

Corso di Telerilevamento

Corso di Telerilevamento on line

INDICE:

1 - Presentazione del corso

2 - Breve storia del telerilevamento

3 - Principi di base

- 3.1 - Cos'è il telerilevamento
- 3.2 - I principi della radiazione elettromagnetica
- 3.3 - Lo spettro elettromagnetico
- 3.4 - La propagazione dell'energia
- 3.5 - Interazione energia - atmosfera
- 3.6 - Interazione radiazione - Materia
- 3.7 - Caratteristiche Spettrali degli elementi della superficie terrestre

4 - Analisi di un sistema di telerilevamento

- 4.1 - Segmento Spaziale
 - 4.1.1 - Il Bus
 - 4.1.2 - Sensori Attivi e passivi
 - 4.1.3 - Le orbite
- 4.2 - Segmento terrestre

5 - Principali missioni

- 5.1 - Landsat : il multispectral Scanner
- 5.2 - Landsat : il thematic Mapper
- 5.3 - Il satellite spot
- 5.4 - I satelliti IRS
- 5.5 - Satelliti commerciali ad altissima risoluzione
 - 5.5.1 - IKONOS II
 - 5.5.2 - EROS-A1
 - 5.5.3 - QUICKBIRD-2
 - 5.5.4 - OrbView-3
- 5.6 - SIR-A,-B,-C sulle missioni shuttle
- 5.7 - I satelliti ERS
- 5.8 - Il satellite JERS
- 5.9 - Envisat-1
- 5.10 - Terra
- 5.11 - I sistemi Iperspettrali
- 5.12 - SeaWifs
- 5.13 - Sensori e satelliti meteorologici

- 5.14 - Missioni pianificate: Cosmo Skymed
- 5.15 - Radarsat-2
- 5.16 - ALOS
- 5.17 - TerraSAR
- 5.18 - SAOCOM
- 5.19 - SMOS
- 5.20 - METOP
- 5.21 - NPOESS

6 - Elaborazione delle immagini e interpretazione

- 6.1 - Banda 3 TM di Morro Bay, California
- 6.2 - Bande del Thematic Mapper
- 6.3 - Identificazione delle caratteristiche della scena
- 6.4 - Rappresentazione in falsi colori
- 6.5 - Rappresentazione in colori reali
- 6.6 - Altre combinazioni di colori
- 6.7 - Tecniche di Enfaticizzazione
 - 6.7.1 - Contrast Stretching
 - 6.7.2 - Filtri spaziali
 - 6.7.3 - Analisi delle Componenti Principali
 - 6.7.4 - Rapporto tra bande
- 6.8 - Estrazione dell'informazione
 - 6.8.1 - Classificazione unsupervised
 - 6.8.2 - La classificazione guidata (supervised)
 - 6.8.3 - Classificazione "Minima Distanza"
 - 6.8.4 - La classificazione in "Massima Verosimiglianza"

7 - Applicazioni del telerilevamento

- 7.1 - Geologia
- 7.2 - Agricoltura e foreste
- 7.3 - Uso del suolo
- 7.4 - Meteorologia
- 7.5 - Osservazioni Oceanografiche
- 7.6 - Idrologia: le alluvioni
- 7.7 - Integrazione del telerilevamento nei Sistemi Informativi Geografici

1 - Presentazione del corso - Introduzione

Benvenuti al Corso On-line di Telerilevamento - un contributo di Planetek Italia all'apprendimento del ruolo delle scienze e tecnologie dello spazio nel monitoraggio della superficie terrestre e dell'atmosfera - finanziato dal Programma CEO. Attraverso il corso sarete in grado di comprendere come il telerilevamento può essere utilizzato per lo studio del nostro pianeta. Non solo vedrete quale utilizzo è stato fatto in passato delle foto aeree e delle immagini dallo spazio come registrazioni della geografia della Terra, ma anche i futuri programmi per la realizzazione di sistemi di monitoraggio avanzati. Inoltre svilupperete esperienza nell'interpretazione di questi dati sia attraverso interpretazione visiva delle immagini sia attraverso elaborazioni al computer.

Nel telerilevamento viene fatto uso di strumenti o sensori in grado di "catturare" le relazioni spaziali e spettrali di oggetti ed elementi osservabili a distanza, tipicamente dall'alto. In genere siamo abituati a guardare il nostro pianeta da un punto di vista più o meno orizzontale vivendo sulla sua superficie. In queste condizioni ovviamente la nostra vista è limitata a piccole aree anche a causa di ostacoli come edifici, alberi e rilievi topografici. Il nostro campo di vista è largamente ampliato se guardiamo dall'alto di un edificio elevato o dalla cima di una montagna e cresce ulteriormente se guardiamo da un aereo che viaggia alla quota di 10.000 metri. Da una prospettiva verticale o alta obliqua, la superficie al di sotto ci appare notevolmente differente rispetto a quando la guardiamo dalla superficie stessa. In questo modo vediamo l'insieme degli elementi della superficie come apparirebbero su una mappa tematica nelle loro relazioni spaziali.

Per dirla in breve, questo è il motivo per il quale il telerilevamento utilizza più spesso piattaforme come quelle aeree e satellitari con sensori a bordo in grado di rilevare e analizzare aree estese. E' questa la maniera pratica, sistematica ed economica di mantenere ed aggiornare le informazioni sul mondo che ci circonda.

Anzichè fornire un corso formale sull'argomento con capitoli sui principi, le tecniche e le applicazioni in maniera pedagogica e sistematica, intendiamo condurvi semplicemente attraverso una serie di sezioni ognuna delle quali focalizza una o più tematiche. Poichè la maggior parte dei dati telerilevati possono essere visualizzati, procederemo fornendo illustrazioni come immagini spaziali, classificazioni, mappe e grafici piuttosto che dati numerici, sebbene questi ultimi siano la fondamentale conoscenza di base per coloro che devono trasferire queste informazioni nelle proprie applicazioni scientifiche. (Molto materiale è stato direttamente prelevato dalla rete Internet; siamo grati verso tutte le organizzazioni e i privati che non possiamo citare per evitare l'interruzione del testo).

Le illustrazioni saranno accompagnate da descrizioni e discussioni che aiutino l'interpretazione di ciò che esse rappresentano.

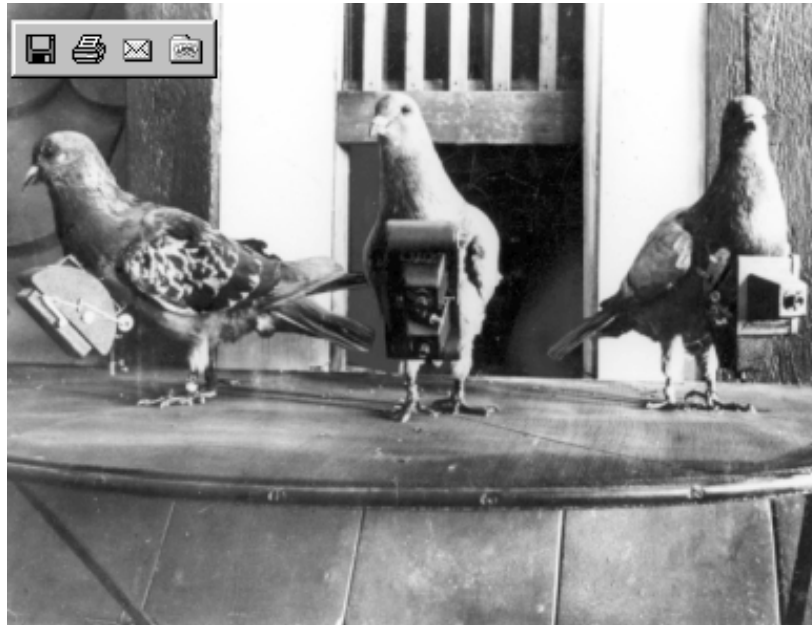
N.B. Per visualizzare correttamente il corso occorre predisporre un monitor a 17 pollici risoluzione video 800 x 600 ed almeno 256 colori.

Ci sono poi anche numerosi links ad altre sorgenti di informazioni sul telerilevamento e a vari programmi in svolgimento o pianificati. Questi a loro volta possiedono altri links che vi permetteranno di allargare le vostre conoscenze sui vari temi del telerilevamento e delle sue applicazioni più popolari.

Le immagini possono variare in qualità - nei toni, bilanciamento dei colori e risoluzione - in base alla vostra scheda grafica e ad altri fattori combinati. Ciò che è scritto nel testo quindi potrebbe non essere reso a pieno dallo schermo.

2 - Breve storia del telerilevamento

Il **telerilevamento** si può dire che ha inizio nel 1840 quando le mongolfiere acquisirono le prime immagini del territorio con la macchina fotografica appena inventata. Probabilmente alla fine dell'ultimo secolo la piattaforma più nuova era la rinomata flotta di piccioni che operava come novità in Europa.



La fotografia aerea diventò uno strumento riconosciuto durante la Prima Guerra Mondiale e lo fu a pieno durante la Seconda. L'entrata ufficiale dei sensori nello spazio cominciò con l'inclusione di una macchina fotografica automatica a bordo dei missili tedeschi V-2 lanciati dalle White Sands, NM. L'avvento dello Sputnik nel 1957 rese possibile il montaggio di macchine da ripresa su navicelle in orbita. I primi cosmonauti e astronauti documentavano con riprese dallo spazio la circumnavigazione del globo. I sensori che acquisivano immagini in Bianco e Nero sulla Terra vennero montati su satelliti meteorologici a partire dal 1960. Altri sensori sugli stessi satelliti potevano poi eseguire sondaggi o misure atmosferiche su una catena di rilievi.

Il telerilevamento raggiunse una successiva maturità, con sistemi operativi per l'acquisizione di immagini sulla Terra con una certa periodicità, nel 1970 con strumenti a bordo dello Skylab (e più tardi dello Space Shuttle) e su **Landsat**, il primo satellite espressamente dedicato al monitoraggio di terre e oceani allo scopo di mappare risorse culturali e naturali. Un sistema radar per l'acquisizione di immagini è stato il primo sensore a bordo di Seasat e negli anni '80 una varietà di sensori specializzati, CZCS, HCMM, e AVHRR tra questi, vennero messi in orbita come progetti di ricerca o fattibilità.

Il primo sistema radar non-militare fu lo Shuttle Imaging Radar **SIR-A** montato dal JPL a bordo dello Space Shuttle nel 1982. Altre nazioni realizzarono poi altri sensori simili o con distinte capacità. A partire dal 1980 il Landsat è stato privatizzato ed in diverse nazioni, tra cui Francia, Stati Uniti, Russia e Giappone, ha avuto inizio un utilizzo più vasto e commerciale del telerilevamento.

Per stimolare la vostra curiosità vi mostreremo ora una delle prime immagini Landsat che scaturì il forte interesse nell'utilizzo dei satelliti per il monitoraggio della Terra. La scena qui sotto viene dal Landsat 1 e raffigura il centro Nord dello Utah ripreso 15 giorni dopo il lancio (7 Agosto 1972).

