multispectral optical/IR

Fig. 2.20

Una applicazione di notevole interesse è la misura della subsidenza mediante interferometria sar differenziale. I due esempi di studio riportati di seguito mostrano il monitoraggio della subsidenza in California e nell'area

Flerea del territorio napoletano (*Consiglio Nazionale delle Ricerche Istituto di Ricerca per l'Elettromagnetismo e i Componenti Elettronici*). Nel primo caso la figura mostra i dati rilevati tra l'ottobre '93 e l'ottobre '95.

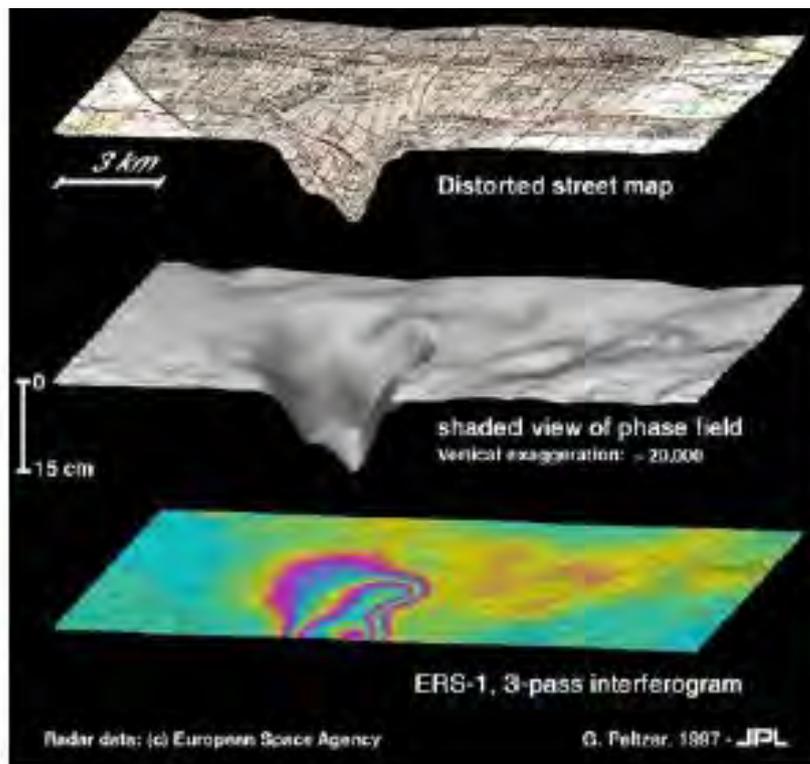


Fig. 2.21 Applicazione di interferometria SAR per il monitoraggio della subsidenza dell'area Flegrea (Napoli)

I risultati ottenuti presso l'Istituto di Ricerca per l'Elettromagnetismo e i Componenti Elettronici (IRECE) applicando tecniche di interferometria SAR differenziale ai dati acquisiti dal sensore europeo satellitare ERS-2 e relativi all'area dei Campi Flegrei. Gli esperimenti dimostrano che, rispetto al quinquennio precedente, la deformazione dei Campi Flegrei a partire dalla fine 1999/inizio 2000 ha invertito il suo segno passando da subsidenza a inflazione. Tale inflazione è chiaramente visibile sia negli interferogrammi ottenuti da orbite ascendenti che discendenti ed i risultati sono in accordo con le misure GPS effettuate dall'Osservatorio Vesuviano. Gli esperimenti prodotti dimostrano inoltre la presenza di una componente orizzontale della deformazione in aggiunta a quella verticale giustificando le differenze di forma del pattern di deformazione misurato dalle orbite discendenti e ascendenti. Nell'ambito di tali attività è stato anche realizzato con successo un esperimento di generazione di mappe di deformazione in quasi "real time"; tali mappe sono state calcolate a partire dai dati acquisiti il 20 luglio 2000 dalla stazione di terra dell'ASI, a Matera e trasmessi a Napoli sfruttando il nodo ad alta velocità del Centro di Servizi Didattico Scientifico dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II". In corrispondenza di tale acquisizione è stato inoltre effettuato il posizionamento da parte dello staff dell'Osservatorio Vesuviano di bersagli di riferimento nella zona flegrea che risultano chiaramente visibili nella immagine elaborata. Tali risultati confermano l'efficacia delle tecniche SAR differenziali per il monitoraggio delle deformazioni della superficie terrestre; viene mostrata inoltre la fattibilità di rilevamenti in tempo reale delle deformazioni in concomitanza con le acquisizioni dei sistemi satellitari.

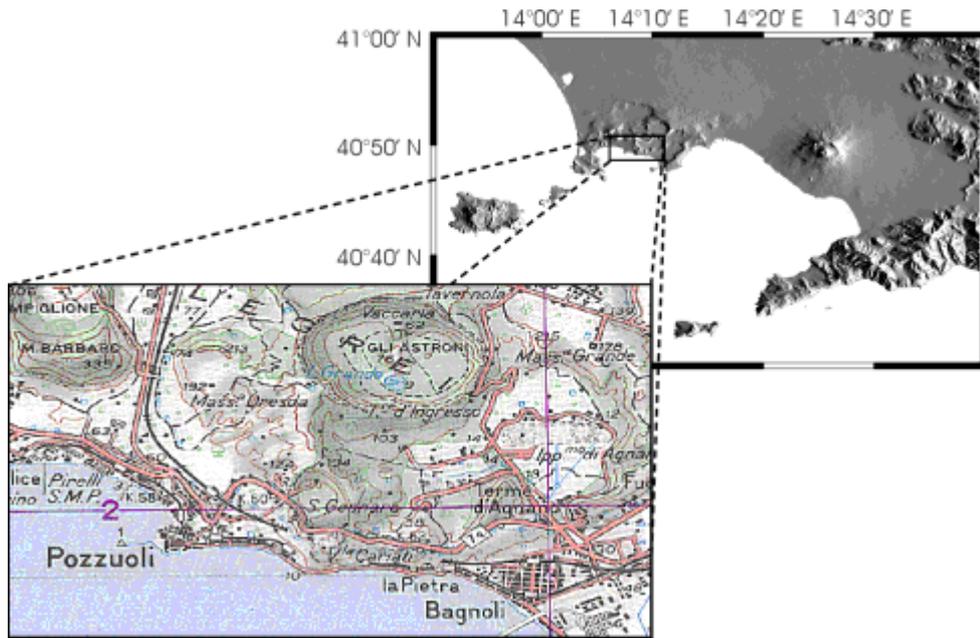


Fig. 2.22 Individuazione dell'area Flegrea

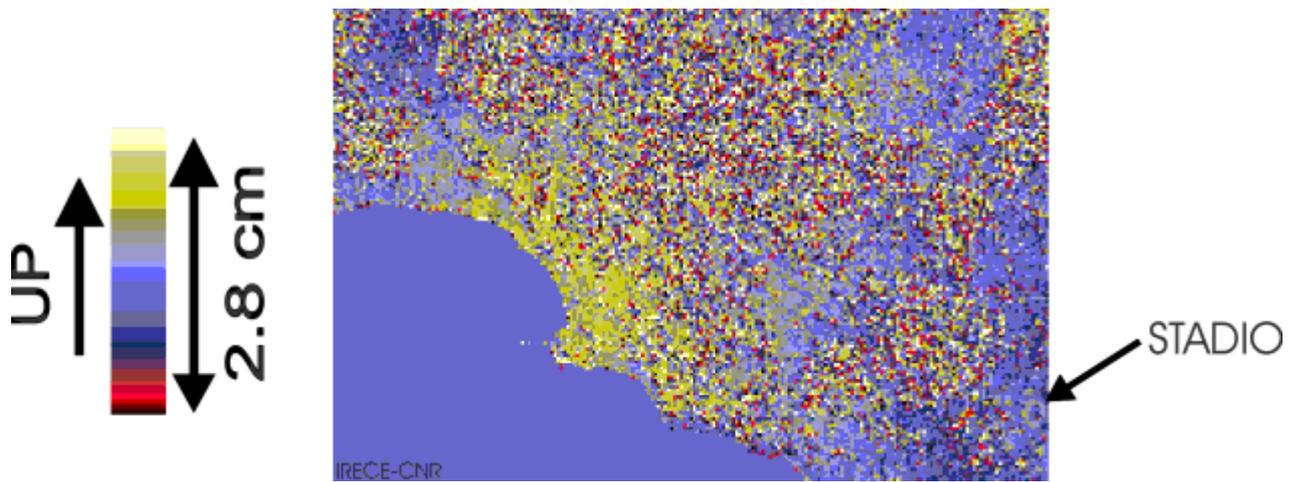


Fig.2.23 Interferogramma 20/10/99-17/5/00.
La massima deformazione è pari a c.a 1 cm.

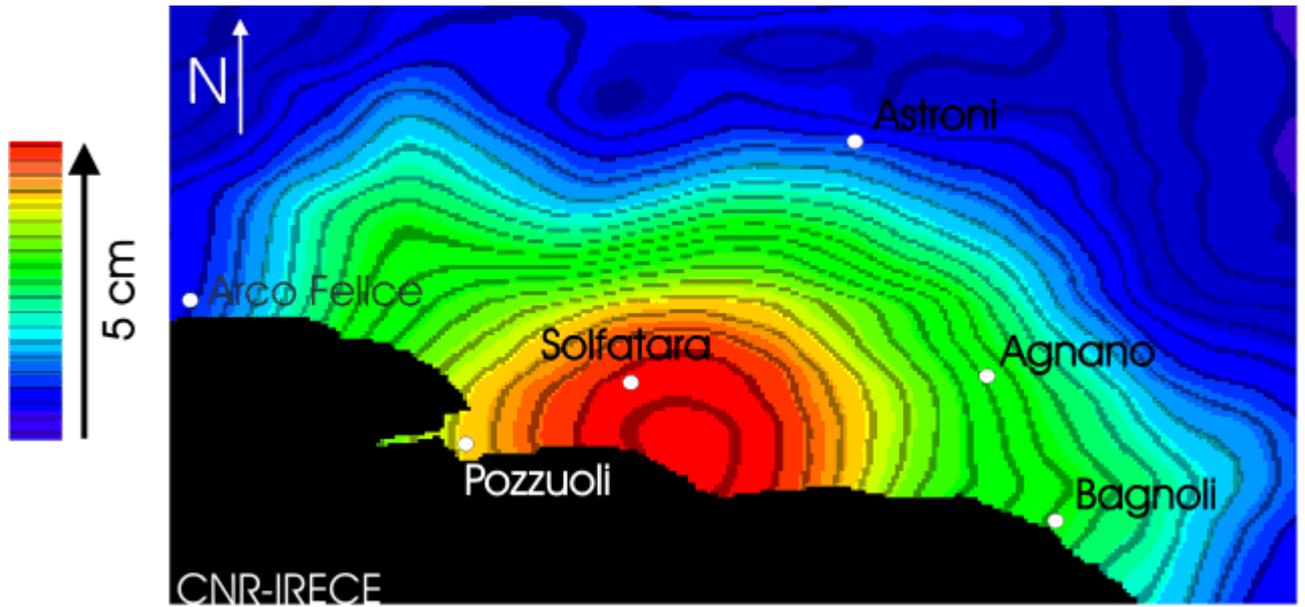


Fig. 2.24 Mappa di deformazione calcolata dall'interferogramma 02mar00-20lug00.

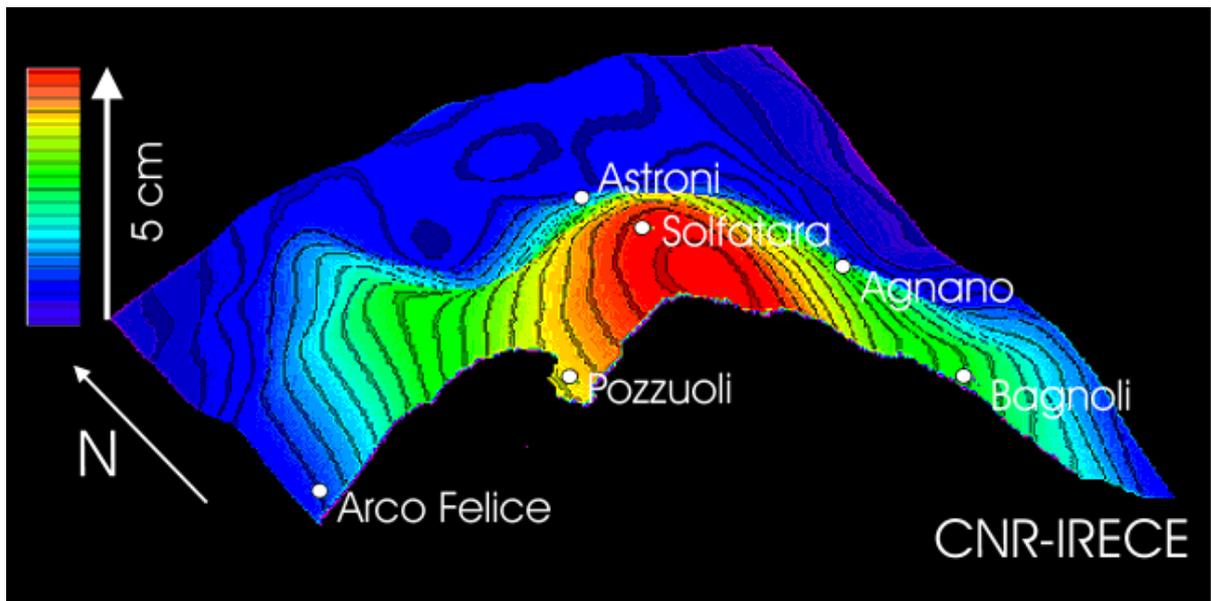


Fig. 2.25 Rappresentazione tridimensionale della mappa di deformazione

2.2.14 Le Orbite

L'orbita selezionata dipende sia dall'applicazione richiesta che da speculazioni tecnologiche. I requisiti della missione che determinano la selezione dell'orbita sono il tempo di rivisita e la distanza terra-satellite. Normalmente per missioni ad alta risoluzione l'orbita preferenziale è la Low Earth Orbit (LEO) con una altezza nominale tra 300 km e 1000 km. La selezione di questi parametri rappresenta sempre un compromesso tra la necessità di vedere la Terra da vicino e la durata della missione, poiché un'orbita troppo bassa produce effetti indesiderati come il trascinamento atmosferico e maggiori perturbazioni gravitazionali al satellite.

Un altro parametro rilevante per la caratterizzazione dell'orbita è l'inclinazione dell'orbita sul piano dell'eclittica. Orbite con grande inclinazione (come le Orbite Polari) privilegiano la copertura totale della Terra, con una piccolissima perdita di dati sui Poli, mentre piccole inclinazioni sono preferite nel caso di studi specifici (per esempio sulla fascia equatoriale). L'orbita Geostazionaria è un'ottima soluzione quando occorre un'acquisizione del sensore ogni 24 ore. Il vantaggio principale di questa orbita è che il satellite vede un'area fissa della Terra e può acquisire e trasmettere in tempo reale i dati del carico. Lo svantaggio principale di questa orbita è la distanza dalla Terra, 36.000 km, che rappresenta una sfida per la risoluzione del sensore e richiede lanci più complessi con costi addizionali per la missione. Attualmente l'orbita geostazionaria è usata per le missioni meteorologiche come METEOSAT e Eumetsat una missione per la difesa.

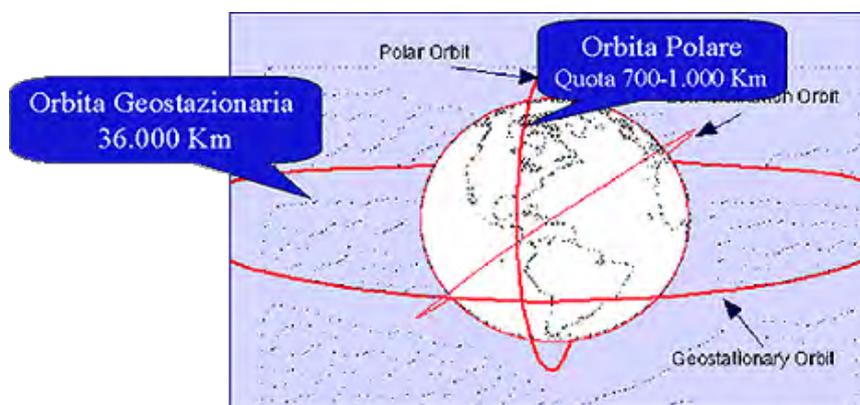


Fig. 2.26 Tipologie di orbite satellitari

2.2.15 Copertura del territorio

Uno dei problemi fondamentali del telerilevamento è la copertura del territorio, infatti, i sistemi di telerilevamento essendo a bordo di satelliti che si muovono secondo le orbite sopra descritte non riescono a coprire il 100% della superficie terrestre. Inoltre, l'altro aspetto saliente è il "tempo di rivisita" ovvero l'intervallo di tempo che bisogna attendere affinché il satellite ritorni nuovamente su una stessa porzione di superficie. Di seguito si riporta una immagine esplicativa della superficie coperta RADARSAT-1 con un tempo di rivisita di ventiquattro ore.