Il lato destro dell'immagine è in rosso brillante - il colore tipico di foreste fitte e terreni erbosi in una composizione in falsi colori in cui al rosso viene associata la vegetazione sana che riflette molto

nel vicino infrarosso (guarda le sezioni successive per comprendere l'assegnazione dei colori in base alle risposte). L'area rossa sulla destra coincide con le alte montagne del Wasatch che si ergono ad Est dei deserti (nei toni di grigio) dello Utah occidentale.



Altre piccole chiazze rosse indicano le terre agricole delle piane del deserto. Il *Grande Lago Salato* occupa parte della scena in alto (guardando attentamente potrete vedere una leggera differenza di tono lungo un bordo dritto e netto; ciò è dovuto ad un'interruzione di circolazione dell'acqua dalle rete ferroviaria dell'Unione Pacifica). Il Lago Utah (più blu a causa del silt) si trova a sud di questo. L'area metropolitana della città di Salt Lake si distingue nell'immagine (vi sfidiamo a trovarla). Questa immagine ovviamente è una ripresa verticale.

Per rendervi familiare questo tipo di vista sulla Terra, vi aggiungiamo una veduta quasi orizzontale della città e del Fronte Wasatch ad Est: provate a mettere in relazione questa prospettiva obliqua con il suo aspetto ripreso dal Landsat.



Elenchiamo qui i principali satelliti messi in orbita da diverse nazioni (specificate tra parentesi) insieme alle date in cui il primo (e alcune volte l'unico) venne lanciato.

Gruppo 1 - **Osservazione della terra** : **Landsat** (1-6) (1973); **Seasat** (1978); **HCMM** (1978); **SPOT** (Francia) (1-3) (1986); **RESURS** (Russia) (1985); **IRS** (1A-1D) (India) (1986); **ERS** (1-2) (1991); **JERS** (1-2) (Giappone) (1992); **Radarsat** (Canada) (1995); **ADEOS** (Giappone) (1996) (Note: **SIR-A** (1981), **SIR-B** (1984), e **SIR-C** (1994) sono sistemi radar a bordo dello Space Shuttles).

Gruppo 2 - **Osservazione Meteo**: **TIROS** (1-9) (1960); **Nimbus** (1-7) (1964); **ESSA** (1-9) (1966); **ATS(g)** (1-3) (1966); **DMSP** serie I (1966); la serie Russa **Kosmos** (1968) e **Meteor** (1969); serie **ITOS** (1970); **SMS(g)** (1975); serie **GOES(g)** (1975); **NOAA** (1-5) (1976); serie **DMSP 2** (1976); serie **GMS** (Giappone) 9 (1977); serie **Meteosat**(g) (Europa) (1978); serie **TIROS-N** (1978); **Bhaskura** (India) (1979); **NOAA** (6-14) (1982); **Insat** (1983); **ERBS** (1984); **MOS** (Giappone) (1987); **UARS** (1991); **TRMM** (U.S./Giappone) (1997) (Nota 1: g = geostazionario).

Gruppo 3 -Di maggiore utilizzo in **Oceanografia**: **Seasat** (1978); **Nimbus 7** (1978) incluso il **CZCS**, Coastal Zone Color Scanner che misura la concentrazione di clorofilla in acque marine; **Topex-Poseidon** (1992); **SeaWiFS** (1997).

Questa lunga lista ci convince del fatto che il Telerilevamento è diventato uno strumento scientifico e tecnologico fondamentale utilizzato per monitorare le superfici del pianeta e atmosferiche. Infatti considerate che le spese sostenute per l'osservazione della Terra e di altri pianeti dai primi programmi spaziali ha superato i 150 miliardi di dollari. La maggior parte di questo denaro è stato utilizzato nelle applicazioni pratiche imperniate sulla gestione delle risorse naturali e ambientali. Questa tabella in basso riassume i principali utilizzi in 6 discipline.

Agriculture, Forestry and Range Resources	Land Use and Mapping	Geology	Water Resources	Oceanography and Marine Resources	Environment
Discrimination of vegetative types:	Classification of land uses	Recognition of rock types	Determination of water boundaries and surface	Detection of living marine organisms	Monitoring surface mining and reclamation
Crop types	Cartographic mapping and map updating	Mapping of major geologic units	water area and volume	Determination of turbidity patterns and circulation	Mapping and monitoring of water pollution
Timber types		Revising geologic maps	Mapping of floods and flood plains	Mapping shoreline changes	Detection of air pollution and its effects
Range vegetation	Categorization of land capability	Delineation of unconsolidated rock and soils	Determination of areal extent of snow and snow boundaries	Mapping of shoals and shallow areas	Determination of effects of natural disasters
Measurement of crop acreage by species	Separation of urban and rural categories	Mapping igneous intrusions	Measurement of glacial features	Mapping of ice for shipping	Monitoring environmental effects of man's activities (lake eutrophication, defoliation, etc.)
Measurement of timber acreage and volume by species	Regional planning	Mapping recent volcanic surface deposits	Measurement of sediment and turbidity patterns	Study of eddies and waves	
Determination of range readiness and biomass	Mapping of transportation networks	Mapping landforms	Determination of water depth		
Determination of vegetation vigor	Mapping of land-water boundaries	Search for surface guides to mineralization	Delineation of irrigated fields		
Determination of soil conditions	Mapping of (fractures)	Determination of regional structures	Inventory of lakes		
Determination of soil associations		Mapping linears			
Assessment of grass and forest fire damage					

La letteratura sulla teoria del telerilevamento, gli strumenti e le applicazioni è attualmente vasta, comprese riviste e atti di numerose conferenze e meetings. I grandi progressi nell'elaborazione di immagini al computer, e specie adesso la capacità dei personal computers di elaborare e gestire grosse quantità di dati, hanno reso possibile l'accesso di queste osservazioni satellitari alle università, agenzie gestionali, piccole compagnie di carattere ambientale, e anche privati.

Lo sviluppo concorrente e la crescita dei Sistemi Informativi Geografici ha fornito un significativo aiuto all'integrazione dei dati telerilevati con altri tipi di dati spaziali. L'approccio **GIS** è adatto alla raccolta, integrazione ed analisi di informazioni che hanno valore pratico in molti settori di supporto alle decisioni nella gestione risorse, e nel controllo ambientale.

La necessità di sviluppare sistemi di monitoraggio per l'osservazione dei cambiamenti nell'uso del suolo, la ricerca e la protezione delle risorse naturali e di tracciare le interazioni tra biosfera, atmosfera, idrosfera e geosfera sono diventate di prioritaria importanza per i manager, politici e le popolazioni nelle nazioni sviluppate e in via di sviluppo.

3 - Principi di base

La maggior parte dei testi di telerilevamento incominciano introducendo il lettore ai principi basilari necessari alla costruzione del background teorico (principalmente relativi alla fisica della radiazione). E' essenziale possedere queste conoscenze qualora si intendano approfondire molti aspetti del telerilevamento, ma in questo corso introduttivo non entreremo nei dettagli di queste tematiche che potranno essere studiate su testi specifici. Offriremo, piuttosto, un quadro generale dei concetti fondamentali dell'elettromagnetismo.

3.1 - Cos'è il telerilevamento

Hai certamente già sentito parlare di **telerilevamento**. Ma cosa significa? E' un'espressione di fantasia associata ad un concetto piuttosto semplice e senza dubbio anche familiare. Ogni qualvolta osservi lo schermo del tuo computer sei a tutti gli effetti coinvolto in un'operazione di telerilevamento.



Qualcosa di fisico (la luce) viene emesso da quello schermo (una sorgente di radiazioni) e attraversa lo spazio (quindi è in qualche modo "a distanza") fino a quando non incontra ed è catturato da un sensore (i tuoi occhi) che invia un segnale ad un processore (il tuo cervello). 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 (sia attraverso il contatto diretto che a mezzo di energia irradiata), 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. Tutte le sensazioni incluse nella lista precedente che non sono indotte da contatto diretto sono frutto di un rilevamento a distanza (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/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 elettromagnetica, o di energia acustica utilizzando macchine fotografiche, sistemi laser, ricevitori a radio frequenza, sistemi radar, 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 (e, quando possibile, sulla superficie di altri pianeti).

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".

3.2 - I principi della radiazione elettromagnetica

L'unità fondamentale utilizzata nei fenomeni elettromagnetici è il *fotone* (un tipo di "quanto", come definito nella teoria quantistica). Si tratta della particella subatomica che corrisponde alla radiazione emessa dalla materia eccitata termicamente, o da processi nucleari (fusione, fissione), 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, come illustrato nella figura sottostante.

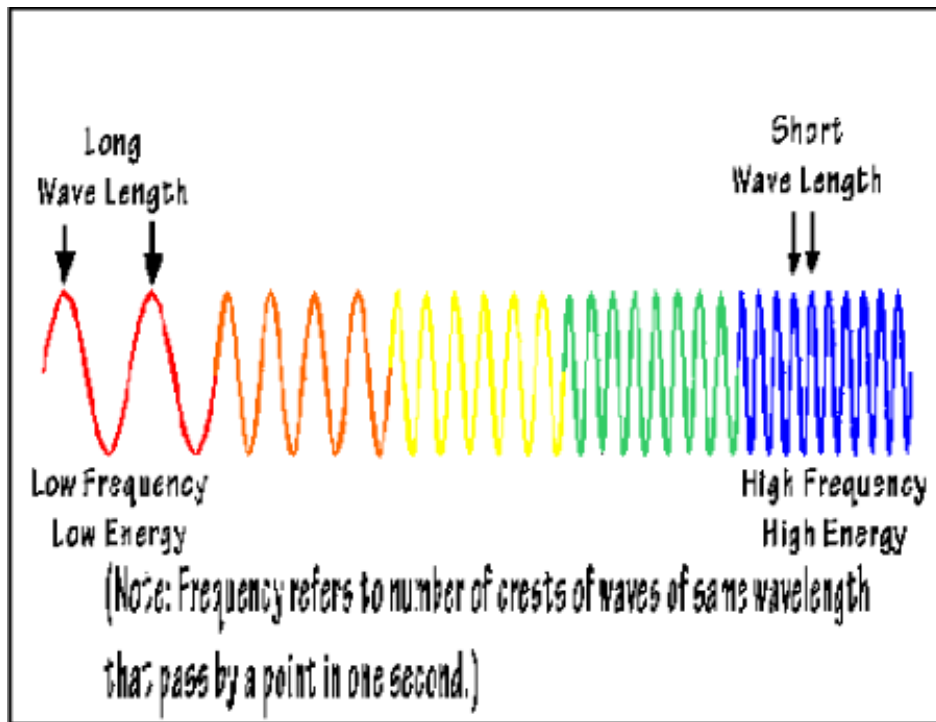


Diagram of sine waves at different frequencies.

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:

$$E = h\nu$$

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 e' 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 (frequenze più alte sono associate a lunghezze d'onda più piccole e viceversa), secondo la relazione:

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

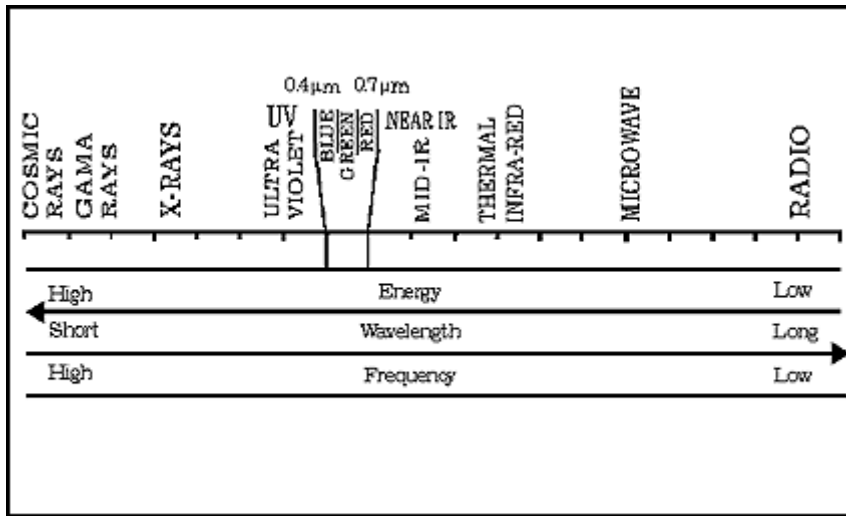
dove c è la costante che indica la velocità della luce, così che l'equazione di Planck può essere riscritta come $E = hc/\lambda$.

note

* I numeri 10^{-34} (incredibilmente piccolo) o 10^{12} (migliaia di miliardi, estremamente grande) sono in una notazione specifica che consente di esprimere numeri molto grandi o molto piccoli evitando di riportare tutte le cifre. Consente di semplificare un numero scomponendolo in due parti: la prima esprime il valore del numero come quantità reale compresa fra .9999... e 10; la seconda parte indica il numero di posti di cui spostare il punto decimale verso destra o verso sinistra. Si moltiplica la prima parte del numero per la potenza di dieci riportata nella seconda parte del numero per ottenere il suo valore. Si consideri la seconda parte del numero, del tipo 10^n , dove n può essere un intero negativo o positivo. Un n positivo indica il numero di zeri che seguono il numero 10, quindi, per $n=3$, il valore di 10^3 è 1 seguito da tre zeri, o 1.000 (dieci al cubo); 10^6 è 1.000.000, ovvero 1 seguito da sei zeri alla sua destra (Nota: $10^0 = 1$). E così 10^{60} indica 1.000.000.000.000.000... fino a 60 zeri. Analogamente, 10^{-3} (con $n = -3$) corrisponde a 0,001, equivalente alla frazione 1/1000, in cui ci sono due zeri (tre posti) prima del punto decimale; 10^{-6} e' 0,000001. Qualsiasi numero può essere rappresentato come il prodotto della sua espressione decimale (compresa fra .9999... e 10) e l'appropriata potenza di 10 (10^n). Quindi, 8.345 si riscrive $8,345 \times 10^3$; 0,00469 e' dato da $4,69 \times 10^{-3}$.

3.3 - Lo spettro elettromagnetico

La distribuzione delle energie di radiazione può essere rappresentata sia in funzione della lunghezza d'onda che della frequenza in un grafico noto come spettro elettromagnetico (EM)



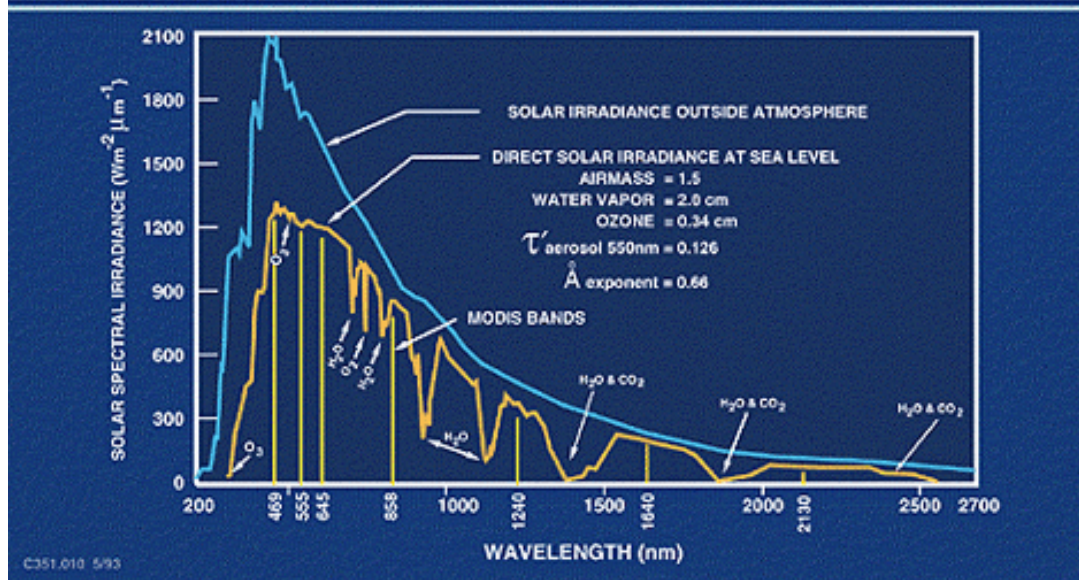
Lo spettro EM è stato arbitrariamente suddiviso in regioni o intervalli cui sono stati attribuiti nomi descrittivi. All'estremo più energetico (alte frequenze, piccole lunghezze d'onda) ci sono i raggi gamma e i raggi x (le cui lunghezze d'onda sono usualmente misurate in angstroms [\AA], ovvero in unità di 10^{-8} cm). La radiazione ultravioletta si estende da circa 300\AA a circa 4000\AA . Per le regioni centrali dello spettro è opportuno

utilizzare una fra le due seguenti unità di misura: micron (μm), ovvero multipli di 10^{-6} m o nanometri (nm), di base 10^{-9} m. La regione visibile occupa l'intervallo fra 0.4 e $0.7 \mu\text{m}$, o quello equivalente da 4000 a 7000\AA o ancora da 400 a 700 nm . La regione infrarossa, compresa fra 0.7 e $100 \mu\text{m}$, ha quattro sottointervalli di particolare interesse: (1) l'IR riflesso ($0.7 - 3.0 \mu\text{m}$) e (2) l'IR fotografico ($0.7 - 0.9 \mu\text{m}$), ovvero il range di sensibilità delle pellicole; (3) e (4) le bande termiche a ($3 - 5 \mu\text{m}$) e ($8 - 14 \mu\text{m}$). Per gli intervalli di lunghezze d'onda maggiori si passa dai mm ai cm ai metri. La regione delle microonde va da 0.1 a 100 cm ; include i range di frequenze di tutti i sistemi radar costruiti dall'uomo che producono la radiazione a microonde che "illumina" gli oggetti e viene da questi riflessa. La regione di lunghezze d'onda maggiori (frequenze più basse) oltre i 100 cm corrisponde alle bande radio.

3.4 - 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 (caratterizzata da un picco in prossimità di $5600 \text{ }^\circ\text{C}$). La radiazione solare incidente è prevalentemente concentrata nell'intervallo di lunghezze d'onda fra 200 e 3400 nm (0.2 e $3.4 \mu\text{m}$), con un massimo di potenza a circa 480 nm ($0.48 \mu\text{m}$) (nel verde). Quando la radiazione solare attraversa l'atmosfera terrestre una frazione dell'energia irraggiata viene assorbita o riflessa, e il resto è trasmesso.

LAND-SOLAR RADIATION

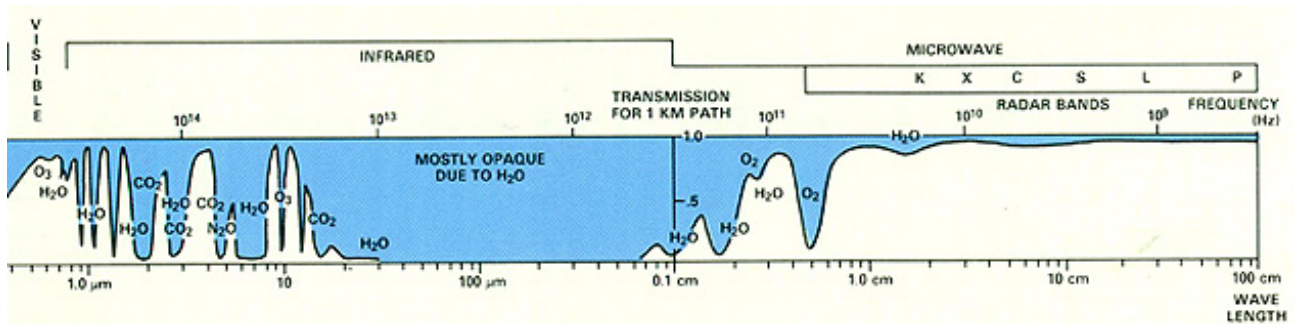


La radiazione incidente (tecnicamente, radianza sulla superficie terrestre o oceanica è caratterizzata da tre diversi modi di propagazione successiva:

- (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;
- (3) riflessione - parte della radiazione è effettivamente riflessa (e diffusa) dal bersaglio a diversi angoli (in funzione della "rugosità" della superficie e dell'orientazione relativa della direzione di incidenza della radiazione solare rispetto all'inclinazione della superficie), inclusa la direzione del sensore che effettua l'osservazione. Un gran numero di sistemi di telerilevamento sono designati alla misura della radiazione riflessa.

3.5 - Interazione energia / atmosfera

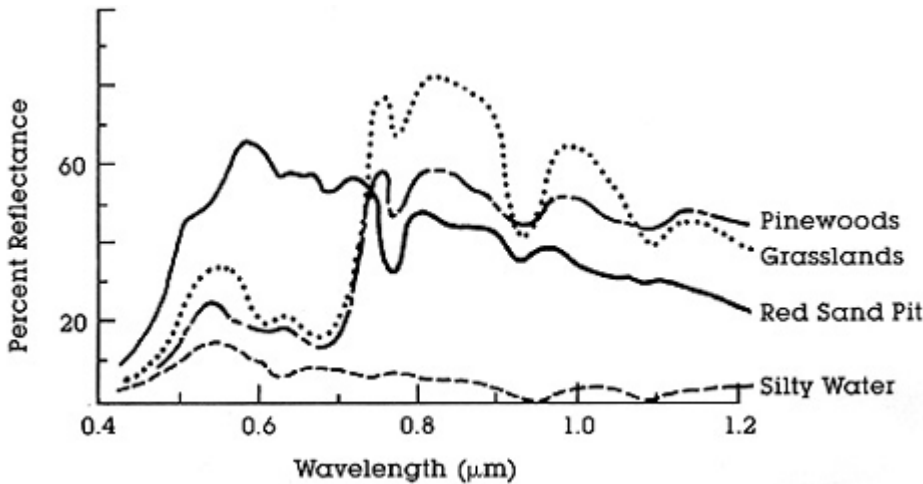
Di seguito è riportato un diagramma generalizzato che illustra la trasmissione atmosferica della radiazione incidente per diverse lunghezze d'onda.