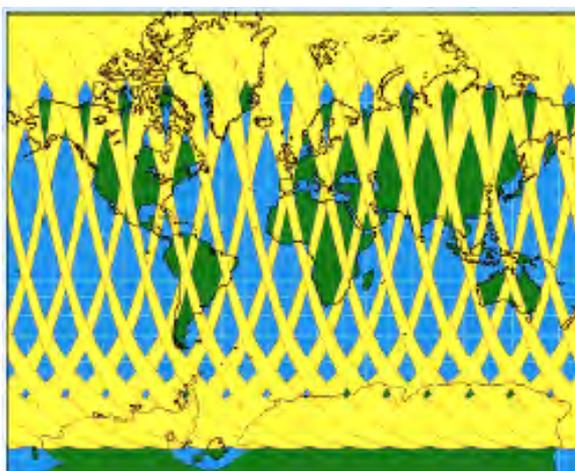


Fig. 2.27 RADARSAT-1: Copertura del territorio

2.2.16 Segmento terrestre

I dati ottenuti dalle missioni spaziali devono essere trasmessi alla Terra dal momento che il satellite continua a stare in orbita e ad acquisire dati. Ci sono fondamentalmente tre maniere per trasmettere i dati acquisiti dal satellite a terra. I dati possono essere trasmessi direttamente alla Terra se esiste una stazione ricevente (Ground Receiving Station - GRS) nella direzione di vista del satellite. Se ciò non è possibile, i dati possono essere registrati a bordo del satellite e trasmessi al GRS in un momento successivo. I dati possono essere anche trasmessi al GRS attraverso i Tracking and Data Relay Satellite System (TDRSS) che consistono di una serie di satelliti per le telecomunicazioni in orbita geosincrona. I dati sono trasmessi da un satellite ad un altro fino a che non raggiungono il giusto GRS.

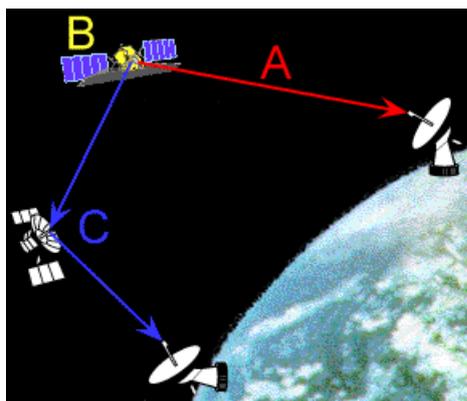


Fig. 2.28 Trasmissione a terra dei dati

I dati sono ricevuti dalla stazione ricevente in formato digitale grezzo, non elaborato. Su richiesta, possono essere poi processati per correggere tutte le distorsioni sistematiche, geometriche ed atmosferiche e convertiti in un formato standard. I dati sono poi registrati su diversi media come nastri, dischi o CD Rom. Tipicamente i dati sono archiviati nelle stazioni di ricezione e processamento e gli archivi completi di dati sono gestiti dalle agenzie governative, ma anche dalle compagnie commerciali responsabili degli archivi dei diversi sensori. Immagini "quick-look"⁴ a bassa risoluzione sono usate per visionare le immagini archiviate prima che vengano acquistate. La qualità spaziale e radiometrica⁵ di questi tipi di dati è degradata, ma risultano comunque molto utili per verificare se la qualità dell'immagine e la eventuale copertura nuvolosa è appropriata ai fini della applicazione.



Fig. 2.29 Processo di distribuzione dei dati

⁴ - Quick look

" Stampa di piccole dimensioni, di tutta o di parte di una scena, che permette la rapida visualizzazione delle informazioni contenute nella ripresa. Tali provini hanno la funzione di valutare i fattori di significatività della registrazione di una scena quali la copertura nuvolosa, la qualità del contrasto, la quantità di informazione radiometrica ecc. Costituisce in definitiva una prima valutazione della ripresa, in particolare per quanto riguarda la copertura nuvolosa per le riprese ottiche, e dello stato dei sensori."

⁵ - Radiometric resolving limit

" La minima differenza d'intensità che un sensore può rilevare tra due valori di energia raggiante."

2.3 Principali missioni

Le missioni di Osservazione della Terra vengono classificate in: scientifiche, operative e commerciali. Le missioni scientifiche sono dedicate allo studio e alla ricerca sull'ambiente e sul clima, quelle operative sono missioni gestite da autorità Governative, spesso multinazionali, dedicate ad applicazioni operative del telerilevamento, le missioni commerciali sono quelle che hanno come obiettivo il ritorno di parte dei costi di sviluppo dalla vendita dei dati.

Il primo satellite costruito specificatamente per il telerilevamento multispettrale fece il suo ingresso e segnò il lancio dell' Earth Resources Technology Satellite (ERTS-1) il 23 Luglio del 1972, da allora sono stati lanciati molti altri satelliti e di seguito si riporta un elenco esaustivo dei satelliti in orbita con le relative caratteristiche tecniche di massima. Il Landsat⁶, così come fu rinominato, ha permesso sin d'allora di coprire continuamente la maggior parte della superficie terrestre e tuttora lo rende possibile con il Landsat 5.

I primi due Landsat erano dotati di due sensori a bordo: l'RBV (Return Beam Vidicon) caratterizzato da tre macchine da ripresa (TV-like) che utilizzavano particolari filtri che centrassero le bande multispettrali nel verde-blu, giallo-rosso e rosso-infrarosso. Questo sensore terminò il suo funzionamento già sul primo ERTS a non entrò mai tra gli utilizzi più comuni (sul Landsat-3 l'RBV possedeva 4 macchine da ripresa con un sensore pancromatico [0,505-0,750 μm] che forniva quattro immagini contigue a 30 m di risoluzione).

Di seguito si riporta una scena dell'RBV che mostra Cape Canaveral, il luogo in cui sono state lanciate lo Space Shuttle e altre importanti missioni come l'Apollo.

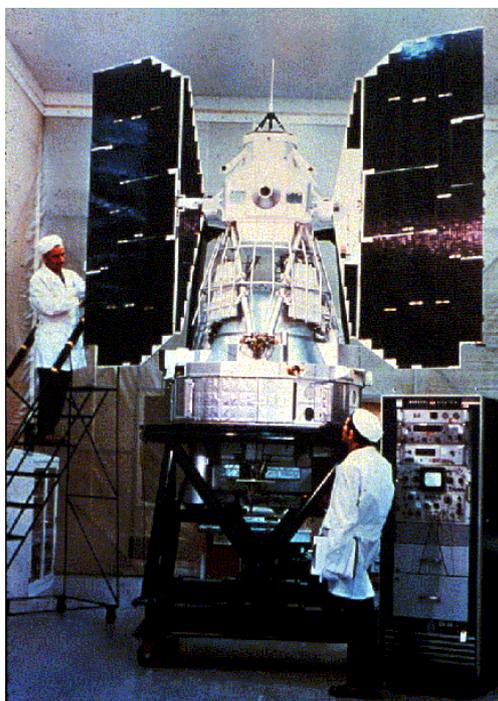


Fig. 2.30 ERTS-1



Fig. 2.31 Cape Canaveral

Il secondo strumento a bordo è l' MSS⁷ (Multi Spectral Scanner) operativo su tutte i satelliti Landsat. Nella figura che segue si riporta un modello semplificato di questo sensore ottico-meccanico.

⁶ - Landsat

"Abbreviazione di Land Satellite. Questo termine indica sia un programma della NASA per lo studio delle risorse terrestri mediante l'uso di satelliti artificiali, sia una serie di satelliti, 5 al 1986, dedicati a questo programma. I primi tre utilizzavano la stessa piattaforma e lo stesso carico utile costituito dai sistemi MSS - Multispectral Scanner System - e RBV - Return Beam Vidicon. Il Landsat 5 è tuttora operativo. Gli ultimi due satelliti, Landsat 4 e 5, rappresentano una evoluzione della piattaforma e del carico utile che è costituito dal sistema MSS come nei precedenti e dal TM - Thematic Mapper."

⁷ - Multispectral scanner system / MSS

"Sigla che identifica il particolare sistema di ripresa utilizzato a bordo dei satelliti Landsat e caratterizzato da 4 bande spettrali."

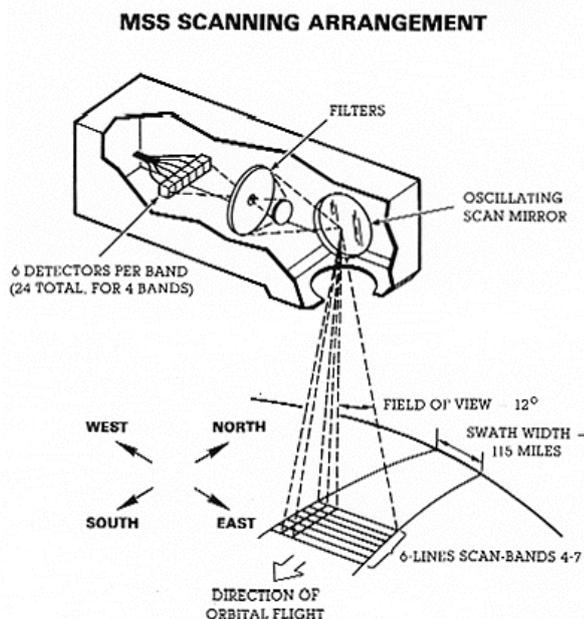


Fig. 2.32 sistema di scansione della superficie

L'altezza orbitale del Landsat è di 917 Km. La luce viene ricevuta attraverso un telescopio puntato al suolo (non mostrato in figura). Lo specchio di scansione oscilla in maniera tale da ottenere un'ampiezza di ripresa (Angular Field of View or AFOV) lungo la traccia orbitale di 185 Km. La luce riflessa a seguito di questa scansione attraversa poi un percorso ottico durante il quale viene ripartito mediante 4 filtri in 4 corrispondenti bande: $0.5-0.6 \mu\text{m}$ (verde), $0.6-0.7 \mu\text{m}$ (rosso), $0.7-0.8 \mu\text{m}$ (infrarosso), e $0.8-1.1 \mu\text{m}$ (vicino infrarosso). Attraversando ogni filtro la luce raggiunge un set di 6 rivelatori⁸ (in tutto sono 24) che suddividono la traccia di scansione in 6 righe parallele ognuna equivalente ad una larghezza al suolo di 79 m. L'MSS è capace di simulare firme spettrali⁹ abbastanza grezze. Le bande 4, 5, e 6 hanno un intervallo di $0,1 \text{ mm}$; la 7 invece di $0,3 \text{ mm}$. Le risposte per ciascuna banda¹⁰ possono essere rappresentate in un diagramma a barre in cui l'altezza delle barre rappresenta la media di riflettanza¹¹ relativa a tutte le lunghezze d'onda nell'intervallo di banda.

2.3.1 Landsat: Il Thematic Mapper (TM)

Un sensore multispettrale più sofisticato chiamato Thematic Mapper¹², è stato aggiunto al Landsat 4 (1982), 5 (1984), e 6 (l'missione fallita per non aver raggiunto l'orbita durante il lancio), mentre l'ultima missione, Landsat

⁸ - Detector

"Quella parte del sensore capace di trasformare la radiazione elettromagnetica incidente in un segnale elettrico corrispondente. I rivelatori termici o termorivelatori sono detectors sensibili alle variazioni di temperatura, mentre i rivelatori quantici o fotorivelatori sono detectors sensibili alle variazioni del flusso di fotoni. In fotografia il rivelatore è costituito dagli elementi fotosensibili dell'emulsione."

⁹ - Spectral signature

"Insieme di misurazioni quantitative, in una o più bande spettrali, necessarie e sufficienti a identificare una superficie o un oggetto. Tra le più comuni caratteristiche misurate per determinare la firma spettrale dei soggetti presenti nella scena sono l'emissione, la riflessione e la polarizzazione."

¹⁰ - Band

"Intervallo di lunghezza d'onda e di frequenza delle radiazioni elettromagnetiche definito da un valore inferiore e da uno superiore. In genere le radiazioni contenute in una banda hanno o producono effetti tipici di quelle lunghezze d'onda."

¹¹ - Reflectance factor

"Misura della capacità di una superficie di riflettere l'energia incidente: cioè rapporto tra energia riflessa e energia incidente. Si parla di fattore di riflessione spettrale quando ci si riferisce a un determinato intervallo di lunghezza d'onda dell'energia incidente."

¹² - Thematic map

"Mappa che rappresenta su una carta di base, qualitativamente o quantitativamente fenomeni specifici che costituiscono il tema di una determinata indagine. Nell'uso convenzionale questo termine esclude le carte topografiche e geografiche."

7, iniziata il 15 aprile 1999, monta il sensore ETM+ (Enhanced Thematic Mapper), un radiometro multispettrale a otto bande. Questi si trovano su di una piattaforma a tecnologia più avanzata. Sebbene simile in modalità operative al MSS¹³ (che è stato montato anche nella navicella 4 e 5, per una certa continuità), il TM possiede 7 bande con le seguenti caratteristiche :

Banda No.	Intervallo di lunghezza d'onda (µm)	Risposta Spettrale	Risoluzione (m)
1	0.45 - 0.52	Blu-Verde	30
2	0.52 - 0.60	Verde	30
3	0.63 - 0.69	Rosso	30
4	0.76 - 0.90	Vicino Infrarosso	30
5	1.55 - 1.75	Medio-Infrarosso	30
6	10.40 - 12.50	Infrarosso Termico	120
7	2.08 - 2.35	Medio-Infrarosso	30

Fig. 2.33 bande del Enhanced Thematic Mapper

Le sei bande di riflettività ottengono la loro risoluzione ad un'orbita nominale di 705 Km.

La banda 1 ha capacità superiori rispetto alla banda 4 dell'MSS nell'identificare alcune caratteristiche dell'acqua; inoltre essa permette di mettere assieme color composite quasi naturali. La banda 5 è sensibile alle variazioni nel contenuto d'acqua, sia per le vegetazioni frondose sia per i suoli umidi; essa inoltre permette di distinguere le nuvole che appaiono scure dalla più luminosa neve. Questa banda risponde anche alle variazioni di contenuto di ossidi di ferro (Fe₂O₃) in rocce e suoli presentando un aumento di riflettività¹⁴ corrispondente all'aumento di questa sostanza. La banda 7 reagisce invece al contenuto in umidità ed è particolarmente indicata per l'individuazione della presenza di minerali idrati (come l'argilla o alcuni prodotti di alterazione) nelle rocce nell'ambito di indagini geologiche. La banda 6 permette di distinguere differenze di temperatura di circa 0.6 ° C ed è utile nel discriminare quei tipi di rocce le cui proprietà termiche permettono scambi di calore con conseguente differenza nelle temperature di superficie; questa banda può addirittura individuare temperature al suolo legate a variazioni nell'umidità e distinguere la vegetazione per il suo raffreddamento dovuto all'evaporazione.

La risoluzione spaziale elevata ottenibile con le bande riflettenti è un aiuto notevole nell'individuare elementi e classi le cui minime dimensioni si mantengono nell'ordine dei 30 m. In questa maniera, case e piccoli edifici che non potevano essere visibili con l'MSS si possono spesso ben distinguere.

Forma e dimensioni delle immagini TM da Landsat 4 e 5 sono identiche alle immagini MSS. Ad un primo sguardo, la qualità e le caratteristiche della scena intera TM dal 4 e 5 sembrano simili a quelle ottenute dall' MSS dopo un'accurata elaborazione al computer, ma in una più attenta analisi le immagini TM appaiono più dettagliate. Questa somiglianza apparente è legata alla necessità di ricampionare le immagini TM per monitor TV (non in grado di riprodurre tutti i pixels del TM) eliminando alcuni pixels¹⁵. L'influenza della miglior risoluzione con il TM (quando non ricampionata) diventa apparente quando le immagini vengono ingrandite o le parti di interesse scene vengono estratte e allargate.