Il blu evidenzia le zone di minima radiazione incidente e/o riflessa mentre in bianco sono riportate le aree note come "finestre atmosferiche" in cui la radiazione ha una quantità ridotta di interazioni con le diverse specie molecolari, e può quindi attraversare l'aria con perdite minime o nulle dovute all'assorbimento. La maggior parte dei sensori per il telerilevamento in aria o sulle piattaforme spaziali sono stati costruiti per operare in una o più di una di tali finestre e effettuano le misure utilizzando rivelatori "sintonizzati" su certe frequenze (lunghezze d'onda) specifiche che attraversano l'atmosfera. Nondimeno alcuni sensori, in particolar modo quelli a bordo dei satelliti meteorologici, mirano a misurare direttamente fenomeni di assorbimento, quali quelli dovuti al CO₂ e ad altre molecole gassose. Si osservi come l'atmosfera sia praticamente opaca alla radiazione EM in parte dell' infrarosso medio e in tutto l'infrarosso lontano. Nella regione delle microonde invece la maggior parte della radiazione attraversa l'atmosfera non ostacolata per cui i segnali radar di tutte le bande comunemente utilizzate raggiungeranno la superficie (sebbene le goccioline di pioggia producano riflessioni che consentono di rivelare le precipitazioni).

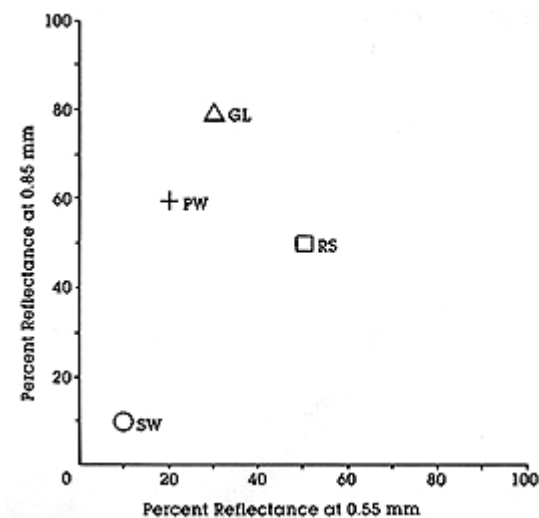
3.6 - Interazione radiazione / materia

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.



Dunque la sabbia può riflettere più luce della vegetazione a certe lunghezze d'onda ma assorbita 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 che segue, 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).

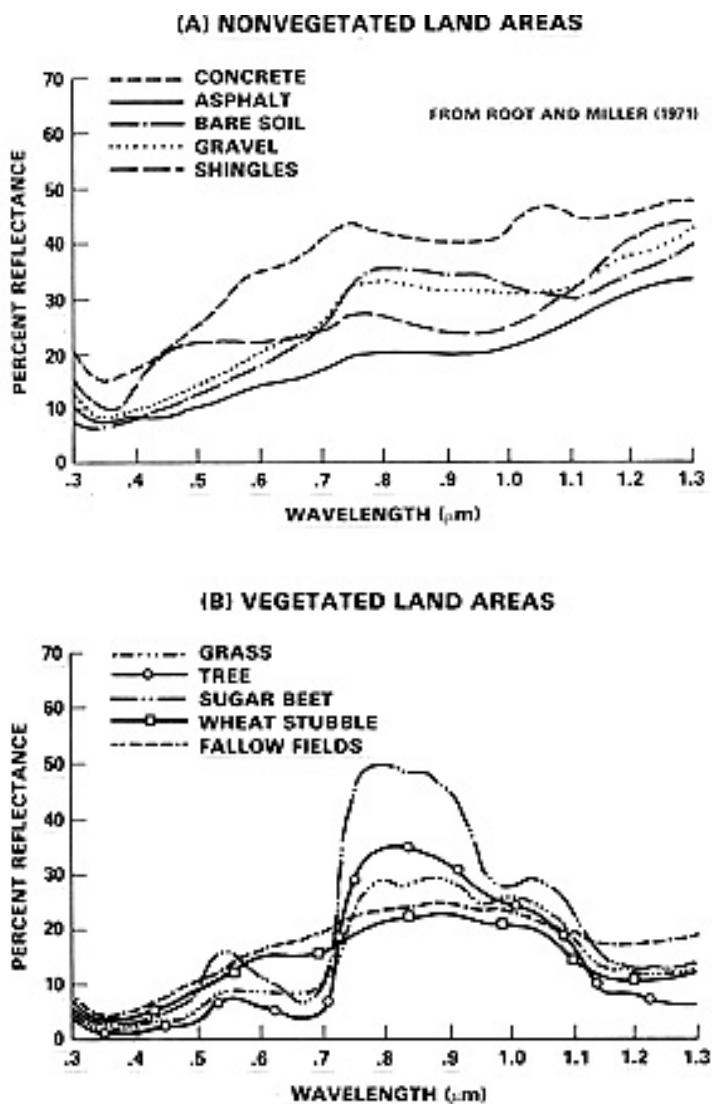


Qualora si considerino più di due lunghezze d'onda, i grafici in spazi multidimensionali tendono ad aumentare la separabilità di materiali diversi; questa è la base del telerilevamento multispettrale.

3.7 - Caratteristiche spettrali degli elementi della superficie terrestre

Nella coppia di curve spettrali mostrate sotto (misurate in campo con uno spettrometro portatile) è evidente che la risposta spettrale della vegetazione è distinta da quella della materia inorganica grazie alla improvvisa crescita della riflettività a circa 0.7 μm seguita da una graduale

diminuzione fino al raggiungimento dell'intervallo a 1.1 μm . Le prime curve (a sinistra o in alto) 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 μm e dalla risposta piatta nel resto della regione visibile [0.4 - 0.7 μm]). Le altre curve (a destra o in basso) indicano che gran parte dei tipi di vegetazione hanno una risposta molto simile fra 0.3 e 0.5 μm ; mostrano variazioni modeste nell'intervallo 0.5 - 0.6 μm ; e la loro massima variabilità (e quindi la discriminazione ottimale) è fra 0.7 e 0.9 μm .



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.

4 - Analisi di un sistema di telerilevamento

Nel capitolo precedente abbiamo appreso alcuni dei concetti fondamentali richiesti per meglio comprendere i fenomeni fisici che sono alla base del telerilevamento. Abbiamo trattato con un certo dettaglio tre componenti: 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; come l'energia viene registrata dal sensore. In questo capitolo prenderemo in considerazione quest'ultima componente del "sistema telerilevamento" per avere una migliore conoscenza delle caratteristiche delle piattaforme per il telerilevamento, dei sensori e dei dati che vi vengono acquisiti. Tratteremo anche del modo in cui questi dati vengono processati e registrati dal sensore stesso.

4.1 - Segmento spaziale

Le componenti principali di un sistema satellitare sono:

1. Il Bus (o piattaforma)
2. Il Payload (che comprende i sensori)

Importante nella caratterizzazione di un sistema di Osservazione della Terra è l'orbita selezionata.

4.1.1 - Il Bus

Il Bus o piattaforma è la parte principale del satellite, infatti tutti i satelliti hanno bisogno di una piattaforma per sopravvivere o operare nello spazio.

Una piattaforma è normalmente composta da una serie di sottosistemi che svolgono diverse funzioni e supportano il carico specifico.

I principali sottosistemi sono:

TTC:

(Telecommunication, Tracking and Control Subsystem): fornisce il collegamento radio tra il satellite e la stazione a terra. Questa componente è vitale per scaricare i dati acquisiti dal satellite a anche per trasmettere i comandi alle altre componenti del satellite e controllare parametri come temperature, tensione, carburante, stato del carico, ecc.

OBDH:

(On Board Data Handling): è l'unità di calcolo di bordo principale. L'importanza del sottosistema dipende dai requisiti di design del sistema e dalla strategia di missione e può essere semplicemente ridotta ad un sottosistema TTC con funzioni sofisticate come navigazione autonoma ed elaborazione a bordo dei dati

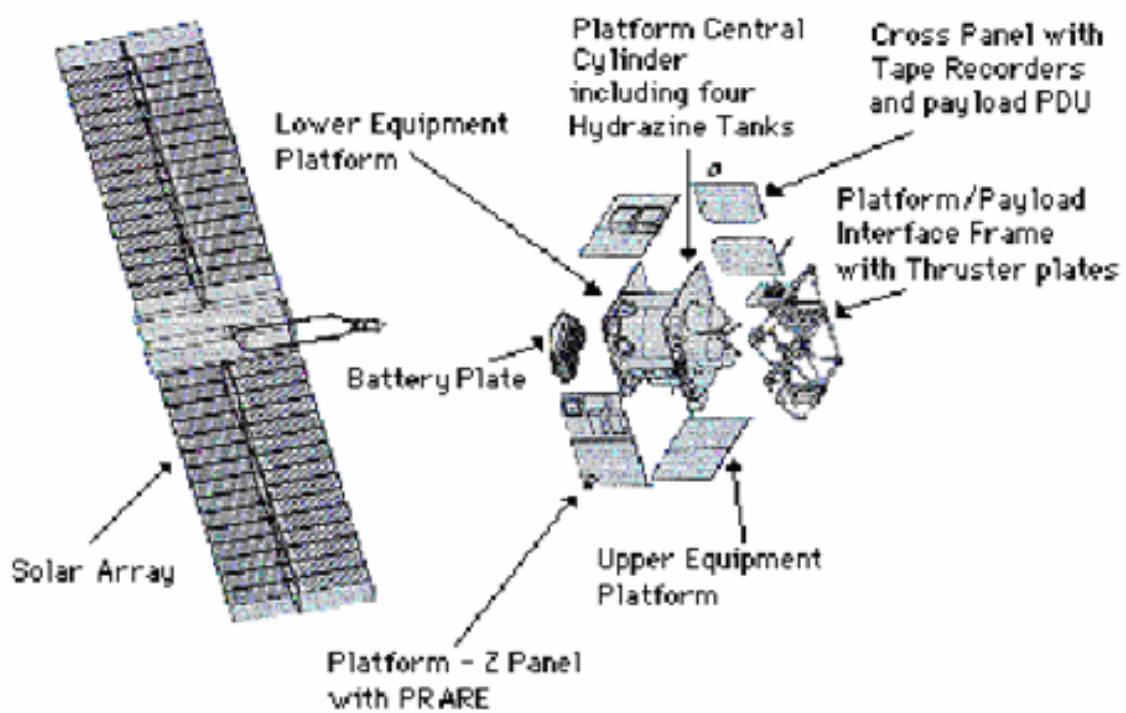
AOCS:

(Attitude Overall Control System): è l'insieme di dispositivi che assicurano stabilità e puntamento al satellite. E' composto da componenti per la messa in moto, ossia ruote inerziali, e sensori, come sensori stellari e GPS. Questo sottosistema è critico per la missione poiché il corretto puntamento determina una corretta geometria dei dati.