Nella pagina che segue vi sono due esempi di immagini TM. La prima, in falsi colori (bande 2,3,5 in blu verde e rosso) raffigura una scena di fine autunno delle catene montuose della California sud-orientale che giungono fino al Nevada. La larga valle sulla sinistra è la Death Valley con la catena del Panamint sulla sua sinistra.

¹³ - Multispectral scanner system / MSS

"Sigla che identifica il particolare sistema di ripresa utilizzato a bordo dei satelliti Landsat e caratterizzato da 4 bande spettrali."

¹⁴ - Reflectance factor

"Misura della capacità di una superficie di riflettere l'energia incidente: cioè rapporto tra energia riflessa e energia incidente. Si parla di fattore di riflessione spettrale quando ci si riferisce a un determinato intervallo di lunghezza d'onda dell'energia incidente."

¹⁵ - Pixel

"Termine derivato dalla fusione dei termini inglesi picture element. Data un'immagine digitale si dice pixel ognuna delle superfici elementari che la costituiscono. Ogni pixel è caratterizzato da tre valori: due coordinate che individuano la posizione del pixel all'interno dell'immagine, numero di riga e numero di colonna quando l'immagine è considerata come matrice, e il numero indice. L'insieme dei pixels costituisce un'immagine così come l'insieme delle celle di risoluzione costituisce una scena."

L'ampia catena in alto a destra sono le Spring Mountains ed i colori rossastri indicano la presenza di vegetazione (mista tra sempreverdi e alberi cedui). La parte in basso dell'immagine riprende il lato a Nord del Deserto di Mojave.



Fig. 2.34 Catene montuose della California sud-orientale

La seconda scena è un ingrandimento a 80 Km di una parte di un'immagine TM del deserto di Sonoran nel Messico nord occidentale ed è illustrata in colori reali (in basso a sinistra si scorge una piccola parte del Golfo di California). In questa sub-scena prevalgono dune sabbiose brillanti e crescenti su di un deposito vasto di sabbie marine su lava ignea. Le zone scure in alto a destra sono lave vulcaniche mentre l'ammasso scuro a sud ovest di queste è la Sierra del Rosario composta da rocce granitiche.

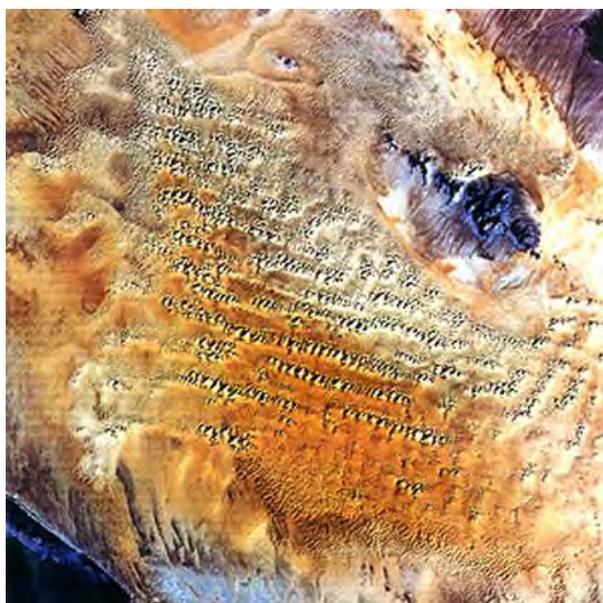


Fig. 2.35 Deserto di Sonoran

Tutti i Landsats seguono un'orbita quasi polare (inclinata di 9 gradi ad ovest delle linee di longitudine; oltrepassando i poli di 8 gradi) e sono eliosincroni (il satellite passa sulla stessa area della Terra alla stessa ora, seguendone quindi la rotazione; in pratica in modalità discendente -da Nord a Sud - esso attraversa l'Equatore ogni volta tra le 9,30 e le 10, 00 A.M. ora locale). I Landsats da 1 a 3 compiono 14 orbite piene (una dietro l'altra distanziate di 2875 Km verso ovest) ogni giorno e dopo 252 orbite ripetono la stessa copertura al suolo ogni 18 giorni ; il Landsat 4 e il Landsat 5 da altezze inferiori (705 Km), dopo 233 orbite coprono la stessa area in 16 giorni. Per coprire l'intera superficie terrestre (poli esclusi), sono necessarie circa 11000 scene.

2.3.2 Il satellite SPOT

Gli scanner¹⁶ simili a quelli montati su Landsat (TM¹⁷, MSS¹⁸) sono stati i primi sensori di osservazione della terra negli anni 1970-80. Questi strumenti dotati di parti mobili e oscillanti come gli specchi erano soggetti a deteriorarsi (sebbene l'MSS sul Landsat 5 ha continuato a funzionare nel 1998 dopo il lancio avvenuto nel Marzo 1984). Un nuovo approccio chiamato scanner "a scopa battente" fu sviluppato nel frattempo sfruttando i CCD (Charge-Coupled Devices) come rivelatori. Un CCD è un piccolo sensore sensibile alla luce. Le cariche elettroniche si sviluppano su un CCD le cui magnitudo sono proporzionali all'intensità della radiazione incidente durante un certo intervallo di tempo (tempo di esposizione).

Una riga di questi piccoli sensori è strutturata in schiera mono o bi-dimensionale a formare video camere a stato solido. Da 3000 a più di 10000 elementi rivelatori (CCD) possono occupare spazi più brevi di 15 cm; il numero di elementi per unità di lunghezza determina la risoluzione spaziale¹⁹ della macchina da ripresa. Con l'utilizzo di circuiti integrati ogni schiera lineare è provata in rapida sequenza producendo un segnale che varia al variare della radiazione che la schiera in maniera simultanea. Questo segnale che varia viene poi utilizzato dopo la trasmissione e registrazione per guidare un sistema elettro-ottico per rendere le immagini in bianco e nero ancor più di quanto ricavato con i segnali dell'MSS e del TM. Dopo questa fase di prova la schiera viene caricata elettronicamente in maniera rapida tale da permettere una ricezione della radiazione in arrivo in maniera indipendente. Una schiera monodimensionale che funziona da sensore avanza insieme con la navicella nell'orbita fornendo righe successive di dato immagine (analogamente all'avanzare di una scopa battente).

L'utilizzo poi dei filtri che selezionino intervalli di lunghezze d'onda associati a ciascuna schiera di CCD permette di ottenere una acquisizione multibanda. L'unico svantaggio dei sistemi CCD è la limitazione negli intervalli dello spettro EM ridotto al visibile e al vicino infrarosso.

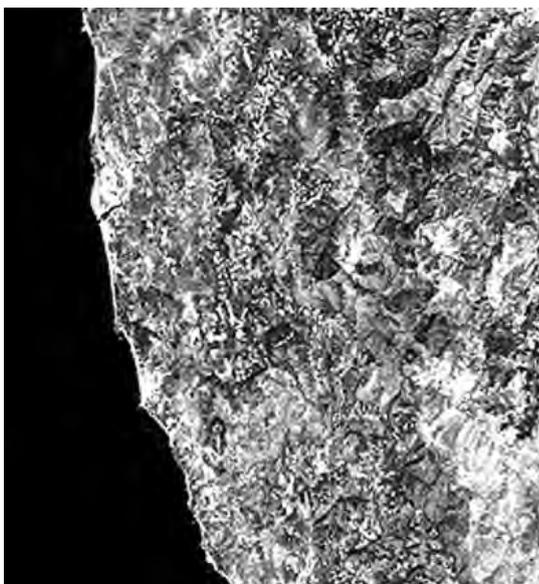


Fig. 2.36 Immagine ripresa da SPOT

¹⁶ - Scanner

" Dispositivo che permette di esplorare una scena striscia dopo striscia, combinando il moto di avanzamento della piattaforma su cui è montato e il moto di oscillazione o di rotazione di uno specchio o di un prisma. L'energia elettromagnetica proveniente dalla scena, attraverso un sistema di ottiche, arriva ai rivelatori che la convertono in un segnale elettrico per ogni striscia esplorata."

¹⁷ - Thematic map

" Mappa che rappresenta su una carta di base, qualitativamente o quantitativamente fenomeni specifici che costituiscono il tema di una determinata indagine. Nell'uso convenzionale questo termine esclude le carte topografiche e geografiche."

¹⁸ - Multispectral scanner system / MSS

"Sigla che identifica il particolare sistema di ripresa utilizzato a bordo dei satelliti Landsat e caratterizzato da 4 bande spettrali."

¹⁹ - Resolution

" Nel caso di un sistema di ripresa o di misura indica genericamente la capacità del sistema di distinguere due punti vicini di una immagine oppure due livelli di un fenomeno. Per un sistema la risoluzione viene precisata mediante il potere risolvete o il limite di risoluzione spaziale, essendo uno l'inverso dell'altro."

I rivelatori CCD sono attualmente in largo uso su sensori aerei e nello spazio (telescopio Hubble). Il primo utilizzo su satelliti di osservazione della terra è stato lo SPOT²⁰-1 francese lanciato nel 1986. Un esempio di immagine SPOT è illustrata più in alto. Essa rappresenta una copertura di 60 x 60 Km a 20 m di risoluzione spaziale della regione costiera a sud- ovest dell'Oregon. Si può notare l'assenza di linee di scansione poiché ogni CCD corrisponde ad un'area analoga ad un pixel. La figura 2.37 in basso rappresenta un'immagine pancromatica a 10 m di risoluzione spaziale che mostra una zona di Orlando, Florida, in cui è visibile l'aeroporto.

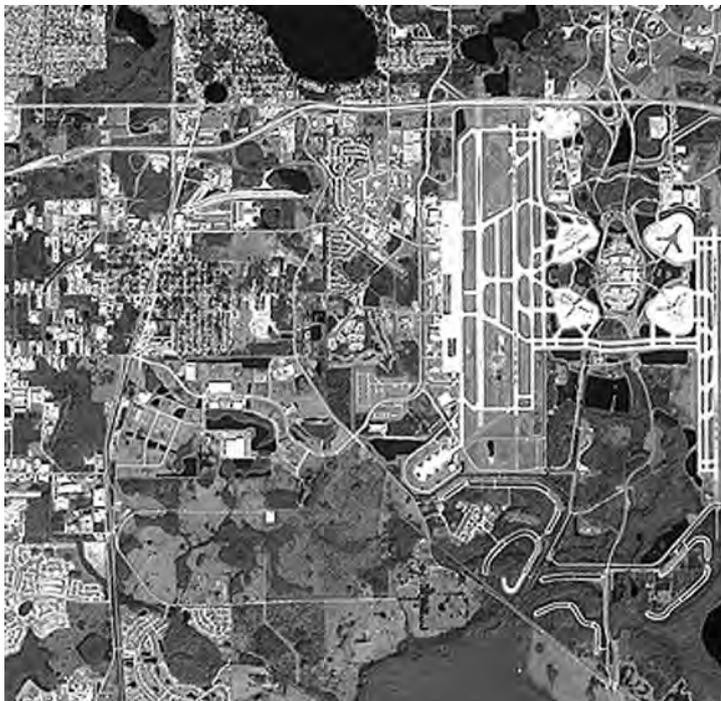


Fig. 2.37 Scena ripresa con un sensore CCD

2.3.3 I satelliti ERS

L'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ha lanciato nel Luglio 1991 il satellite ERS-1, dotato di diversi sensori, ad una quota nominale di 800 Km. Oltre ad uno scatterometro²¹ esso portava a bordo un SAR²² in banda C con un angolo di vista fissato tra i 20 e i 26 gradi e con una copertura di 80 km con risoluzione media di 26 m. Un prodotto tipico è qui mostrato (colorato artificialmente) ed è parte della Costa Azzurra sulla riviera francese.

²⁰ - SPOT

- Système probatoire d'observation de la Terre / SPOT

" Serie di satelliti francesi per lo studio delle risorse terrestri, il primo dei quali messo in orbita il 22 Febbraio 1986 col razzo Ariane-2 dalla base di Kourou. Attualmente sono in servizio 3 satelliti SPOT identici. È costituito da una piattaforma standard progettata per diverse missioni e da un carico utile formato da due sistemi HRV identici. L'orbita è circolare ed eliosincrona con le seguenti caratteristiche astronomiche: - quota 837 km - inclinazione 98.7 gradi - periodo di rivoluzione 101,46 minuti - ora di passaggio all'Equatore del nodo discendente, ora locale 10:30 - periodo del ciclo di copertura 26 giorni - numero di rivoluzioni per ciclo 369 - distanza a terra fra le tracce adiacenti, all 'equatore, 108.4 km."

²¹ - Scatterometer

" È un radiometro a microonde di tipo attivo, in grado di effettuare misure quantitative degli impulsi radar rimandati dal terreno in funzione dell'angolo di incidenza. I dati misurati con lo scatterometro vengono usati per lo studio della rugosità superficiale dei materiali."

²² - Passive sensing system

" Sistema di rilevamento che risponde alle variazioni di radiazioni elettromagnetiche che vengono naturalmente riflesse o emesse dalle diverse superfici. Quando si rileva l'energia riflessa, la sorgente di questa energia è il sole; quando si rileva l'energia emessa, la sorgente di questa energia è la superficie stessa in funzione del suo stato termico - temperatura maggiore di zero Kelvin."

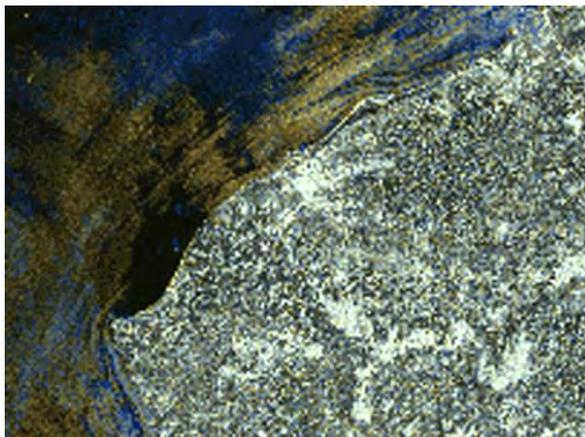


Fig. 2.38 Scena ripresa da ERS-1

La missione ERS-1 è terminata il 10 marzo 2000 a causa di un guasto del sistema di controllo.

Un SAR quasi identico fu poi montato a bordo di ERS-2²³ lanciato nell'Aprile 1995. Utilizzando immagini di differenti date provenienti da radar a singola banda e singola polarizzazione²⁴ è possibile costruire degli innovativi color composites²⁵. Qui segue un esempio semplificato di immagine multitemporale²⁶ raffigurante Siviglia, Spagna e in cui è assegnato in rosso l'immagine ERS-1 del Novembre 1993, in verde l'immagine ERS-1 del 9 Giugno 1995 e in blu l'immagine ERS-2 del 10 Giugno 1995. La città di Siviglia compare in color ciano nella parte in alto a destra così come la Sierra di Aracena in basso a sinistra; i campi coltivati invece appaiono in rosso ovunque.

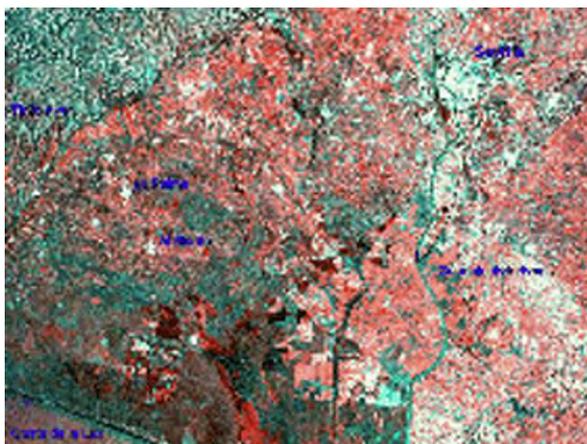


Fig. 2.39 Città di Siviglia ripresa dal SAR di ERS 232 (1995)

²³ - ERS / European Remote Sensing Satellite

"La sigla ERS indica una serie di satelliti, ERS-1 e ERS-2, per l'osservazione della superficie terrestre messi in orbita dall'Agenzia Spaziale Europea, ESA - European Space Agency. L'ERS-1, lanciato il 17 luglio 1991 col missile Ariane-4 dalla base di Kourou nella Guiana Francese, ha un carico utile di diversi sistemi il cui cuore è costituito da sensori attivi operanti nelle microonde."

²⁴ - Polarization

" Proprietà di un'onda elettromagnetica nella quale il vettore campo elettrico e il vettore campo magnetico mantengono invariata la direzione di vibrazione mentre l'onda si propaga. Si dice che un'onda non è polarizzata se la direzione di vibrazione del campo elettrico è distribuita casualmente, così che non si può determinare la sua direzione in ogni istante. Nella tecnica radar il fascio di radiazioni emesso dall'antenna a volte può avere una polarizzazione verticale od orizzontale."

²⁵ - Color composite

" Tecnica di combinazione dei colori per ottenere una migliore rappresentazione dei dati. Esempi: - se suddividiamo in intervalli una scala di grigi e assegnamo un colore ad ogni livello di grigio, realizziamo una composizione di colori. In tale caso si sfrutta il fatto che l'occhio umano è più sensibile alla variazione di colore o tinta, piuttosto che alle variazioni dei toni di grigio. - se assegnamo un colore ad una particolare banda spettrale e la combiniamo con altre, realizziamo una composizione a colori e l'immagine così ottenuta evidenzia informazioni difficilmente ricavabili dalle componenti considerate singolarmente."

²⁶ - Multitemporal

" Termine che indica una delle caratteristiche precipue delle tecniche di telerilevamento e che si riferisce alla possibilità dei satelliti di riprendere immagini della stessa zona a intervalli regolari di tempo, nelle stesse condizioni di illuminazione solare."

2.3.4 SIR -A, -B, e -C sulle missioni Shuttle

Nell'ambito dei sensori radar una nota la merita la serie SIR (Shuttle Imaging Radar)²⁷ dalla NASA/JPL montata su tre diverse missioni Shuttle. Il SIR-A utilizzava una sistema SAR in banda L HH a 40 m di risoluzione e ampiezza di ripresa di 50 Km. Gli angoli di ripresa per il radar ad apertura fissa vanno da 43° a 37° (near range e far range); questa diminuzione nell'angolo riduce l'effetto di layover e foreshortening. Queste caratteristiche hanno reso possibile la realizzazione di spettacolari immagini come la catena di Hamersley nello scudo dell'Australia occidentale formato da rocce metasedimentarie Precambriane fortemente piegate e da nuclei granitici più antichi.

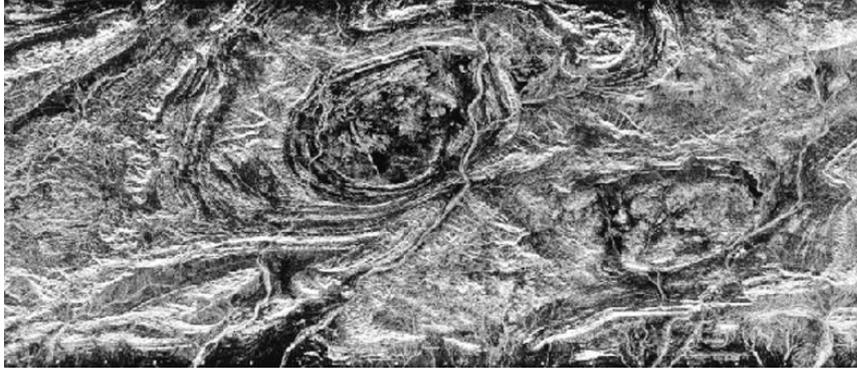


Fig. 2.40 Scena ripresa dal SAR di SIR

Un esempio delle proprietà dei radar è dato dalla straordinaria immagine acquisita dal SIR-A nel Novembre 1981. La scena a colori sottostante è un'immagine Landsat della coltre sabbiosa di Selma nel deserto del Sahara, nel Sudan nord occidentale. Poiché le sabbie asciutte hanno una costante dielettrica bassa, le onde radar riescono a penetrare queste piccole particelle a profondità anche di diversi metri o più. La striscia radar inserita con direzione NE mostra il substrato roccioso al di sotto della copertura alluvionale sabbioso-ghiaiosa che sembra quindi quasi invisibile. Viene quindi evidenziata una topografia sub-superficiale fatta di valli correlate a superfici speculari e a rilievi di luminosità più intensa.



Fig. 2.41 SIR:substrato roccioso al di sotto della copertura alluvionale

Il SIR-B fu messo in funzione nel 1984 per 8 giorni a bordo della navicella Shuttle. La differenza con il SIR-A consisteva nell'angolo di vista variabile tra i 15 e i 55 gradi. In Aprile e Ottobre del 1994 fu poi messo in orbita

²⁷ - SIR / Shuttle imaging radar

"È un radar per produrre immagini montato a bordo di una navetta spaziale e che possiede le caratteristiche di un radar ad antenna sintetica. Questo sistema è stato adottato in alcune missioni della navetta spaziale americana. Durante la missione della navetta Columbia, novembre 1981, furono raccolte immagini radar per un totale di circa 10 milioni di km²."

un sistema più versatile sempre a bordo dello Shuttle. Si trattava del sistema SIR-C realizzato dal JPL caratterizzato da due bande L e C entrambe con polarizzazione HH, VV, HV e VH ed uno strumento in banda X (X-SAR), fornito da organizzazioni Italo-Tedesche, in modalità VV. Un vantaggio di questo sistema multibanda è l'abilità di poter combinare differenti bande e polarizzazioni a creare dei color composites. L'immagine qui mostrata è il vulcano di Kliuchevskoi nel Kamchatka (Siberia) ripreso dal SIR-C in 3 diverse polarizzazioni.

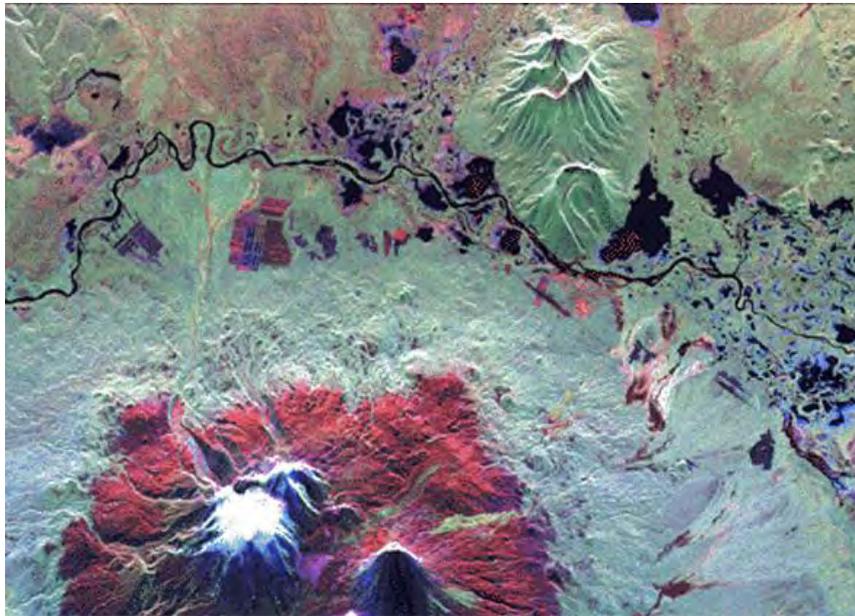


Fig. 2.42 Sir -C

Si può vedere l'immagine multibanda (multifrequenza) di San Francisco formata dalla banda L con polarizzazione HH in rosso, HV in verde e banda C HV in blu: un primo esempio di come molte persone vogliono vivere nella Baia dopo averla visitata.

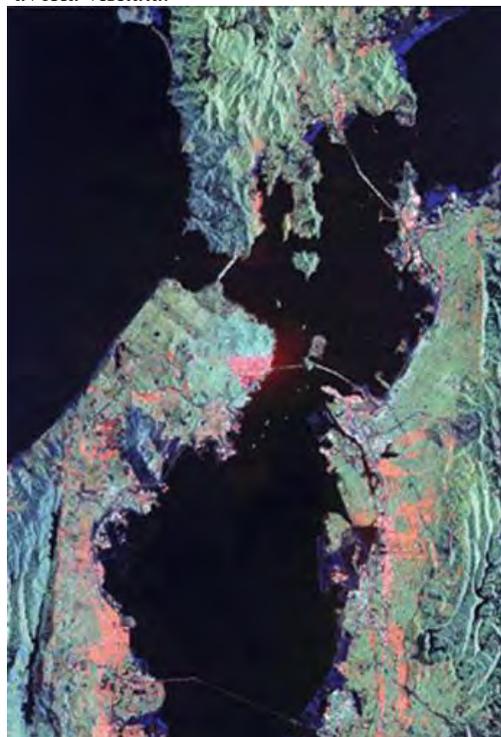


Fig. 2.43 Sir-C

Le immagini radar SIR-C riprese in due differenti date (o con due antenne) possono essere processate utilizzando tecniche interferometriche che utilizzano le differenze di fase nel segnale per definire le distanze tra punti in

maniera da individuare variazioni topografiche. Associate con un Modello Digitale del Terreno (DEM)²⁸, le immagini radar a singola banda o i color composites possono essere mostrate in vista prospettica o anche in video di simulazione di volo. Un ottimo esempio è dato dalla vista prospettica della Valle della Morte con le adiacenti catene montuose realizzata da un'immagine SIR-C.

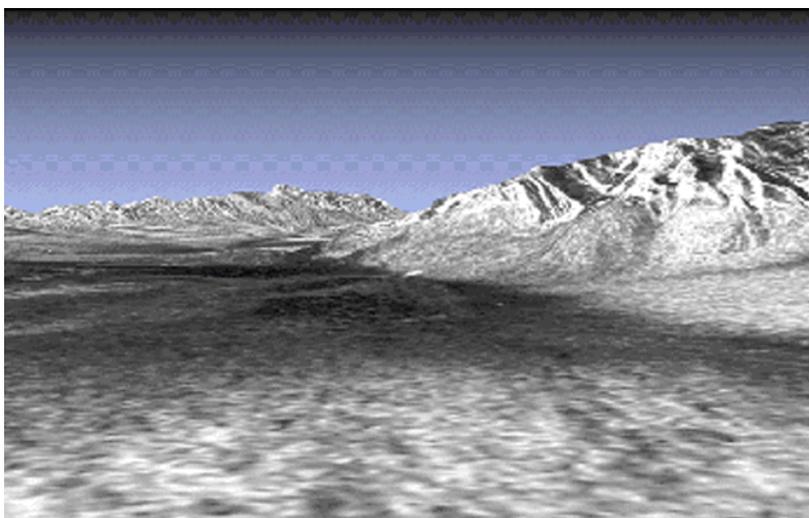


Fig 2.44 Scena virtuale ricostruita con dati SAR di SIR-C

2.3.5 I satelliti IRS

L'India ha realizzato diversi satelliti per l'osservazione della Terra che, a cominciare da Marzo 1998 con l'IRS 1-A²⁹, hanno fornito dati nell'ambito del visibile e vicino infrarosso. L'ultimo della serie, l'IRS 1-D è stato lanciato il 29 Settembre 1997. Il sensore LISS³⁰ a bordo di questo acquisisce nelle bande del blu-verde, nel verde, nel rosso e nel vicino infrarosso con 23 m di risoluzione spaziale³¹. Inoltre il satellite è dotato di un sensore pancromatico con 5,8 m di risoluzione ed un multispettrale con 188 m di risoluzione in acquisizione "wide field" (a vasto raggio). Qui sotto sono mostrate due immagini recenti acquisite da questo sistema.

Questa è un color composite³² a 3 bande che mostra terreni montuosi e pedemontani con conoidi alluvionali a sud dell'Iran

²⁸ - Digital terrain model / DTM

" È una base di dati organizzata in modo che ogni strato contenga un certo tipo di informazioni riguardanti il terreno in forma numerica. La base di dati viene creata sia a partire dalla digitalizzazione di un tema, quale l'idrografia o le isoipse, di una mappa topografica, sia a partire da informazioni già presenti nella base di dati. L'organizzazione dei dati permette di estrarre le varie informazioni singolarmente, ad esempio carta delle pendenze o dell'insolazione, e/o di metterle in relazione tra loro."

²⁹ IRS / Indian Remote Sensing Satellite

"Sigla che indica una serie di satelliti per lo studio delle risorse terrestri dell'Agenzia Nazionale di Telerilevamento dell'India, NRSA - National Remote Sensing Agency of India. Le caratteristiche orbitali dei satelliti IRS sono simili a quelle dei satelliti Landsat americani, con un'orbita eliosincrona ad una altezza di 904 km e una inclinazione di 99.5-. I satelliti IRS-1A e IRS-1B, lanciati rispettivamente il 17 marzo 1988 e il 29 agosto 1991, montano a bordo due sistemi di sensori simili, LISS-I e LISS-II, ed hanno un periodo del ciclo di copertura di 22 giorni. A bordo dei satelliti IRS-1C e IRS-1D operano invece i sistemi LISS-III, multispettrale con una banda nell'IR medio simile alla banda 5 del Thematic Mapper, e una camera pancromatica, 0.5-0.75 micron, con 10 m di risoluzione e capacità stereoscopiche, che hanno un periodo del ciclo di copertura di 24 giorni, e WIFS con una risoluzione di 188 m ha un ciclo di copertura all'equatore di 5 giorni."

³⁰ - LISS/ Linear Self Scanning Sensor " Sigla che identifica i diversi sistemi di sensori montati a bordo dei satelliti indiani IRS."

³¹ - Resolution

" Nel caso di un sistema di ripresa o di misura indica genericamente la capacità del sistema di distinguere due punti vicini di una immagine oppure due livelli di un fenomeno. Per un sistema la risoluzione viene precisata mediante il potere risolvante o il limite di risoluzione spaziale, essendo uno l'inverso dell'altro."

³² - Color composite

" Tecnica di combinazione dei colori per ottenere una migliore rappresentazione dei dati. Esempi: - se suddividiamo in intervalli una scala di grigi e assegnamo un colore ad ogni livello di grigio, realizziamo una composizione di colori. In tale caso si sfrutta il fatto che l'occhio umano è più sensibile alla variazione di colore o tinta, piuttosto che alle variazioni dei toni di grigio. - se assegnamo un colore ad una particolare banda spettrale e la combiniamo con altre, realizziamo una composizione a colori e l'immagine così ottenuta evidenzia informazioni difficilmente ricavabili dalle componenti considerate singolarmente."

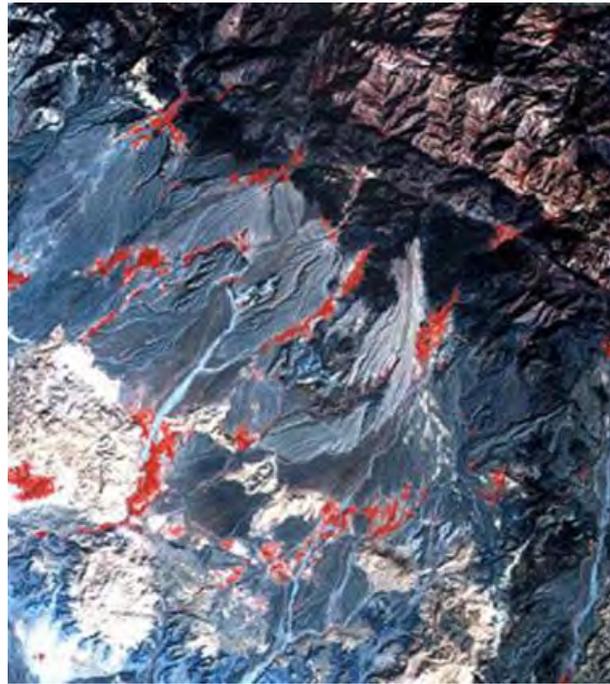


Fig. 2.45 Scena multibanda ripresa dal satellite IRS

mentre l'immagine qui in basso è una visione pancromatica a 5 m del porto di Tamil Nadu in India :



Fig. 2.46 Scena pancromatica ripresa dal satellite IRS

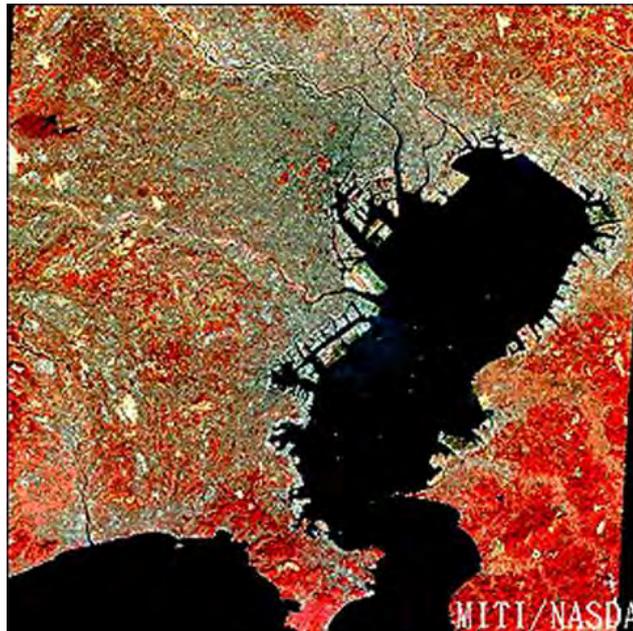
2.3.6 Il satellite JERS

Il JERS-1, lanciato in orbita a 570 km l'11 Febbraio 1992 dall'Agenzia Spaziale Nazionale Giapponese, porta a bordo un sensore ottico a 7 bande e un SAR. Quest'ultimo in banda L con polarizzazione HH ha un angolo di vista fisso tra i 32 e i 38 gradi e un'ampiezza di ripresa di 75 Km con risoluzione media di 18 m. Questa è una delle prime immagini del vulcano Fujiyama ad ovest di Tokio.