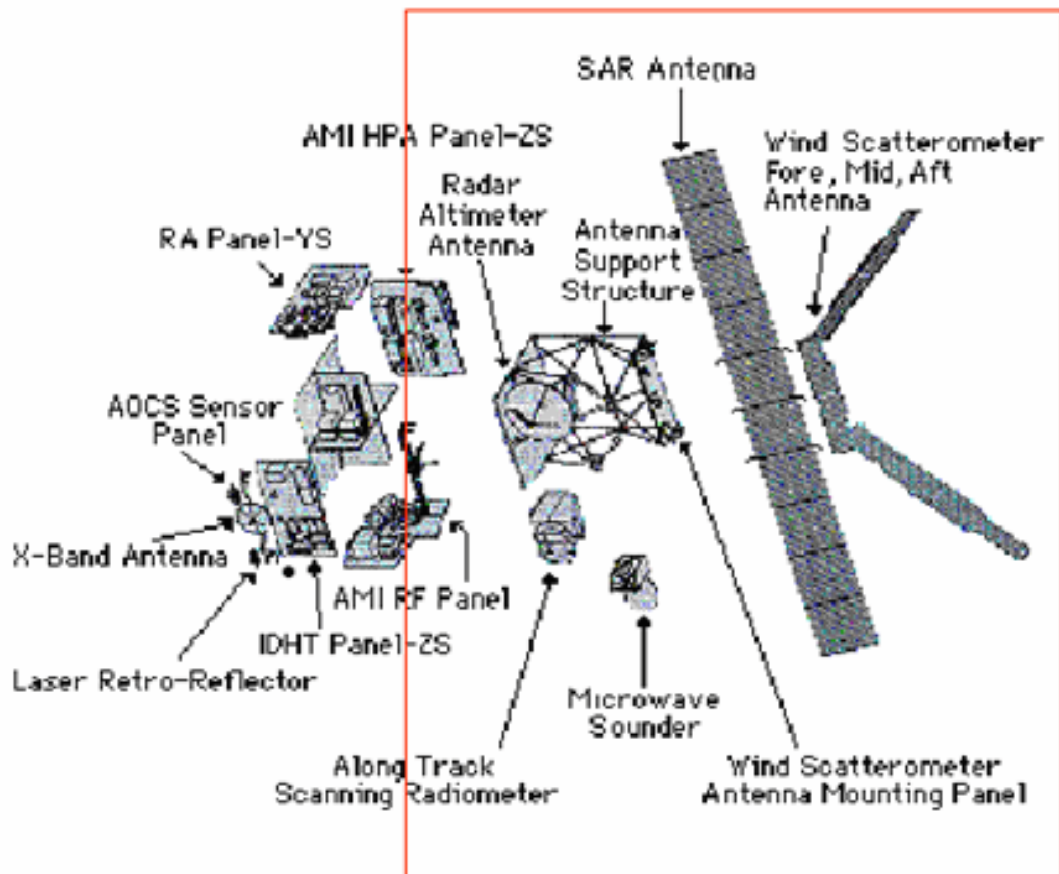
POWER ASSEMBLY:

fornisce l'energia elettrica alla piattaforma e al carico, in genere, è costituito da un set di pannelli solari, supportati da batterie che forniscono energia elettrica durante il lato in ombra dell'orbita.

BUS (PIATTAFORMA)



PAYLOAD



4.1.2 - 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 é inutilizzabile perché la radiazione corrispondente é totalmente bloccata dall'atmosfera. In definitiva, ciò che viene quindi registrato dal sensore ed espresso con un valore di intensità relativa, non é soltanto la radiazione proveniente dalla superficie, ma anche il risultato di tutti questi processi fisici di interazione con le particelle atmosferiche. Un sensore non é 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 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. Le piattaforme aeree sono spesso usate per ottenere immagini di dettaglio. Nello spazio il rilevamento a distanza è, a volte, effettuato da uno shuttle o, più comunemente, da satellite.

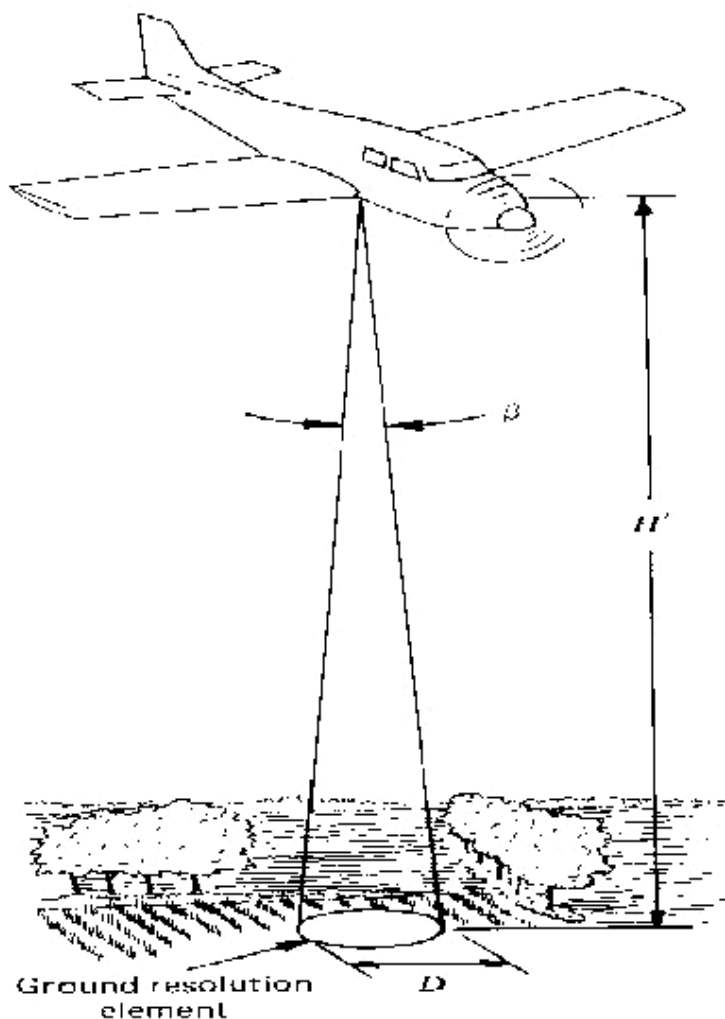
I sensori possono essere attivi o passivi: questi ultimi misurano la radiazione naturalmente disponibile (emessa o riflessa dagli oggetti), i sensori attivi generano invece un segnale che "illumina" l'oggetto e ne registrano l'eco di ritorno. I sensori passivi possono solo essere usati per registrare 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 é caratterizzato da quattro proprietà:

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

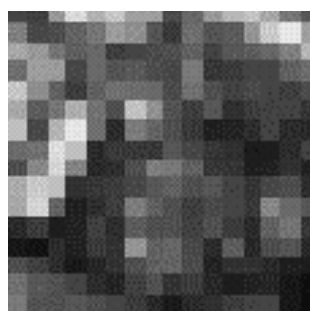
La **risoluzione spaziale** é l'area minima sul terreno vista dallo strumento da una data altezza ad un dato istante e viene rappresentata dalla dimensione dell'elemento di superficie riconoscibile in una immagine registrata da un sistema di telerilevamento o, ancora, dalla distanza minima entro la quale due oggetti appaiono distinti nell'immagine. Per alcuni strumenti di telerilevamento, la distanza tra gli oggetti che devono essere visualizzati e la piattaforma gioca un ruolo importante nel determinare il dettaglio delle informazioni ottenute e l'area totale visualizzata dal sensore. Sensori a bordo di piattaforme molto lontane dagli oggetti da osservare normalmente osservano un'area più grande ma non possono ottenere un grande dettaglio. Il dettaglio in una immagine dipende dalla risoluzione

spaziale del sensore. La risoluzione spaziale dei sensori passivi dipende prima di tutto dal loro Istantaneo Campo di Vista (Instantaneous Field of View o IFOV).

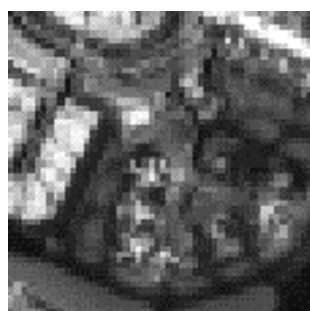


L'IFOV è il cono angolare di visibilità del sensore e determina l'area della superficie terrestre che è "vista" ad una data altezza in un particolare momento. La dimensione dell'area osservata è determinata moltiplicando l'IFOV per la distanza dal terreno al sensore. Quest'area sul terreno è detta cella di risoluzione e determina la risoluzione spaziale massima del sensore. Perché un oggetto omogeneo sia osservabile, la sua dimensione generalmente deve essere uguale o più grande della cella di risoluzione. Se l'oggetto è più piccolo di questa, non può essere identificato per cui sarà registrata la luminosità media di tutti gli oggetti in quella cella di risoluzione.

I satelliti commerciali forniscono immagini con risoluzioni che variano da pochi metri a diversi chilometri.



30 metri



10 metri



3 metri

La **risoluzione radiometrica** rappresenta la minima differenza di intensità che un sensore può rilevare tra due valori di energia radiante. 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. E' anche definito come il numero di livelli discreti in cui può venire suddiviso un segnale. I dati in una immagine sono rappresentati da numeri digitali positivi che variano da 0 a (uno meno di) una potenza di 2. Questo range corrisponde al numero di bits usati per codificare i numeri nel formato binario. Ciascun bit registra un esponente della potenza di due (per esempio 1 bit = $2^1 = 2$). Il massimo numero di livelli di luminosità disponibili dipende dal numero di bits usati per rappresentare l'energia registrata. Quindi se un sensore usa 8 bits per registrare i dati, i valori digitali disponibili sono $2^8 = 256$, variando da 0 a 255. Se sono usati solo 4 bits i valori disponibili saranno $2^4 = 16$ variando da 0 a 15 con una risoluzione radiometrica minore. I dati in una immagine sono generalmente visualizzati in un intervallo di toni di grigio con il nero che rappresenta il numero digitale 0 e il bianco che rappresenta il valore massimo (per esempio 255 in dati a 8 bit). Confrontando una immagine a 2 bit con una a 8 bit possiamo vedere che c'è una grande differenza nel livello di dettaglio individuabile in funzione della risoluzione radiometrica. Più alto è il numero di livelli di grigio, migliore è la risoluzione radiometrica.

La **risoluzione spettrale** é 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.