Fig. 2.47 JERS: vulcano Fujiyama

Il sistema ottico a 7 bande invece è uno scanner simile al TM. Questa è un immagine in falsi colori³³ di Tokio e della baia di Tokio ripresa da questo sensore:



2.48 JERS: Tokio

Nel mese di Ottobre 1998 si sono persi i contatti con il satellite.

2.3.7 I sistemi iperspettrali

Una potente e versatile tecnologia è il sistema iperspettrale. Fin ad ora il veloce movimento delle piattaforme aeree e spaziali era tale da non permettere ad uno spettrometro³⁴ di acquisire dati su piccole superfici o su un

³³ - False color

" Rappresentazione di un colore mediante un altro. L'esempio classico è quello dell'immagine multispettrale, ottenuta col sistema MSS del satellite Landsat, dove la banda 4 corrispondente alla luce verde viene normalmente codificata in blu, la banda 5 viene codificata in verde, mentre la banda 7 viene codificata in rosso. La combinazione di queste tre immagini, secondo le leggi della sintesi dei colori, dà origine a una nuova immagine a falsi colori, poiché i colori rappresentati sono diversi da quelli della scena."

³⁴ - Spectrometer

" Dispositivo che permette di misurare la distribuzione spettrale dell'energia elettromagnetica. La dispersione dell'energia elettromagnetica si può ottenere con un prisma a dispersione, un reticolo di diffrazione, o un filtro d'interferenza: lo spettro così ottenuto

target atmosferico. Quindi, i dati sono stati necessariamente acquisiti per larghe bande in cui la radiazione spettrale veniva integrata all'interno dell'area ripresa, racchiudendo come nel caso del Landsat, un intervallo di 0.1 μm . Nei dati iperspettrali tali intervalli sono ridotti a 10 nanometri (1 micron [μm] contiene 1000 nanometri) [$1 \text{ nm} = 10^{-9}\text{m}$]. In questa maniera l'intervallo tra 0.38 e 2.55 μm può essere suddiviso in 217 unità, ciascuna approssimativamente di 10 nanometri di ampiezza costituendo in effetti bande più strette.

Se il valore di radianza³⁵ è ottenuto per ogni unità e poi messo in grafico come intensità per lunghezza d'onda, il risultato è un numero di punti sufficienti a disegnare una curva significativa.

Il Jet Propulsion Lab (JPL) ha realizzato due sensori iperspettrali: uno chiamato AIS (Airborne Imaging Spectrometer) lanciato nel 1982 e l'altro chiamato AVIRIS (Airborne Visible/InfraRed Imaging Spectrometer) ancora attivo fin dal 1987. L'AVIRIS è dotato di 4 spettrometri con un totale di 224 rivelatori CCD e corrispondenti canali ognuno con una risoluzione spettrale di 10 nanometri e una risoluzione spaziale di 20 metri. La dispersione dello spettro nell'intera schiera di rivelatori è poi terminata grazie ad un grata di diffrazione³⁶. L'intervallo coperto raggiunge dai 380 ai 2500 nanometri (circa lo stesso intervallo coperto dal Landsat con solo 7 bande). Un'immagine viene acquisita con successione di linee ognuna di 664 pixels. L'ampiezza di ripresa è di 11 Km. Dai dati acquisiti si può poi costruire una curva per ogni pixel o gruppo di pixel che possono corrispondere ad un determinato elemento sul terreno. In base alla grandezza di un elemento o di una classe, il grafico corrispondente sarà una curva definita per un elemento "puro" o una curva composta contenente contributi dai diversi elementi presenti. In partenza le variazioni di intensità per ogni intervallo di 10 nanometri possono essere rappresentate in scala di grigi per costruirne una prima immagine; in pratica per ottenere segnali abbastanza forti vengono sommati i dati provenienti da intervalli adiacenti. Alcune di queste idee sono elaborate nel diagramma a blocchi mostrato in figura 2.49.

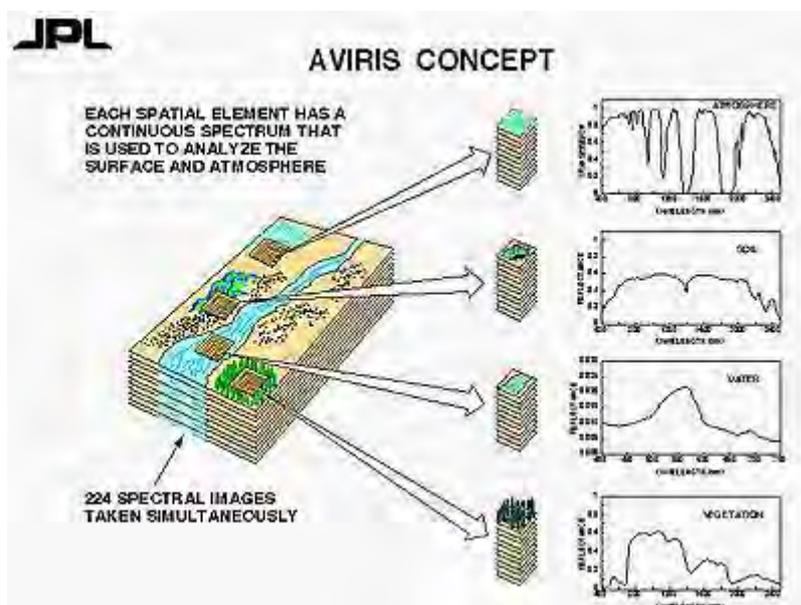


Fig. 2.49

La figura 2.50 mostra un'immagine iperspettrale di alcuni campi circolari nella valle di San Juan in Colorado. Le aree colorate sono state identificate come aree vegetate o campi come suggerito dalla verità a terra e dalle curve spettrali disegnate sotto all'immagine per i campi indicati (queste curve non sono state ottenute da uno spettrometro da campo ma direttamente dai dati AVIRIS).

viene esaminato per scansione da un rivelatore per determinare la posizione delle lunghezze d'onda delle linee di emissione o di assorbimento della sorgente."

35 - Radiance

" In un punto di una superficie ed in una direzione data è il rapporto tra l'intensità raggiante, nella direzione data, di un elemento infinitesimo di superficie che circonda il punto considerato, e l'area della proiezione ortogonale di questo elemento su un piano perpendicolare a questa direzione. Si misura in Watt al metro quadrato allo steradiante."

36 - Diffraction

" Fenomeno per il quale un'onda elettromagnetica penetra nella zona d'ombra geometrica prodotta da un ostacolo opaco. La diffrazione dipende dalla forma dell'ostacolo e dalle sue dimensioni confrontate con la lunghezza d'onda della radiazione."

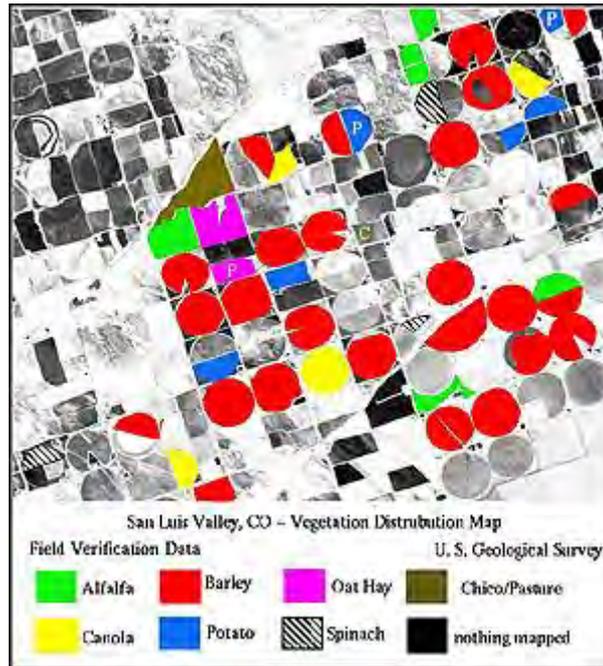


Fig. 2.50

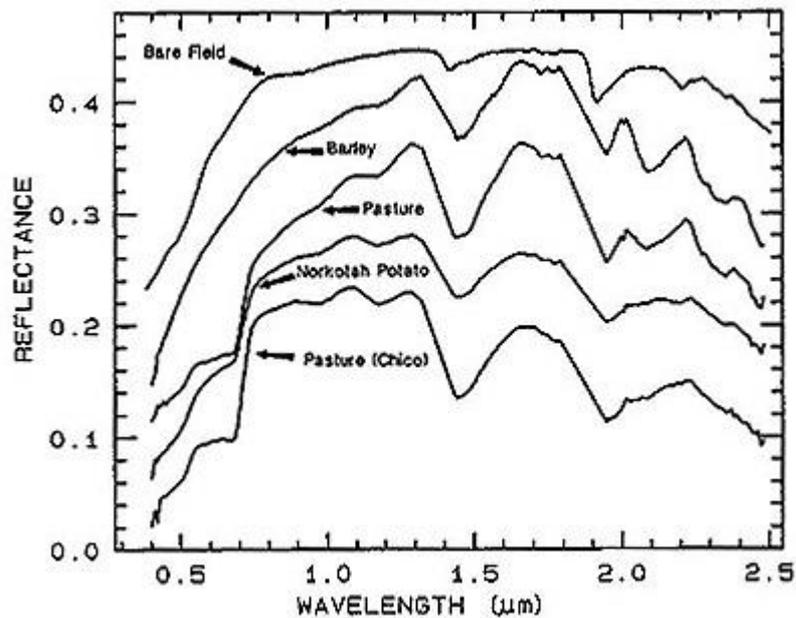


Fig. 2.51

I dati iperspettrali sono superiori per la maggior parte dei casi rispetto a dati multispettrali di banda più ampia dal momento che viene acquisito un bagaglio di dettagli superiori per il riconoscimento degli elementi. Essenzialmente i risultati sono firme spettrali piuttosto che istogrammi. In futuro si prevede di montare sensori iperspettrali su navicelle spaziali.

2.3.8 SeaWiFS

SeaWiFS (Sea-viewing Wide-Field-of View Sensor) a bordo del satellite SeaStar, lanciato il 1 Agosto del 1997, è un sensore avanzato progettato per il monitoraggio degli oceani. E' costituito da otto bande spettrali con intervalli di lunghezza d'onda molto stretti (vedi la tabella) specifici per l'identificazione e il monitoraggio di diverse caratteristiche degli oceani fra cui: la produzione primaria e i processi del fitoplancton, le influenze degli oceani sui processi climatici (conservazione del calore e formazione dell'aerosol), e il monitoraggio dei cicli del carbonio, dello zolfo e dell'azoto.

L'altezza dell'orbita è 705 Km con un passaggio all'equatore alle 12, ora locale. Due combinazioni di risoluzione spaziale e di ampiezza di ripresa sono disponibili per ciascuna banda: una modalità a risoluzione più alta di 1,1 km (al nadir) per una ampiezza di ripresa di 2800 km e una a risoluzione più bassa di 4,5 km (al nadir) per una ampiezza di ripresa di 1500 km. Bande spettrali del SeaWiFS

Banda	Intervallo di lunghezza d'onda (nm)
1	0.402 - 0.422
2	0.433 - 0.453
3	0.480 - 0.500
4	0.500 - 0.520
5	0.545 - 0.565
6	0.660 - 0.680
7	0.745 - 0.785
8	0.845 - 0.885

Fig. 2.52 Bande del SeaWiFS

La scena riportata nella figura 2.53 ripresa dal SeaWiFS è un naturale “ritratto” dell'intero globo in cui le aree ricche di vegetazione sono mostrate in verde, le aree desertiche in vari toni del giallo e marrone e il ghiaccio è visualizzato in bianco.



Fig 2.53

Questi sistemi satellitari di osservazione degli oceani sono importanti per il monitoraggio a scala globale e regionale dell'inquinamento e della salute degli oceani, e per supportare gli scienziati nella comprensione dell'influenza e dell'impatto degli oceani sul sistema climatico globale.

2.3.9 Sensori e satelliti meteorologici

Il monitoraggio e la previsione del tempo è stata una delle prime applicazioni civili del telerilevamento da satellite, e riporta indietro al primo vero satellite meteorologico, il TIROS-1 (Television and Infrared Observation Satellite - 1), lanciato nel 1960 dagli Stati Uniti. Oggi diverse nazioni hanno in funzione satelliti meteorologici per monitorare le condizioni del tempo sulla Terra. In linea generale, questi satelliti usano sensori con una risoluzione spaziale abbastanza bassa (confrontati con i sistemi di osservazione della Terra) e forniscono una copertura di grandi aree. La loro risoluzione temporale è generalmente piuttosto alta; forniscono quindi frequenti osservazioni della superficie terrestre, dell'umidità atmosferica e della copertura nuvolosa, che

permettono il monitoraggio continuo della situazione meteorologica globale e, quindi, la previsione. Facciamo qui solo una breve presentazione dei principali satelliti usati per applicazioni meteorologiche.

2.3.10 NOAA AVHRR

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) è responsabile di una serie di satelliti utili sia per la meteorologia che per altre applicazioni. Questi satelliti, in orbita elio-sincrona quasi-polare (830-870 km sulla Terra), sono parte della serie TIROS Avanzata (i primi sono datati 1960) e forniscono informazioni complementari ai satelliti meteorologici geostazionari.

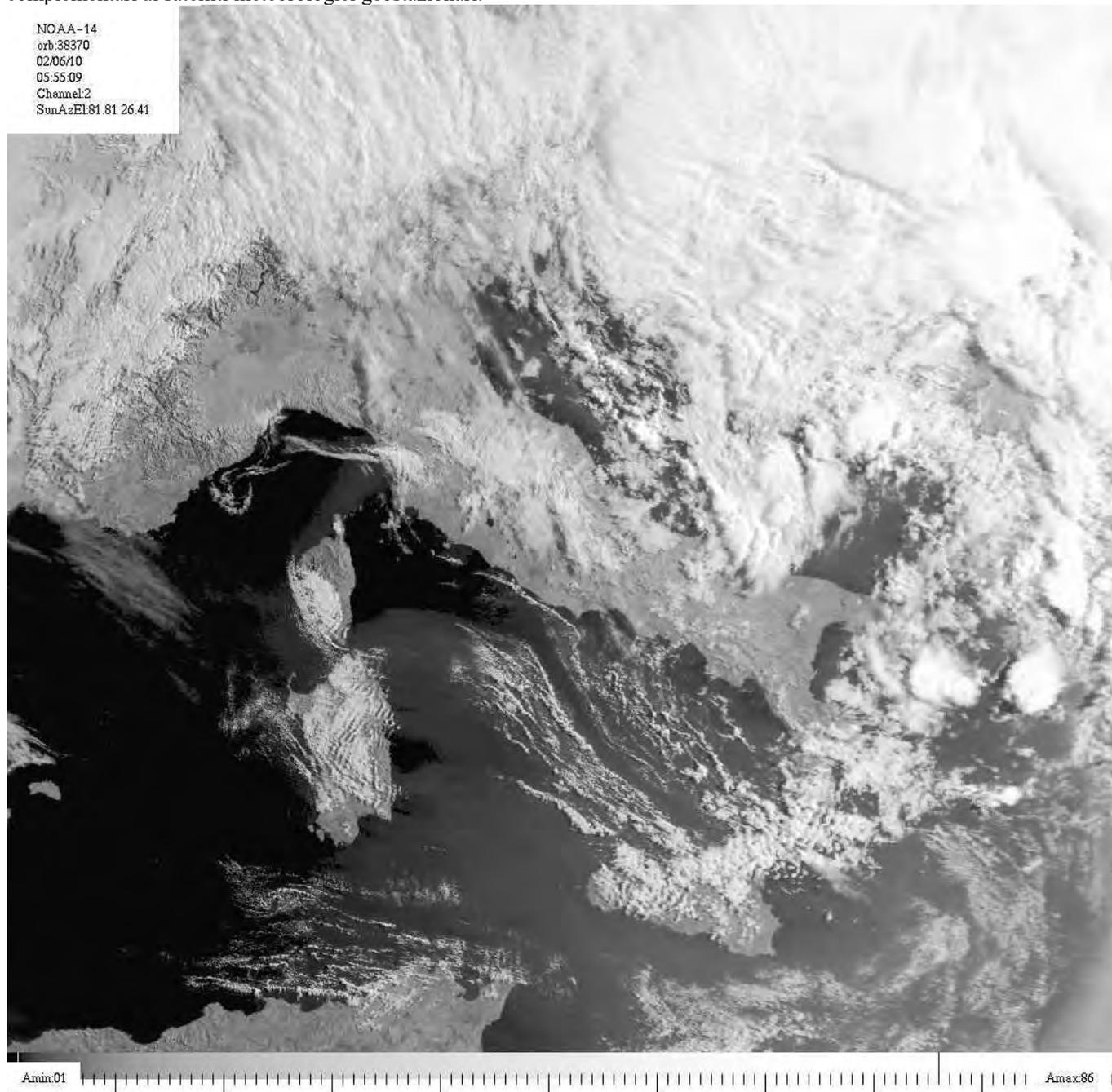


Fig. 2.54 Immagine ripresa del satellite NOAA-14 il 02.06.2002
(da <http://www.datameteo.com/sat/noaa.apr.htm>)

Due satelliti, ciascuno con una copertura globale, funzionano contemporaneamente in maniera da assicurare dati per ogni regione della Terra al massimo ogni 6 ore. Un satellite attraversa l'Equatore al mattino muovendosi da nord a sud mentre l'altro lo attraversa nel pomeriggio.

Il sensore principale a bordo dei satelliti NOAA, usati sia per la meteorologia che per l'osservazione della Terra a piccola scala, è l'Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). Il sensore AVHRR registra le radiazioni nel visibile, nell'infrarosso vicino, nel medio infrarosso e nell'infrarosso termico, con un'ampiezza di ripresa di 3000 km. La tabella riporta le bande del AVHRR, la corrispondente lunghezza d'onda e la risoluzione spaziale (al nadir) e, per ciascuna banda, le possibili applicazioni.

Banda	Intervallo di lunghezza d'onda (mm)	Risoluzione spaziale	Applicazione
1	0.58 - 0.68 (rosso)	1.1 km	Monitoraggio di nuvole, neve e ghiaccio
2	0.725 - 1.1 (IR vicino)	1.1 km	Studi di acqua, vegetazione e agricoltura
3	3.55 - 3.93 (IR medio)	1.1 km	Temperatura superficiale del mare, vulcani e incendi boschivi
4	10.3 - 11.3 (IR termico)	1.1 km	Temperatura superficiale del mare, umidità dei suoli
5	11.5 - 12.5 (IR termico)	1.1 km	Temperatura superficiale del mare, umidità dei suoli

Fig. 2.55 Bande NOAA AVHRR

Sebbene i dati AVHRR siano ampiamente usati per l'analisi e la previsione del sistema meteorologico, il sensore è anche adatto all'osservazione e il monitoraggio di caratteristiche della superficie terrestre. AVHRR ha una risoluzione spaziale più bassa di altri tipici sensori di osservazione della terra, ma è ampiamente usato per il monitoraggio di fenomeni a scala regionale come mappe della temperatura superficiale del mare e studio delle condizioni della vegetazione e dei campi.

2.3.11 METEOSAT

Il Meteosat è un satellite meteorologico lanciato e messo in funzione da un consorzio di nazioni europee. E' un satellite geostazionario posto sull'Equatore e fornisce immagini della Terra ogni mezz'ora. Il Meteosat ha tre bande: la banda del visibile (0.4 - 1.1 mm; 2.5 km di risoluzione), l'infrarosso medio (5.7 - 7.1 mm; 5 km di risoluzione), e l'infrarosso termico (10.5 - 12.5 mm; 5 km di risoluzione).

2.3.12 IKONOS II: Pancromatico e Multispettrale ad altissima risoluzione

Il satellite IKONOS II è stato lanciato nel Settembre 1999 dalla Vandenberg Air Force Base , California. Il satellite IKONOS acquisisce contemporaneamente immagini pancromatiche con risoluzione geometrica al suolo di un metro e immagini multispettrali a quattro bande, con risoluzione di quattro metri. Queste immagini possiedono un livello di dettaglio senza precedenti nel campo dei dati di osservazione della Terra. e, attualmente, sono in assoluto i migliori dati disponibili sul mercato.

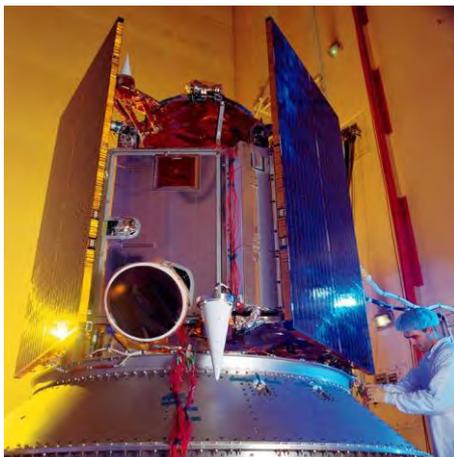


Fig 2.56 Il satellite IKONOS

L'orbita del satellite IKONOS è eliosincrona, ovvero il satellite passa ad una data longitudine a circa la stessa ora locale ogni giorno. IKONOS è progettato per acquisire immagini della Terra da un'orbita di 680 chilometri, con una velocità di circa sette chilometri al secondo, il satellite ruota intorno alla Terra 14 volte al giorno ovvero una volta ogni 98 minuti. Il sensore pancromatico ha una risoluzione geometrica al suolo di 1m ad 11 bit (2048 livelli) e acquisisce nella banca spettrale dei 0.45-0.90 micrometri mentre il sensore multispettrale ha una risoluzione geometrica al suolo di 4m, ad 11 bit (2048 livelli) e 4 bande (banda 1, blue a 0.45-0.53; banda 2, green, a 0.52-0.61; banda 3, red, a 0.64-0.72; banda 4, near infrared, a 0.77-0.88).

Le immagini del satellite IKONOS, con il loro elevato contenuto informativo, possono essere utilizzate con successo nel campo dell'aggiornamento dei dati catastali, della cartografia digitale e tradizionale, del monitoraggio ambientale, della gestione delle risorse naturali, ma anche per la gestione delle emergenze e al servizio della protezione civile, per le telecomunicazioni, ed in generale in tutte le applicazioni che necessitano di informazioni dettagliate, accurate e sempre aggiornate. A questa risoluzione è possibile riconoscere automobili e autocarri, strade, oleodotti, alberi singoli, case, grandi apparecchiature, barche e navi, aerei, ecc.

La figura 2.57 mostra un esempio di dato IKONOS, si tratta di un dato pancromatico (in bianco e nero) relativo alla città di Roma, in cui si riconoscono strutture famose come il Colosseo, l'Altare della Patria, il Pantheon, il Campidoglio ecc.

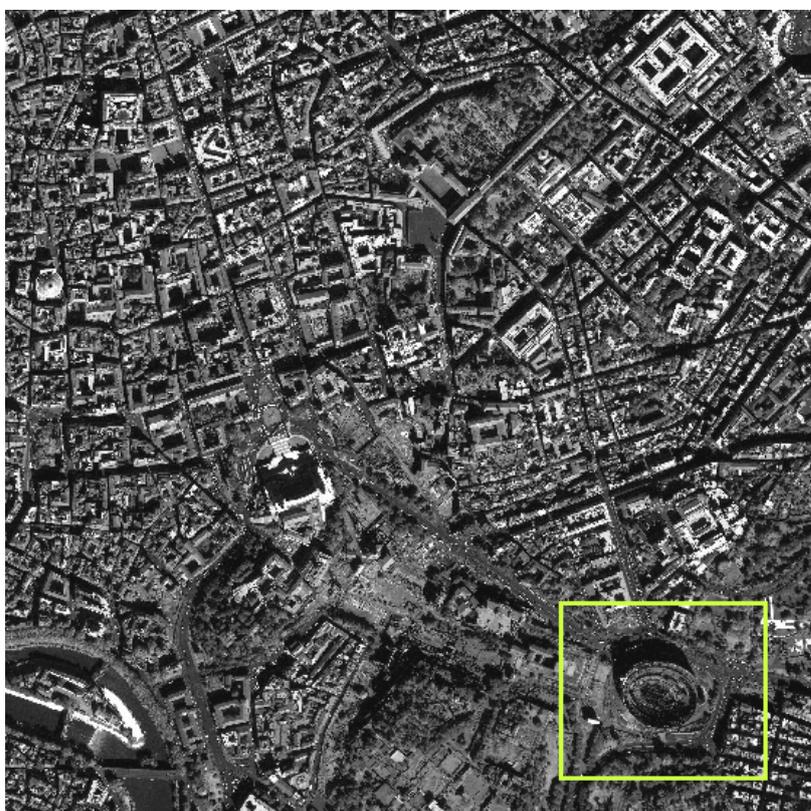


Fig 2.57 IKONOS ©Space Imaging

L'immagine che segue è invece un dato IKONOS acquisito sul Venezuela nel Dicembre 1999 dopo un gravissimo evento alluvionale. Ciò dimostra come un dato IKONOS può essere utilizzato nella stima dei danni legati a questi eventi calamitosi. I dati IKONOS sono disponibili in un formato ad 11 bit. Questa peculiarità rende questi dati radiometricamente superiori a ogni altro dato satellitare finora disponibile ad 8 bit.



Fig. 2.58 IKONOS ©Space Imaging



Fig. 2.59 Piazza S. Marco (Venezia) risoluzione 0.8m IKONOS ©Space Imaging



Fig. 2.60 Singapore risoluzione 0.8m IKONOS ©Space Imaging

2.3.12 Envisat

Nel 2001, l'Agencia Spaziale Europea ha messo in orbita Envisat-1, un satellite avanzato ad orbita polare per l'osservazione della terra che fornirà misure su atmosfera, oceano, terra e ghiaccio per un periodo di 5 anni. Il satellite Envisat-1 possiede un equipaggiamento innovativo e ambizioso che assicurerà la continuità alle misurazioni del precedente satellite ERS³⁷ sempre dell'ESA.

I dati di Envisat-1 forniranno supporto alla ricerca scientifica e permetteranno il monitoraggio dell'evoluzione ambientale e dei cambiamenti climatici a livello globale. Inoltre esso faciliterà lo sviluppo di applicazioni operative e commerciali.

L'obiettivo principale del programma Envisat-1 è di dotare l'Europa di un sistema avanzato di telerilevamento per l'osservazione della terra allo scopo di incrementare le opportunità, per i diversi stati coinvolti nel programma, di partecipare agli studi e monitoraggi della Terra e del suo ambiente.

La missione intende inoltre continuare in maniera migliore le misure già iniziate con ERS-1 ed ERS-2 e di prendere in considerazione i requisiti per un ottimale studio e monitoraggio globale dell'ambiente.

Envisat-1, da un accordo tra gli stati membri dell'ESA ed il Canada, costituisce un ulteriore contributo agli sforzi compiuti dalle agenzie spaziali nel mondo nel fornire i dati e le informazioni necessarie alla individuazione, modellizzazione e previsione dei cambiamenti ambientali e climatici globali.

Envisat possiede numerosi strumenti a bordo. I contributi alle principali applicazioni sono descritti nella seguente tabella :

³⁷ - ERS / European Remote Sensing Satellite
- ERS"

"La sigla ERS indica una serie di satelliti, ERS-1 e ERS-2, per l'osservazione della superficie terrestre messi in orbita dall'Agencia Spaziale Europea, ESA - European Space Agency. L'ERS-1, lanciato il 17 luglio 1991 col missile Ariane-4 dalla base di Kourou nella Guiana Francese, ha un carico utile di diversi sistemi il cui cuore è costituito da sensori attivi operanti nelle microonde."

	ASAR	GOMOS	RA-2	MERIS	MIPAS	MWR	LR	SCIA	AATSR	DORIS
Atmosfera										
Nuvole				X	X			X	X	
Vapor acqueo		X		X	X	X			X	
Radiazioni		(X)		X	(X)	X		(X)	X	
Temperatura/Pressione		X		X	X			X	X	
Gas in tracce		X			X			X		
Aerosol		X		X	X			X	X	
Turbolenza		X								
Terra										
Temperatura superficiale						(X)			(X)	
Caratteristiche della vegetazione	X			X					X	
Agricoltura e foreste	X			(X)					(X)	
Elevazione di superficie	X		X				X		X	X
Geologia e Topografia	X		(X)						X	
Parametri di idrologia	X		(X)	X		(X)			X	
Allagamenti	X									
Incendi									X	

Fig. 2.61 Strumenti e contributi nella missione Envisat

Oceano										
Colore del mare				X						
Temperatura superficiale									X	
Topografia superficiale			X				X			X
Torbidità				X						
Caratteristiche delle onde	X		X							
Vento di superficie	X		X							
Correnti	X		X							
Geoide marino			X							
Circolazione globale			X						X	
Fronti oceanici	X			X					(X)	
Dinamica costiera	X			X						
Macchie d'olio	X									
Strato di film naturale	X									
Navigazione	X									

Ghiacci									
Mappa dei ghiacci marini	X		X	X		(X)			
Movimenti dei ghiacci marini	X		X	X					
Processi dei ghiacci marini	X								
Percorsi di navigazione	X								
Temperatura								X	
Copertura nevosa	X			X				X	
Topografia	X		X				X		X
Dinamica delle coltri di ghiaccio	X		X	X		(X)			

X = contributo principale (X) = contributo sperimentale
 Fig. 2.62 Continua - Strumenti e contributi nella missione Envisat

2.3.13 Skymed/COSMO

La missione Skymed COSMO è formata da una costellazione di 3 satelliti dotati di sensori ottici³⁸ e 4 satelliti forniti di strumento SAR³⁹ in banda X.

Le applicazioni di COSMO Skymed sono :

- Gestione dei rischi (prevenzione e risanamento)
- Geologia, foreste e agricoltura
- Acque marine e terrestri
- Ghiacci
- Uso del suolo
- Ecologia del territorio

2.3.14 OrbView



Il satellite OrbView-3 (2001) è uno dei primi satelliti commerciali che fornirà immagini ad alta risoluzione dallo spazio. OrbView-3 produrrà immagini pancromatiche ad un metro di risoluzione e immagini multispettrali a 4 metri.

Le immagini a 1 metro permetteranno di individuare case, automobili e aerei e renderà possibile la creazione di mappe di dettaglio e di scene tridimensionali. Le immagini multispettrali a 4 metri invece forniranno informazioni a colori sulle caratteristiche delle città, aree rurali e terre incolte. Il satellite ripasserà sulla stessa area in meno di tre giorni potendo ruotare da un lato all'altro di oltre 45 gradi.

Fig. 2.63 Il satellite OrbView 1

³⁸ - Sensor

"Qualsiasi dispositivo che raccoglie l'energia elettromagnetica proveniente dalla scena e la converte in un segnale elettrico che porta informazioni relative alla scena stessa. Sotto questo termine, per assimilazione, viene anche designata la camera fotografica."

³⁹ - Passive sensing system

" Sistema di rilevamento che risponde alle variazioni di radiazioni elettromagnetiche che vengono naturalmente riflesse o emesse dalle diverse superfici. Quando si rileva l'energia riflessa, la sorgente di questa energia è il sole; quando si rileva l'energia emessa, la sorgente di questa energia è la superficie stessa in funzione del suo stato termico - temperatura maggiore di zero Kelvin."