Le pellicole in bianco e nero registrano le lunghezze d'onda che si estendono su tutta la porzione del visibile dello spettro elettromagnetico. La sua risoluzione spettrale 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. Anche le pellicole a colori sono sensibili all'energia riflessa dalla porzione visibile dello spettro, ma hanno una risoluzione spettrale più alta per cui sono sensibili all'energia riflessa singolarmente nel blu, nel verde e nel rosso. Quindi possono rappresentare oggetti di diversi colori in funzione della loro riflettanza in ciascuno di questi intervalli di lunghezza d'onda. Molti sistemi di telerilevamento registrano l'energia di intervalli separati di lunghezza d'onda a diverse risoluzioni spettrali. Questi sono detti sensori multispettrali. Sensori multispettrali avanzati, chiamati iperspettrali, registrano centinaia di ristrette bande spettrali nella porzione dello spettro elettromagnetico del visibile, dell'infrarosso vicino e del medio infrarosso. La loro risoluzione spettrale molto alta rende possibile la discriminazione tra differenti oggetti sulla base della loro risposta spettrale in ciascuna delle bande.

La **risoluzione temporale** é il tempo che intercorre tra acquisizioni successive della stessa area. Il periodo di rivisitazione di un sensore satellitare è normalmente di diversi giorni. Quindi la risoluzione temporale assoluta di un sistema di telerilevamento per riprendere una seconda volta la stessa area con lo stesso angolo di vista è uguale a questo periodo. Comunque, a causa del fatto che c'è una certa sovrapposizione dell'ampiezza di ripresa di orbite adiacenti per la maggior parte dei satelliti, e che questa sovrapposizione aumenta all'aumentare della latitudine, alcune aree della Terra possono essere riprese più frequentemente. Inoltre, alcuni satelliti hanno la capacità di orientare i loro sensori per riprendere la stessa area in passaggi differenti con intervalli temporali più ristretti. Quindi la risoluzione temporale di un sensore dipende da una varietà di fattori fra cui le caratteristiche del satellite e del sensore, la sovrapposizione dell'ampiezza di ripresa e la latitudine.

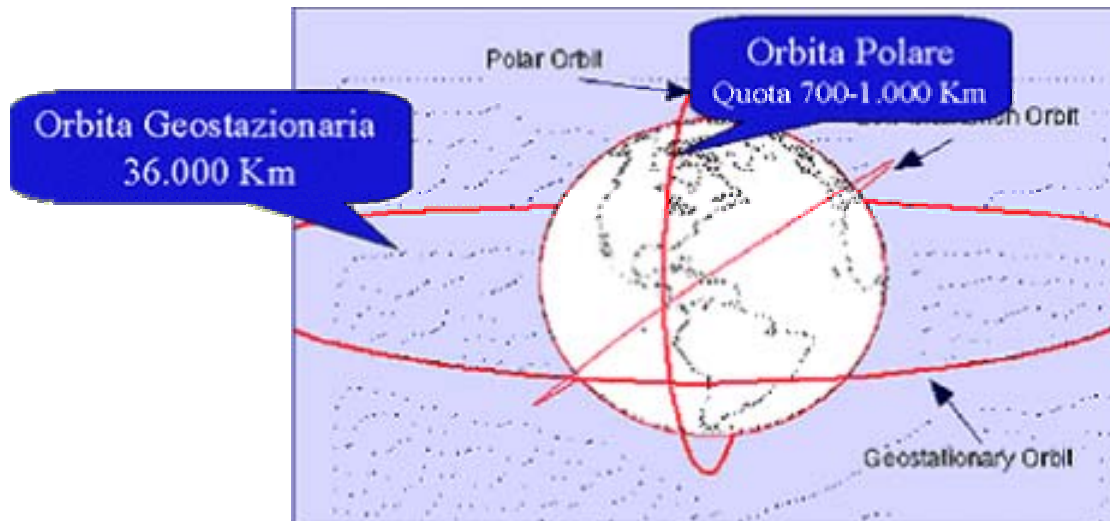
4.1.3 - Le Orbite

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 sul 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).

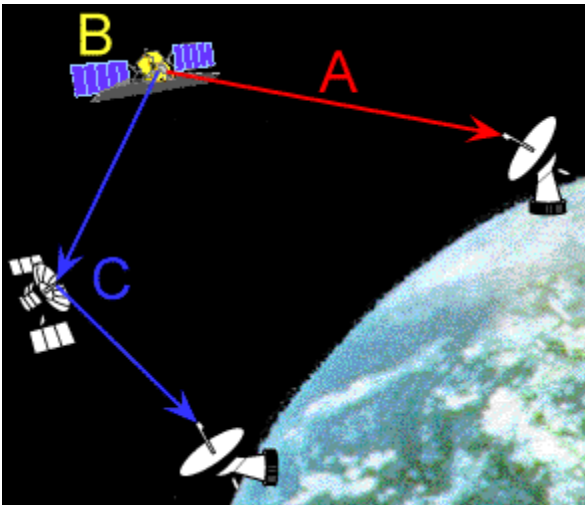
L'orbita Geostazionaria è un'ottima soluzione quando occorre un'acquisizione del sensore ogni 24 ore. Il vantaggio principale di quest'orbita è che il satellite vede un'area fissa della Terra e può acquisire e trasmettere in tempo reale i dati del carico. Lo svantaggio principale di quest'orbita è la distanza dalla Terra, 36.000 km, che rappresenta una sfida per la risoluzione del sensore e richiede lanci più complessi con costi aggiuntivi per la missione. Attualmente l'orbita GEO è usata per le missioni meteorologiche come METEOSAT e Eumetsat una missione per la difesa.



4.2 - Segmento terrestre

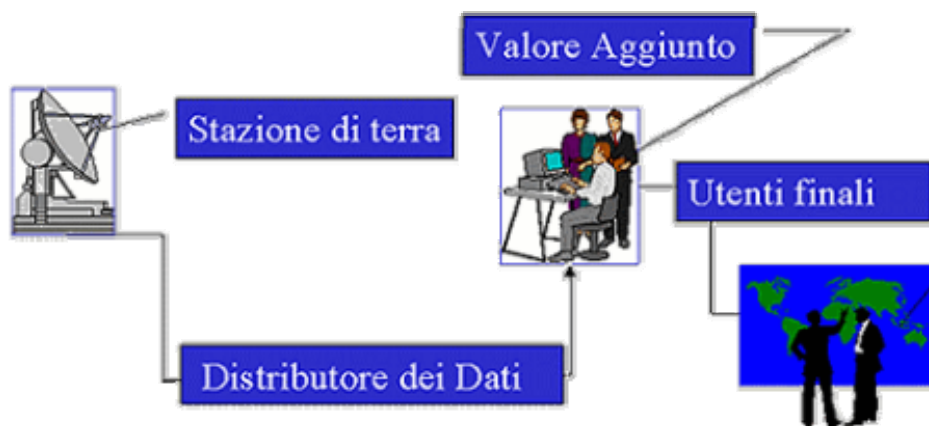
I dati ottenuti dalle missioni spaziali devono essere trasmessi alla Terra dal momento che il satellite continua a stare in orbita e ad acquisire dati. Anche da una piattaforma aerea possono essere usate queste tecnologie se è necessario che i dati siano trasmessi con urgenza.

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.



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" a bassa risoluzione sono usate per visionare le immagini archiviate prima che vengano acquistate. La qualità spaziale e radiometrica 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.



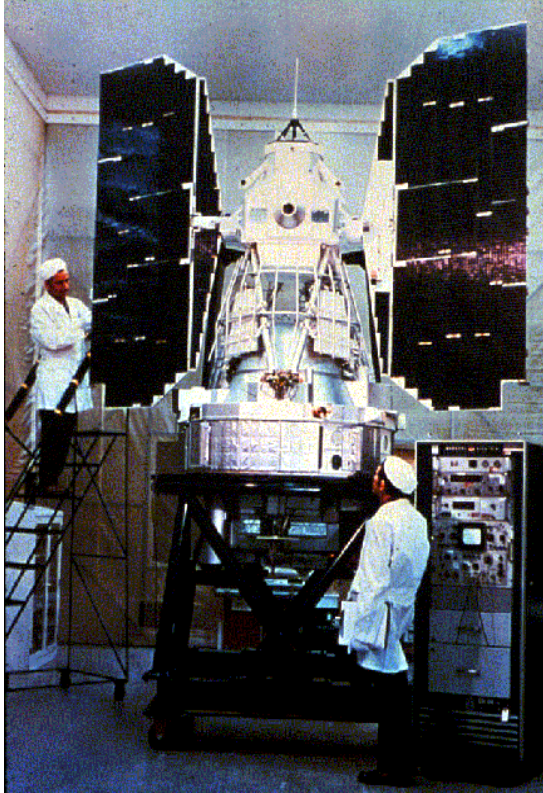
5 - Principali missioni

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.

Qui presenteremo una panoramica di alcune delle principali missioni attualmente in corso oltre a qualche cenno su importanti missioni pianificate per i prossimi anni.

5.1 - Landsat: Il Multispectral Scanner

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.



Il Landsat, 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.

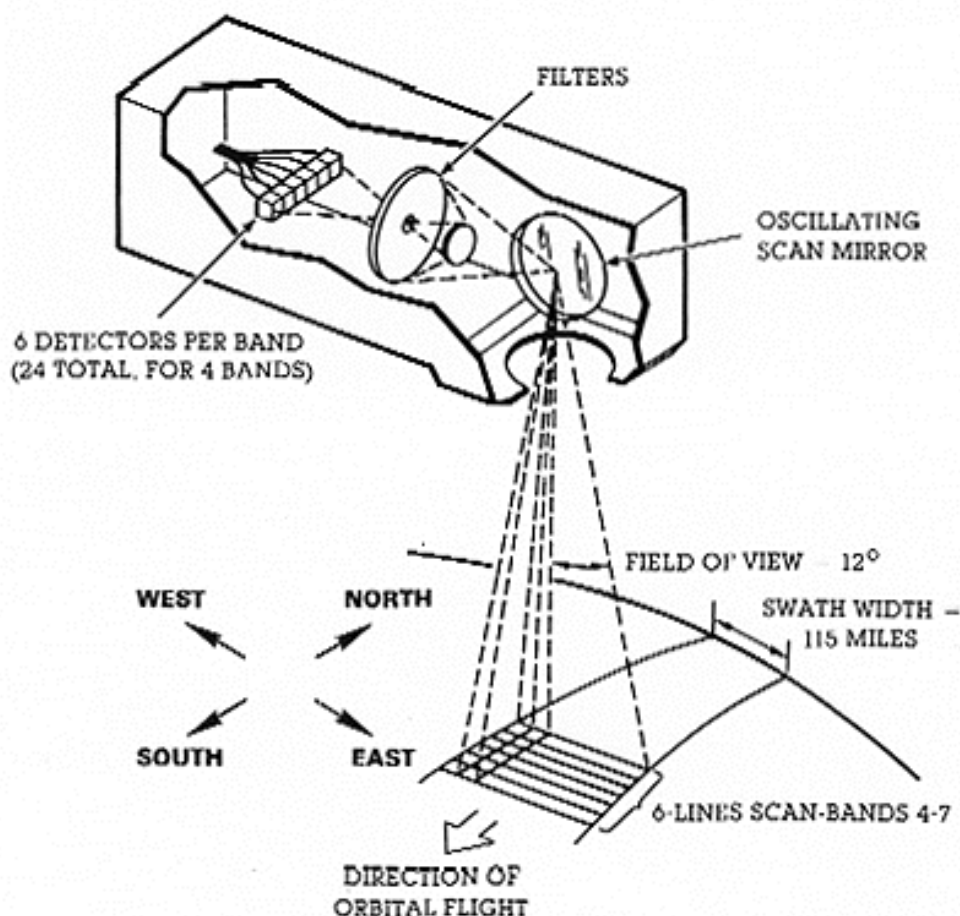
I primi due Landsat erano dotati di due sensori a bordo: l'RBV (Return Beam Vidicon) caratterizzato da tre macchine da ripresa (TV-like) che utilizzavano particolari filtri che centrassero le bande multispettrali nel verde-blu, giallo-rosso e rosso-infrarosso. Questo sensore terminò il suo funzionamento già sul primo ERTS e 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). Questa scena dell'RBV mostra Cape Canaveral, il luogo in cui sono state lanciate lo Space Shuttle e altre importanti missioni come l'Apollo.

ZOOM

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

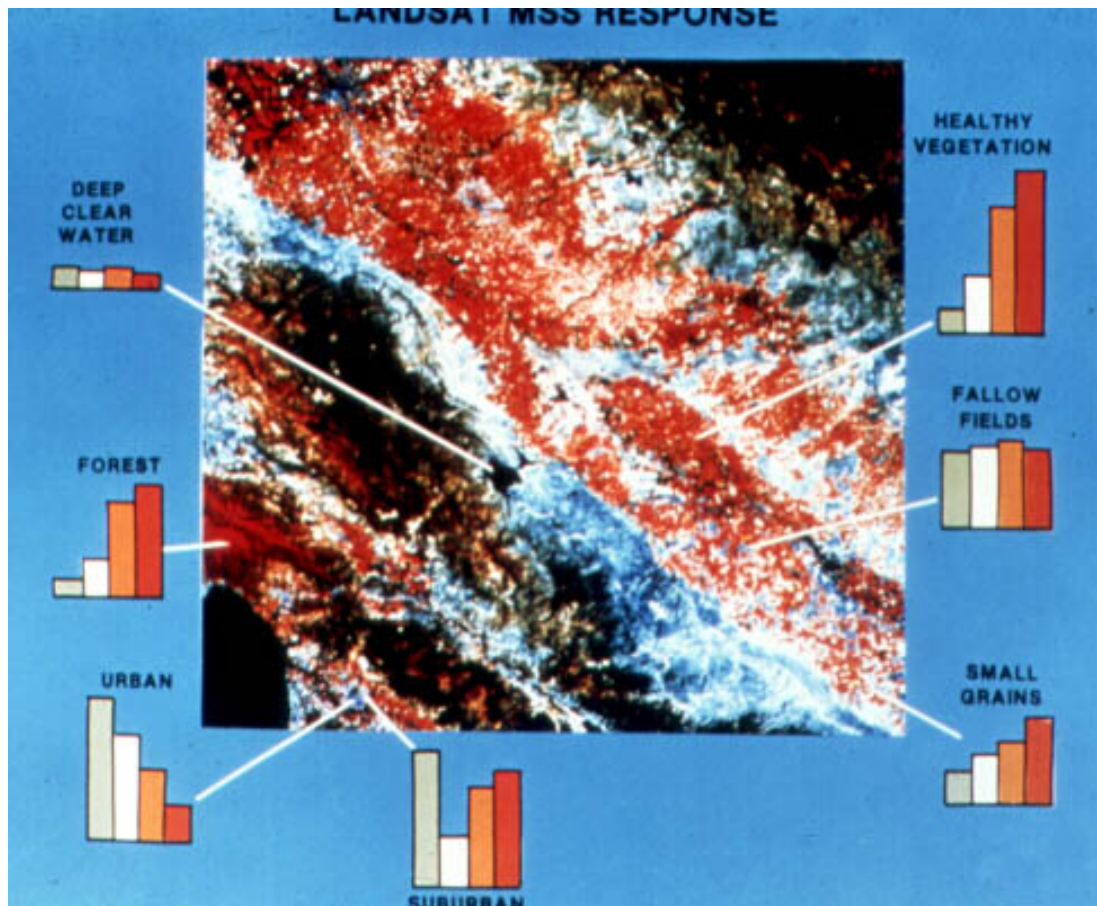


MSS SCANNING ARRANGEMENT



L'altezza orbitale del Landsat è di 917 Km. La luce viene ricevuta attraverso un telescopio puntato al suolo (non mostrato). 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 μm (verde), 0.6-0.7 μm (rosso), 0.7-0.8 μm (infrarosso), e 0.8-1,1 μm (vicino infrarosso). Attraversando ogni filtro la luce raggiunge un set di 6 rivelatori (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 spettrali abbastanza grezze. Le bande 4, 5, e 6 hanno un intervallo di 0,1 mm ; la 7 invece di 0,3 mm. Le risposte per ciascuna banda possono essere rappresentate in un diagramma a barre in cui l'altezza delle barre rappresenta la media di riflettanza relativa a tutte le lunghezze d'onda nell'intervallo di banda. Questo è un esempio con una illustrazione proveniente dalla costa Ovest degli Stati Uniti.



La scena rappresenta il primo “**color composite**” digitale realizzato con i dati forniti dall’ERTS-1. Questa include in basso a sinistra la baia di Monterey, le Coast Ranges a sud di San Francisco, la Great Valley di Sacramento, e i pendii occidentali della Sierra Nevada. Si può notare che il modello per ogni serie di istogrammi per un particolare tipo di copertura differisce dagli altri.

Si deduce dunque che ogni classe di materiale ha una differente firma, approssimativamente dalle 4 barre che separano questa dalle altre. In pratica, la larghezza della banda 7 (quella sulla destra) è resa uguale alle altre tre. Le aree urbane riflettono maggiormente nelle bande 4 e 5; l’area suburbana è più forte nelle bande 4 e 7 (nell’ultima si risente di più l’influenza della vegetazione). Le firme per le foreste e le aree coltivate sono simili ma l’altezza delle barre per le bande 6 e 7 sono più grandi per i campi; le altezze delle barre per i campi di grano e le aree non coltivate sono simili ma nelle bande 4 e 5 risulta leggermente più alto che nella 6 e 7. Le due aree molto scure nella Coast Ranges e nella Sierra Nevada (non mostrati nell’istogramma) derivano dalla predominanza delle conifere.

5.2 - Landsat: Il Thematic Mapper

Un sensore multispettrale più sofisticato chiamato **Thematic Mapper**, 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 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 MSS (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

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 (Fe_2O_3) in rocce e suoli presentando un aumento di riflettività 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.

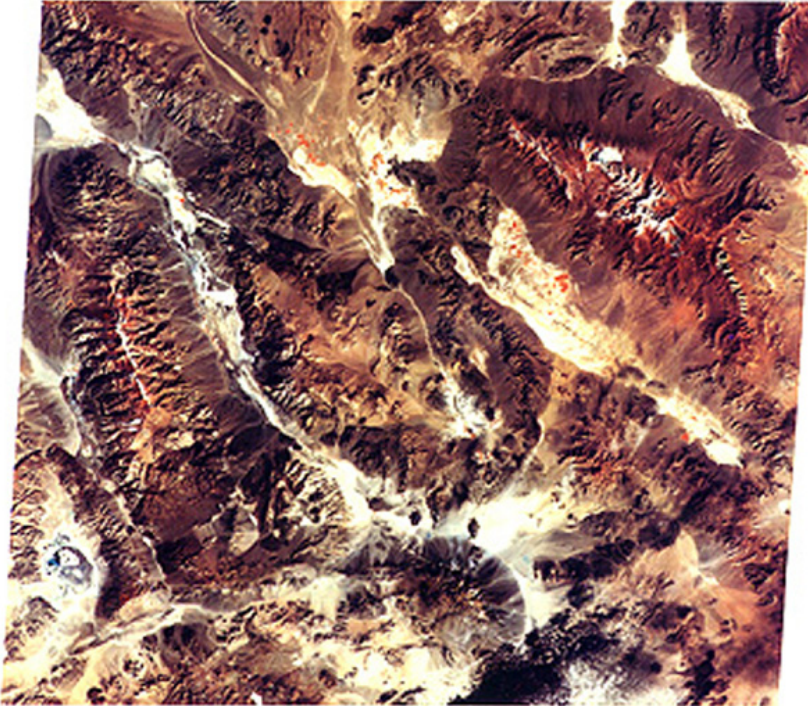
La banda 6 permette di distinguere differenze di temperatura di circa 0.6°C ed è utile nel discriminare quei tipi di rocce le cui proprietà termiche permettono scambi di calore con conseguente differenza nelle temperature di superficie; questa banda può addirittura individuare temperature al suolo legate 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 pixels. L'influenza della miglior risoluzione con il TM (quando non ricampionata) diventa apparente quando le immagini vengono ingrandite o le parti di interesse vengono estratte e allargate.

Qui di seguito vi sono tre 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.

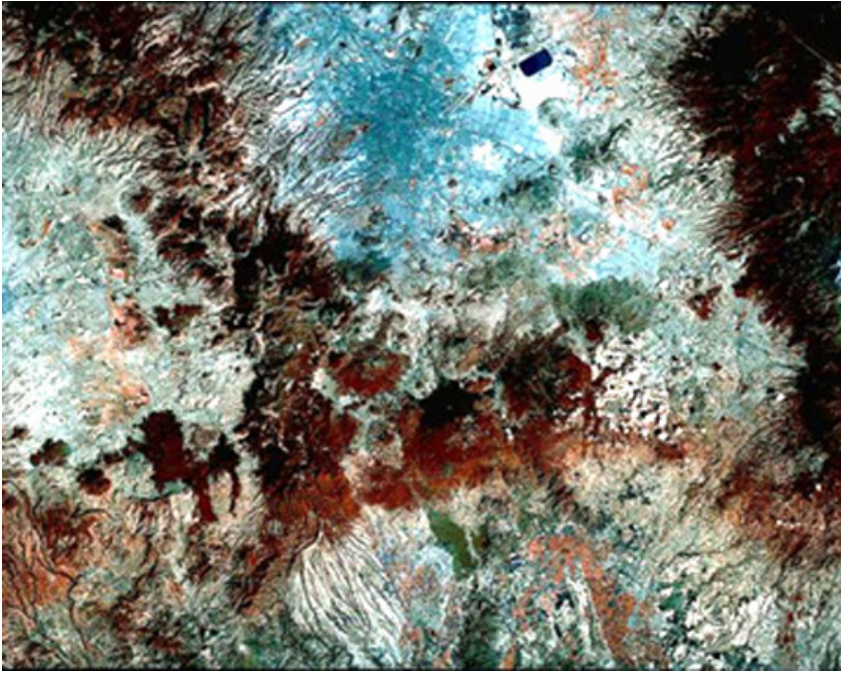
L'ampia catena in alto a destra sono le Spring Mountains ed i colori rossastri indicano la presenza di vegetazione (mista tra sempreverdi e alberi cedui). La parte in basso dell'immagine riprende il lato a Nord del Deserto di Mojave.