Come per OrbView-3, anche OrbView-4 acquisirà in pancromatico ad un metro di risoluzione e in multispettrale a 4 metri. Inoltre OrbView-4 sarà il primo satellite al mondo ad acquisire immagini iperspettrali. Queste immagini saranno utili nella classificazione degli elementi costituenti la superficie terrestre e saranno molto utili nella gestione dell'agricoltura e delle foreste, nell'esplorazione mineraria, nel monitoraggio ambientale e nelle attività di sicurezza nazionale. OrbView-4 avrà con i suoi due strumenti (pancromatico e multispettrale) un'ampiezza di ripresa di 8 Km e 200 bande con un ampiezza di ripresa di 5 km per il sensore iperspettrale. Il satellite ripasserà sullo stesso luogo della Terra in meno di tre giorni con capacità di ruotare da un lato all'altro di oltre 45 gradi dal percorso orbitale.

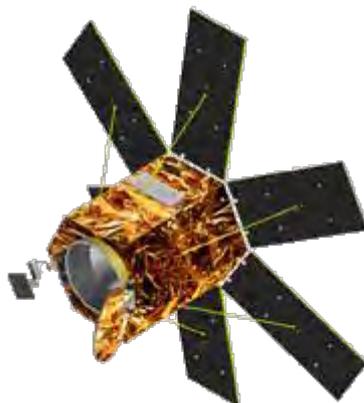


Fig. 2.64 Il satellite OrbView 4

2.4 I sistemi di telecomunicazione ad alta risoluzione spaziale

Di seguito sono riportati i satelliti con risoluzione inferiore a 5 m sia attuali che futuri con le rispettive caratteristiche:

OrbView-3 Specifications		
Imaging Mode	Panchromatic	Multispectral
Spatial Resolution	1 meter	4 meter
Imaging Channels	1 channel	4 channels
Spectral Range	450-900 nm	450-520 nm
		520-600 nm
		625-695 nm
		760-900 nm
Swath Width	8 km	
Image Area	User Defined	
Revisit Time	Less than 3 days	
Orbital Altitude	470 km	
Nodal Crossing	10:30 A.M.	
System Life	5 years	

CARTOSAT-1 (IRS-P5)

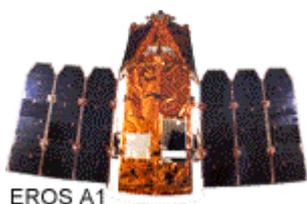
Lancio : 2001-2002
Risoluzione : 2,5 m

CARTOSAT-2

Lancio previsto: 2002-2003
Risoluzione(panchromatique) : 1 m

CBERS 3

Lancio previsto: 2003
Risoluzione : 5 m



EROS A1

EROS A1

Data di lancio : 05-DEC-00
Risoluzione(panchromatique) : 1,8 m
Altitudine: 480 km

EROS B1

Lancio previsto: 2003
Risoluzione (panchromatique) : 0.8 m
Altitudine: 600 km

EROS B2

Lancio previsto: 2003
Risoluzione (panchromatique): 0.8 m
Risoluzione (multispectral) : 3.3 m
Altitudine: 600 km



Ikonos 2

Ikonos 2

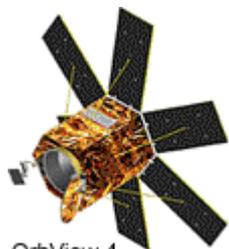
Data di lancio : 24-SEP-99
Risoluzione (panchromatique) : 1 m
Risoluzione (multispectral) : 4 m
Altitudine: 680 km

IRS-1C

Data di lancio : 28-DEC-95
Risoluzione (panchromatique) : 5,8 m
Altitudine : 820 km

IRS-1D

Data di lancio : 29-SEP-97
Risoluzione (panchromatique) : 5,8 m
Altitudine : 800 km



OrbView-4

OrbView-4

Il satellite non ha raggiunto mai l'orbita prevista, lancio: 21 settembre 2001
Risoluzione (panchromatique) : 1 m
Risoluzione (multispectral) : 4 m
Risoluzione (hyperspectral) : 8-20 m
Altitudine: 470 km



OrbView-3

OrbView-3

Lancio: 2002
Risoluzione (panchromatique) : 1 m
Altitudine: 470 km



QuickBird 2 (renommé QuickBird)
 Data di lancio: 18 ottobre 2001
 Risoluzione (panchromatique) : .61 m
 Risoluzione (multispectral) : 2.44 m
 Orbita polare, héliosynchrone (98°)



RADARSAT-2
 Lancio previsto : 2003
 Risoluzione (RSO) : 3 m
 Orbita polaire

Fig. 2.65 Satelliti ad alta risoluzione

Satellites	Sensore	Ottico	Radar	Risoluzione spaziale			
				bassa >2KM	media 2KM-100M	alta 100M -10M	altissima <10M
● <u>ADEOS</u>	TOMS	X		X			
● <u>CORONA</u>		X					X
● <u>COSMOS</u>	TK-350 KVR-1000	X				X	X
● <u>EARTH PROBE</u>	TOMS	X		X			
● <u>ENVISAT</u>		X	X		X	X	
● <u>ERS</u>	AMI-SAR ATSR GOME		X X X	X X		X	
● <u>IKONOS</u>		X					X
● <u>IRS-1C</u>	PAN LISS-III WIFS	X X X				X	X
● <u>JERS</u>	SAR OPS		X	X		X X	
● <u>LANDSAT</u>	TM RBV ETM+ MSS	X X X X				X X X X	
● <u>METEOR 3</u>	TOMS	X		X			
● <u>METEOSAT</u>	MSR	X		X			
● <u>NIMBUS 7</u>	TOMS	X		X			
● <u>NOAA</u>	AVHRR	X			X		
● <u>ORBVIEW2</u>	SEAWIFS	X			X		
● <u>RADARSAT</u>	SAR		X			X	X
● <u>RESURS-F</u>	KFA-1000	X					X
● <u>RESURS 01</u>	MSU-SK	X			X		
● <u>SPOT</u>	HRV HRVIR VGT	X X X				X X	
● <u>SRTM</u>			X			X	

Fig. 2.65 Satelliti: tabella riassuntiva

Capitolo 3

Applicazioni del Telerilevamento

Il telerilevamento copre una vasta gamma di applicazioni, in seguito sono presentati alcuni esempi. Ciascuna applicazione ha le sue specifiche esigenze per quello che riguarda la risoluzione spaziale, la risoluzione spettrale e la risoluzione temporale. Ci sono applicazioni che richiedono dati ripetutamente, come le applicazioni sull'inquinamento da idrocarburi nel mare, sugli incendi e il monitoraggio del movimento dei ghiacci.

Alcune applicazioni richiedono solamente immagini stagionali (identificazione delle colture, malattia delle foreste e monitoraggio delle aree umide), altre ancora hanno bisogno di acquisire l'immagine una sola volta (geologia strutturale). Spesso è necessario più di un sensore per rispondere adeguatamente a tutti i requisiti di una data applicazione. L'uso combinato di sorgenti multiple di informazione è chiamato integrazione. In molte applicazioni, l'uso di informazioni provenienti da differenti fonti garantisce che l'identificazione degli elementi dell'immagine sia la più accurata possibile. Dati addizionali che possono fornire un aiuto nell'analisi e nella interpretazione delle immagini sono detti "dati ancillari".

3.1 Geologia

I geologi hanno usato per decenni le foto aeree come dati su cui mappare le unità rocciose (stratigrafia), studiare la forma della terra (geomorfologia), determinare le caratteristiche strutturali (pieghe e faglie), valutare i cambiamenti dinamici prodotti dagli eventi naturali (inondazioni, eruzioni vulcaniche), e determinare indicazioni superficiali (come alterazioni e altri segni di mineralizzazione) di depositi sottostanti di minerali, petrolio e gas, e acqua.

Con l'avvento delle immagini spaziali i geologi possono ottenere tre importanti risultati:

- 1) il vantaggio di avere una visione sinottica di grandi aree consente di esaminare in un'unica scena o in un mosaico la struttura geologica della Terra su base regionale;
- 2) la possibilità di analizzare bande multispettrali quantitativamente in termini di numeri (Digital Numbers) consente di applicare tecniche di elaborazione per distinguere o esaltare determinate proprietà dei materiali;
- 3) la possibilità di fondere differenti tipi di prodotti o di combinarli con dati di quota e con altri tipi di informazione (come mappe tematiche, misure geofisiche, campionature chimiche) determina nuove soluzioni per correlare le diverse proprietà dei fenomeni terrestri.

Questi nuovi metodi derivanti dallo spazio non hanno ancora rivoluzionato il modo in cui i geologi compiono i loro studi sul campo ma si sono rivelati indispensabili per migliorare i processi di mappatura geologica e di esplorazione di risorse minerarie ed energetiche su grande scala.

Molte mappe geologiche sono anche mappe stratigrafiche, ossia, registrano la posizione e l'identità delle sequenze dei tipi di rocce in base alla loro età relativa.

3.2 Agricoltura e foreste

Una delle applicazioni di maggior successo delle immagini multispettrali da satellite risiede nella loro capacità di monitorare lo stato delle produzioni agricole mondiali. Questo include la capacità di identificare e distinguere la maggior parte dei principali tipi di coltivazioni: grano, orzo, miglio, avena, granturco, soia, riso, e altri, per valutare quantitativamente su scala globale la superficie totale destinata a queste e ad altre coltivazioni in un qualunque momento. E' possibile stimare con un'accuratezza del 90% o più i rendimenti attesi di ciascun raccolto, a livello sia locale o regionale che mondiale, conoscendo innanzitutto le aree relative dedicate a ciascuna coltivazione e poi correlando attendibili valutazioni di raccolto per area unitaria fornite dagli agronomi sulla base di dati rappresentativi di verità al suolo. Di solito le stime sui raccolti ottenute dai dati satellitari sono più esaurienti e più velocemente disponibili, alcune settimane, rispetto a quelle determinate convenzionalmente con gli approcci ai raccolti.

Le informazioni sull'umidità del suolo, spesso critica ai fini di una buona produzione, può essere valutata qualitativamente mediante determinate osservazioni satellitari. In circostanze adeguate, gli stress dei raccolti

(generalmente dovuti a deficienze di umidità) o malattie possono essere riconosciute e a volte affrontate effettivamente prima che gli agricoltori stessi diventino consapevoli dei problemi. Alle osservazioni da satellite è sempre stato riconosciuto il successo in alcune circostanze nell'individuazione dei raccolti di erba per stupefacenti come papaveri e tabacco selvaggio.

3.3 Uso del suolo

Le immagini da satellite e le foto aeree sono un potente mezzo per mappare la superficie della Terra, le differenti caratteristiche naturali e artificiali possono essere identificate e catalogate in termini di copertura del suolo. Il termine uso del suolo è spesso un sinonimo, ma si riferisce più appropriatamente alle caratteristiche che descrivono come il suolo viene usato dall'uomo.

3.4 Meteorologia

Gli oceani e altre grandi masse d'acqua dolce ricoprono più del 70% della superficie del pianeta. In un qualsiasi istante, circa il 50% di questa superficie, sia sul mare che sulla terraferma, è coperta da nuvole. La pioggia proveniente da queste nuvole convoglia a formare corsi d'acqua e ad ingrossare fiumi. L'avvento dei satelliti ha permesso una visione ampia di vasti territori finalizzata all'osservazione diretta dei sistemi meteorologici, delle condizioni oceanografiche e del flusso d'acqua sui continenti e le isole. Una serie di scene adiacenti acquisite in brevi periodi di tempo possono essere rapidamente combinate in mosaici per ottenere una copertura globale giornaliera. Nel tempo, i satelliti lanciati su orbite geosincrone hanno raggiunto un grado di copertura quasi istantaneo degli emisferi terrestri in modo da fornire rapidi aggiornamenti sulla distribuzione dei banchi nuvolosi e le strutture di circolazione su quasi tutto il pianeta. Paradossalmente le nuvole, che sono gli elementi che compromettono in misura maggiore le osservazioni del suolo e degli oceani, rappresentano l'obiettivo primario dei satelliti meteo. Con la nascita di sensori più versatili è diventato possibile monitorare altre proprietà atmosferiche ed oceanografiche quali le temperature della stratosfera e della troposfera, il bilancio della radiazione terrestre, la chimica dell'aria, i venti e le correnti marine, i ghiacci sul mare e i nutrienti marini biotici. Combinando osservazioni frequenti in una sequenza temporale (un intervallo totale dalle 6 alle 24 ore), è possibile mostrare un'animazione dell'evoluzione del sistema meteorologico su scale da locali a continentali, ottenendo le immagini a cui siamo abituati nei telegiornali.

3.5 Osservazioni Oceanografiche

Il tipo di informazione ricavata dai sensori include: la temperatura superficiale dell'acqua, i modelli di correnti oceaniche, la formazione di vortici e cerchi, le correnti di risalita, i venti superficiali, i movimenti delle onde, il colore del mare, indicativo della concentrazione di fitoplancton, e i ghiacci marini alle alte latitudini.

Le acque costiere adiacenti ai margini continentali mostrano in genere considerevoli variazioni nella temperatura superficiale. Alcuni di questi sono dovuti al mescolamento di acque fluviali, ma le correnti oceaniche e di risalita modificano i modelli. Osservate le due immagini in infrarosso termico del NOAA AVHRR di una parte della costa californiana da Mendocino sud a Lompoc (in alto) e la grande Isola di Hawaii (in basso), in cui le acque più calde al largo sono rappresentate dai toni più chiari. Le correnti oceaniche come quella del Golfo nella costa Est degli U.S. e la corrente Pacifica nella costa Occidentale, sono il risultato della redistribuzione di acque calde accumulate nelle regioni tropicali verso zone più fredde ad alte latitudini.

3.6 Idrologia: le alluvioni

Dove le alluvioni sono molto frequenti l'uso dei satelliti ha fornito un considerevole contributo per la stima dei danni. Una delle alluvioni, fra le più devastanti avvenute negli ultimi cento anni, fu causato dallo scioglimento delle nevi e dalle piogge alla fine di Marzo 1973. L'evento ripreso in una scena Landsat, confrontata con una precedente all'alluvione, in un giorno privo di copertura nuvolosa, mostra St Louis, Missouri e le pianure alluvionali del Mississippi, Missouri, e il fiume Illinois. Vent'anni dopo queste aree sono state nuovamente colpite da un più grande evento alluvionale. Le aree più colpite andavano dallo Iowa all'Illinois del sud. Gli argini si ruppero inondando decine di migliaia di ettari; l'alluvione del 1993 è stata una delle più costose nella storia degli Stati Uniti, si stima sia costata circa 15 miliardi di dollari. In questa occasione sono state analizzate diverse immagini radar.

3.7 Terremoti: Vulnerabilità e Rischio sismico

A conclusione delle applicazioni dei dati satellitari si espone di seguito l'utilizzo degli stessi sia per la valutazione della vulnerabilità e del rischio sismico in generale che per la stima e la localizzazione dei danni post sisma. Per perseguire gli obiettivi sopra citati sono necessari dati, immagini, relative alle scene dell'evento sismico immediatamente antecedenti e immediatamente successive al sisma, infine quelle relative al periodo compreso tra i due istanti per valutare il movimento tettonico pre-sismico e co-sismico con la giusta precisione e dettaglio nella scena osservata.

Sono state già svolte applicazioni in merito dal prof. Roland T. Eguchi et al. sia in "Using Advanced Technologies to Conduct Earthquake Reconnaissance After the 1999 Marmara Earthquake". In tale ambito è stato studiato il Terremoto di "Marmara" dove si sono generate in alcuni minuti le informazioni di post-disastro, che in passato si ottenevano impiegando anni di lavoro dopo l'evento. Tali informazioni sono state ottenute con l'uso di database e di sofisticati programmi che sfruttano algoritmi di geocodifica integrati in sistemi informativi geografici (GIS). Quindi nel senso più generale, hanno mostrato come progettare gli interventi per la gestione del disastro quasi in tempo reale. Usando una tecnica di analisi chiamata "interferometria" è possibile scoprire minutamente come cambia la superficie della terra comparando una serie di immagini radar rilevate in tempi diversi. In particolare l'interferometria radar ad apertura sintetica (SAR) differenziale è una tecnica di telerilevamento che consente la valutazione delle deformazioni della superficie terrestre con precisioni dell'ordine della lunghezza d'onda del segnale trasmesso: tipicamente dell'ordine del centimetro. Tale risultato è ottenibile a partire dal calcolo della differenza di fase (denominata interferogramma) tra due immagini SAR, relative alla zona di interesse, ottenute da acquisizioni effettuate in istanti differenti. In tal caso, poiché le acquisizioni avvengono generalmente non solo in tempi differenti ma anche da posizioni differenti, la differenza di fase delle due immagini SAR è legata sia alle deformazioni della superficie osservata (avvenute nell'intervallo di tempo tra le acquisizioni) sia alla topografia della zona. E' necessaria perciò una operazione di compensazione del suddetto contributo di fase topografica al fine di separarlo da quello di deformazione; il risultato così ottenuto è denominato interferogramma differenziale ed è generato nella geometria di osservazione del radar.

Di seguito si riporta una suggestiva immagine che rappresenta un tipico esempio di interferogramma differenziale relativo alla misura degli spostamenti cosismici. Tale immagine si riferisce alla elaborazioni eseguite nel periodo di tempo tra settembre e ottobre 1999, relative alla faglia californiana ripresa dal sensore SAR del satellite ERS⁴⁰.

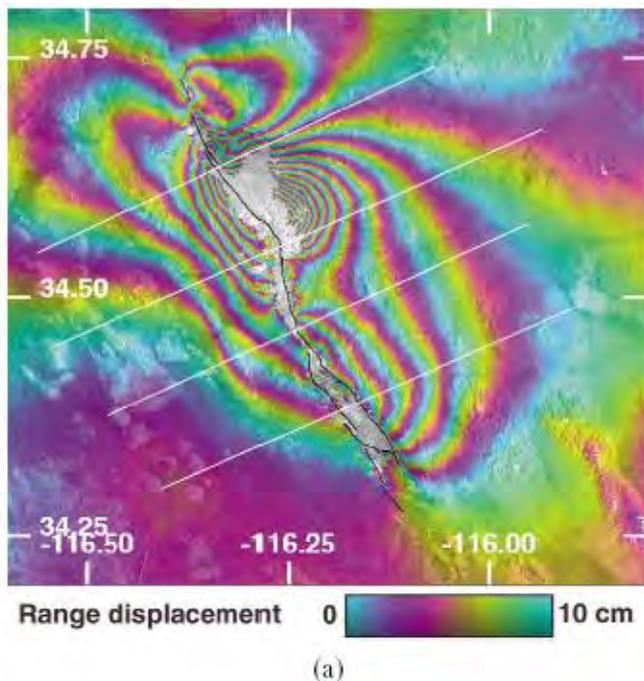


Fig. 3.1 Interferogramma differenziale

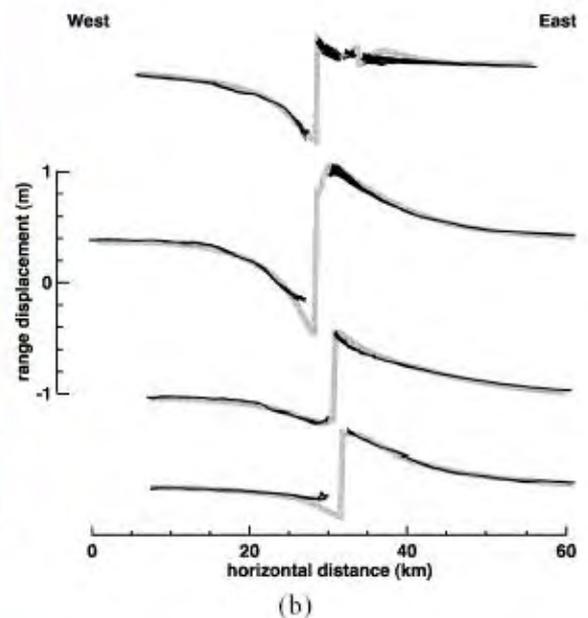


Fig. 3.2 Misura degli spostamenti con dati interferometrici

⁴⁰ The Mw 7.1, Hector Mine, California earthquake: surface rupture, surface displacement field, and fault slip solution from ERS SAR data Gilles Peltzer, b., Frédéric Crampéa, b., Paul Rosenb.

3.8 LiDAR

A conclusione dell'esposizione si riporta il sensore Light Detection and Ranging (LIDAR or lidar) tale tipo di sensore usa gli stessi principi del RADAR. Il lidar sostanzialmente è uno strumento che illumina il bersaglio con una fascio puntuale di luce. La "luce" riflessa, ovvero il segnale di ritorno di questa strumentazione (reflected/scattered) trova largo impiego nelle procedure di accertamento e stima dei danni (Assessment of Advanced Technologies for Loss Estimation). Lidar, laser radar, optical radar and ladar è il nome utilizzato per indicare i particolari sistemi "radar" che utilizzano radiazioni (onde) elettromagnetiche a frequenze ottica. La lunghezza d'onda utilizzata è 10,000 o 100,000 volte più corta di quella utilizzata dai radar convenzionali. I laser radar possono funzionare per onde continue (continuous-wave CW) o ad impulsi. I radar CW laser si usano quando può essere integrato su lunghi periodi e/o il bersaglio è vicino. I Pulsed lidar sono generalmente usati per il telerilevamento di aree vaste e nei casi in cui l'integrazione del segnale non è praticabile.

Le tre principali tipologie di lidar sono le seguenti:

- range finders;
- DIAL ;
- Doppler lidar.

Il lidar di tipo range finders è il più semplice ed è usato per misure di distanze o classificazione di oggetti al suolo. Differential Absorption Lidar (DIAL) è usato invece per la misurazione delle concentrazioni degli elementi chimici presenti nell'atmosfera (come ozono vapore acqueo ed inquinanti vari) attraverso due lunghezze d'onda laser, delle quali una viene assorbita dalla molecola di interesse. La differenza di intensità tra due segnali di ritorno fornisce una indicazione della concentrazione del composto. Infine, il Doppler lidar è usato per la misura della velocità di diverse grandezze quali il vento (attraverso la riflessione delle particelle in sospensione), seguendo il ben noto dell'effetto Doppler. Il Lidar mapping è un "emerging tool" usato da piattaforme aeree per realizzare in modo speditivo mappe tridimensionali georeferenziate tipo quella di seguito riportata, realizzata mediante una scansione altimetrica del territorio.



Fig. 3.3 Lidar mapping

Il Lidar è un eccellente sorgente di dati XYZ in formato ASCII per la restituzione rapida di modelli digitali del terreno (DTM - digital terrain model) con un livello di precisione dei dati altimetrici di circa 15cm.

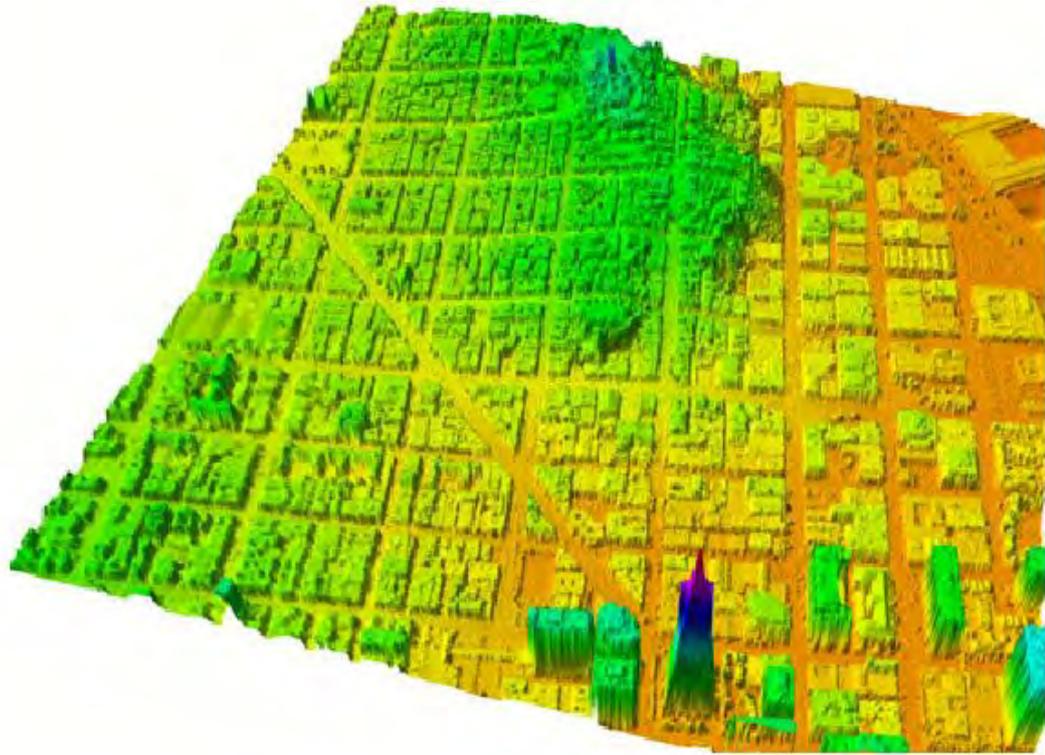


Fig. 3.4 Lidar mapping

Il satellite NOAA's Coastal Services Center usa la tecnologia lidar, in partnership con la NASA e la USGS, per documentare e monitorare i cambiamenti della fascia costiera. Una possibile applicazione di tale tecnologia è quella della stima dei danni post sisma. Un esempio di applicazione consiste nella stima speditiva dei crolli. La figura che segue mostra una tragica visione dei danni provocati dal terremoto di Izmit in Turchia del 18 agosto 1999.



Fig. 3.5 Terremoto di Izmit in Turchia

Il passaggio del satellite su tale zona avrebbe potuto dare una stima immediata dei volumi persi, individuando di conseguenza anche le zone dove concentrare i soccorsi.

3.9 Stima dei danni mediante immagini da satellite ad alta risoluzione

Una ulteriore metodologia di riconoscimento del danno è quella proposta da L. Chiroiu - G. André - F. Bahoken dell'Università di Parigi . Gli autori propongono l'utilizzo di immagini ad elevata risoluzione ai fini della stima dei danni da sisma. Una applicazione interessante è stata svolta dagli stessi utilizzando delle immagini riferite al terremoto di magnitudo 7.7 registratosi in India occidentale il 26.01.01.



Fig. 3.6 Totale collasso degli edifici racchiusi nel cerchio rosso.

Fig. 3.7 Collasso di alcuni edifici

Utilizzando strumenti di tipo GIS è possibile analizzare le immagini mediante una “semiotica” del danno stimando i volumi danneggiati o distrutti. Mediante tale metodologia è possibile individuare i crolli localizzati, i danni diffusi e la distribuzione spaziale del danno in generale.



a)

Fig. 3.8



a) Edificio collassato classificato come danno totale; b) Confronto tra danno completo (in rosso) e danno estensivo (in giallo); c) Intera zona classificata a forte danno.

Fig. 3.9

3.9 Conclusioni

Il telerilevamento e le sue numerose applicazioni rendono la disciplina di EO (Earth Observation) una delle materie di notevole interesse per il mondo scientifico e per la ricerca in genere. Le sue applicazioni nel campo del monitoraggio sono notevoli, particolare attenzione va rivolta all'interferometria di tipo SAR ed al LiDAR per le quali è auspicabile in un immediato futuro anche l'applicazione di monitoraggio di edifici strategici o superstrutture (ponti, dighe, etc) per le quali spostamenti di alcuni centimetri (in un immediato futuro alcuni millimetri) possono essere di significativo interesse. Inoltre come mostrato dagli esempi sopra esposti è pensabile anche un'attività di protezione e prevenzione nonché di mitigazione del rischio sismico.

Applicazioni pensabili sono tutte quelle che si riducono alla "osservazione dei cambiamenti" volte al confronto di immagini relative alla stessa scena ripresa prima e dopo l'evento sismico. Tale confronto è eseguibile al fine di realizzare stime speditive dei danni. E' di notevole interesse anche la realizzazione di un sistema integrato con ambienti di tipo GIS per la stima della vulnerabilità del costruito. Ciò premesso va osservato che lo sviluppo di tali metodologie richiede uno studio applicativo della disciplina, per il quale sono necessari mezzi e strumenti a tutt'oggi non disponibili nel nostro dipartimento di Ingegneria Civile.

BIBLIOGRAFIA

- *Faella-Palazzo-Petti* “Sistema pilota di previsione e prevenzione dei rischi derivanti dalle azioni sismiche nel territorio regionale” - *Consorzio Universitario Grandi Rischi (C.U.G.R.I.)*.
- Remote sensing (second edition) Models and Methods for image processing R. A. Schowengerdt.
- REMOTE SENSING IN ARCHAEOLOGY XI ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in Archeologia. Certosa di Pontignano (Siena), 6-11 dicembre 1999.
- Corso introduttivo al telerilevamento da satellite PLANETEK Italia.
- SISTEMA TERRA, Vol. VII, No. 1-3 – 1998.
- Ronald T. Eguchi et al. Using Advanced Technologies to Conduct Earthquake Reconnaissance. After the 1999 Marmara Earthquake
- A New Application for Remotely Sensed Data: Construction of Building Inventories using Synthetic Aperture Radar Technology
- Alaska SAR Facility Scienti.c SAR User’s Guide byCoert Olmsted, Senior Programmer/Analyst July 1993.
- The Mw 7.1, Hector Mine, California earthquake: surface rupture, surface displacement field, and fault slip solution from ERS SAR data Gilles Peltzer,a,b,, Frédéric Crampéa,b, Paul Rosenb.
- ERS-1/ERS-2 Observations of Umbria 1997 Earthquakes - M. Tesauro, S. Stramondo, E. Sansosti, R. Lanari, G. Fornaro.
- SAR Interferometry in Umbria by Means of ERS Repeat Pass - A. Ferretti, C. Prati, F. Rocca, L. Benedetti, R. Armijo.
- Brivio P.A., G.M. Lechi e E. Zilioli Il Telerilevamento da aereo e da satellite Carlo Delfino Ed., Sassari, Italia, 1992.
- AIT informa rivista italiana di telerilevamento.
- Assesment of Advanced Technologies for Loss Estimation Dr. Davide M. Taralli
- Earthquake loss estimation using high resolution satellite imagery L. Chiroiu - G. André - F. Bahoken
- Real-Time Loss Estimation as an Emergency Response Decision Support System: The Early Post-Earthquake Damage Assessment Tool (EPEDAT) James D. Goltz et al. Member, EERI
- GLOBE SAR 2 Natural Resurces Canada – Canada Center for Remote Sensing

SITI INTERNET

http://www.asita.it/ait/	Associazione Italiana Telerilevamento.
http://www.asi.it	Agenzia Spaziale Italiana.
ww.planetek.it/	Società che si occupa di telerilevamento.
http://www.planetek.it/attivita/progetti/progetti97/manhuma/	Progetto “manhuma” per il monitoraggio delle aree umide.
http://telsat.belspo.be/beo/en/satellites/index.htm	Satelliti e sensori.
http://space.tin.it/clubnet/npierdic/Telerilevamento1/TLR_INTRO/tlr%20intro.htm	Slide sul Telerilevamento.
http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.html	Satelliti LANDSAT
http://www.datameteo.com/sat/noaa.apr.htm	Satellite NOAA
http://www.isro.org	CARTOSAT-1(IRS-P5)
http://www.isro.org	CARTOSAT-2
http://www.inpe.br/programas/cbers/english/index.html	CBERS 3
http://www.imagesatintl.com/	EROS A1
http://www.imagesatintl.com/	EROS B1
http://www.imagesatintl.com/	EROS B2
http://www.spaceimaging.com/	Ikonos 2
http://www.isro.org http://www.nasa.gov	NASA.
http://www.irece.na.cnr.it/risultati/flegrei/flegrei.html	IRECE
http://www.esa.esrin.it	Agenzia Spaziale Europea.
http://www.jpl.nasa.gov	Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology
http://www.isro.org	IRS-1D
http://www.orbimage.com/	OrbView-4
http://www.orbimage.com/	OrbView-3
http://www.digitalglobe.com/	QuickBird 2 (renommé QuickBird)
http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/tekrd/radarsat/rsate.html	RADARSAT-2
http://www.spin-2.com/	SPIN-2
http://www.spotimage.fr	SPOT 5