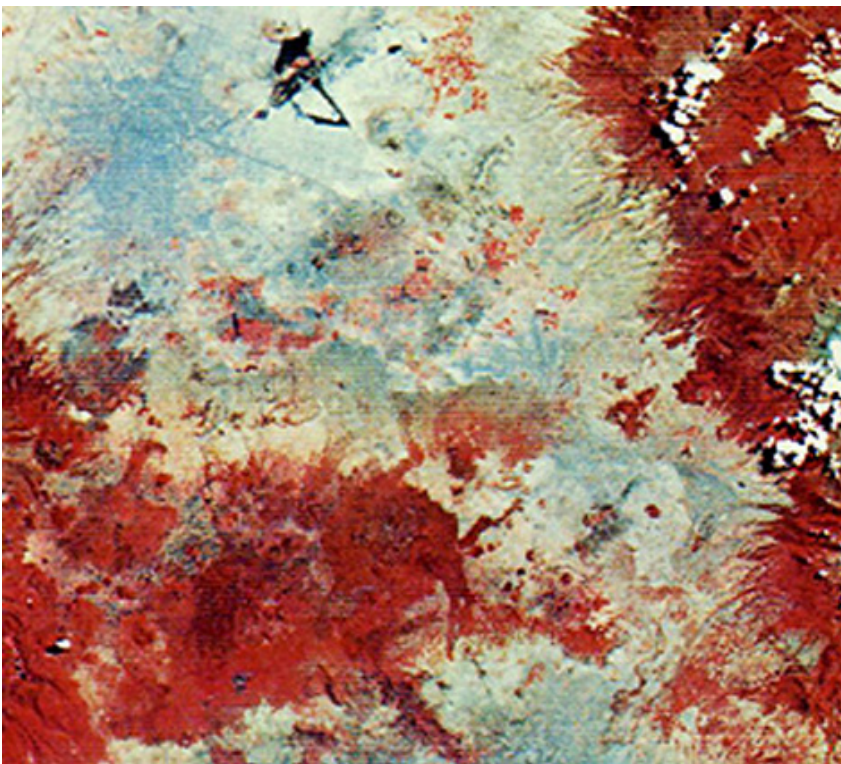
La seconda scena è un ingrandimento a 80 Km di una parte di un'immagine TM del deserto di Sonoran nel Messico nord occidentale ed è illustrata in colori reali (in basso a sinistra si scorge una piccola parte del Golfo di California). In questa sub-scena prevalgono dune sabbiose brillanti e crescenti 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.



Anche la terza immagine TM è una sub-scena, circa 70 Km per lato, nella zona centro occidentale del Messico. Città del Messico con la più grande popolazione tra le città dell'emisfero occidentale (circa 30 milioni), appare in questa immagini a falsi colori in un colore bluastro nella parte in alto a sinistra dell'immagine. Poco più a destra nell'immagine ecco comparire un gruppo di vulcani attivi compreso il noto Popocatepetl (oltre 5100 metri).



Per poter fare una comparazione abbiamo riprodotto più o meno la stessa area ripresa nel 1973 dal Landsat MSS. Tira adesso delle tue conclusioni sulle differenze di dettaglio tra l'immagine TM e l'immagine MSS. Potrai notare che l'estensione di Città del Messico non è poi così inferiore sebbene a quei tempi la popolazione fosse non superiore ai 7,5 milioni. Le due immagini confrontate mostrano un bell'esempio del concetto di "change detection" (individuazione dei cambiamenti).



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

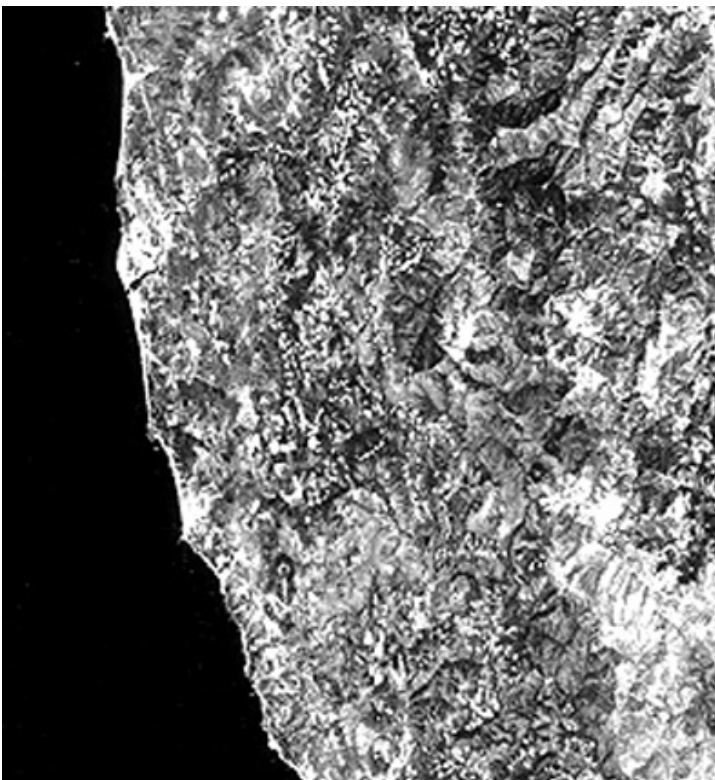
orbite coprono la stessa area in 16 giorni. Per coprire l'intera superficie terrestre (poli esclusi), sono necessarie circa 11000 scene.

Un approfondimento alla missione Landsat, ed in particolare alla missione Landsat 7, può essere visionata a questo indirizzo: <http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.html>.

5.3 - Il satellite SPOT

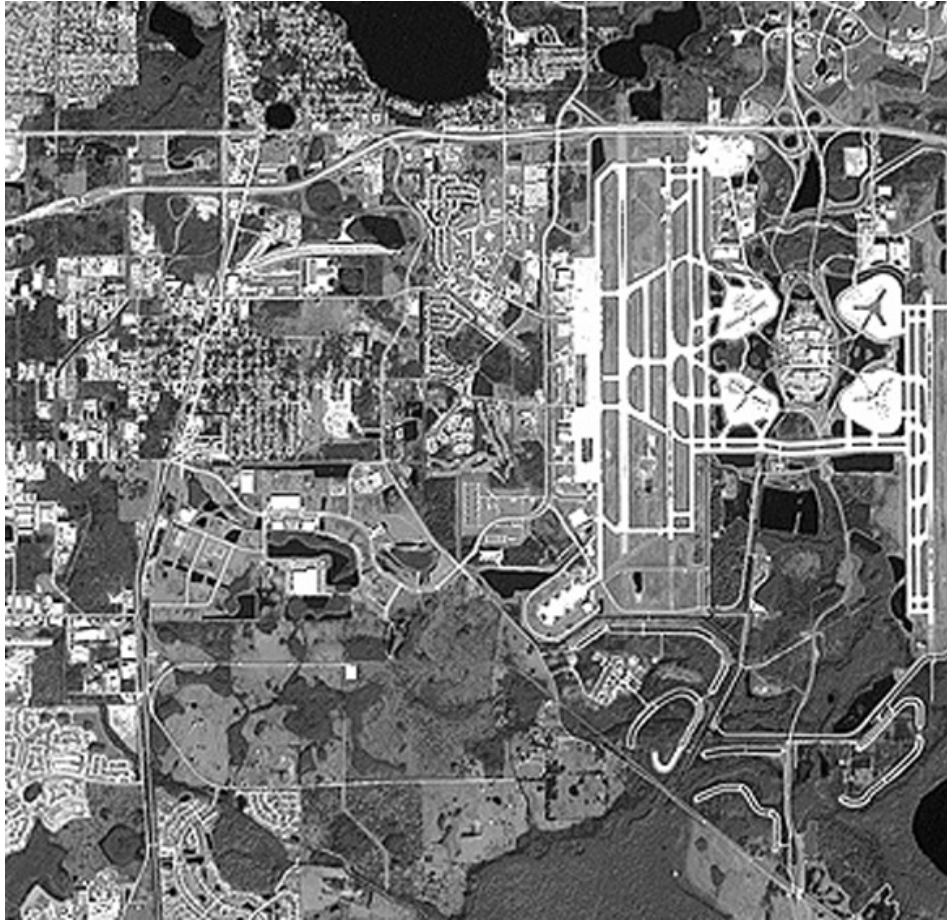
Gli scanner simili a quelli montati su Landsat (TM, MSS) sono stati i primi sensori di osservazione della terra negli anni 1970-80. Questi strumenti dotati di parti mobili e oscillanti come gli specchi erano soggetti a deteriorarsi (sebbene possiamo ricordare che l'MSS sul Landsat 5 ha continuato a funzionare 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 spaziale 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 mono dimensionale 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.



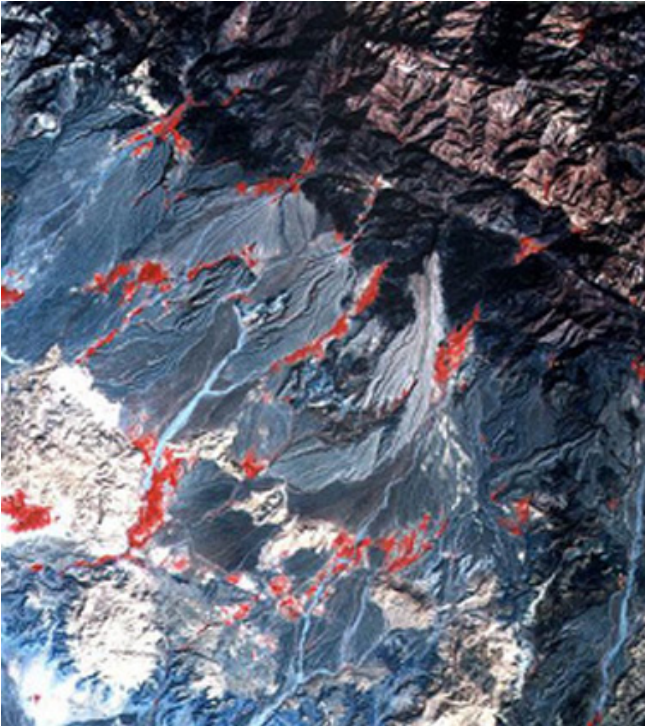
I rivelatori CCD sono attualmente in largo uso su sensori aerei e nello spazio (incluso il telescopio Hubble che visualizza scenari astronomici su una schiera bi-dimensionale cioè righe parallele di rivelatori). Il primo utilizzo su satelliti di osservazione della terra è stato lo SPOT-1 francese lanciato nel 1986. Un esempio di immagine SPOT è illustrata 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 in basso è invece un'immagine pancromatica a 10 m di risoluzione spaziale che mostra una zona di Orlando, Florida, in cui è visibile l'aeroporto.



Per approfondimenti e aggiornamenti sui satelliti SPOT: <http://www.spotimage.fr/>

32 - I satelliti IRS



L'India ha realizzato diversi satelliti per l'osservazione della Terra che, a cominciare da Marzo 1998 con l'IRS 1-A, 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 LISS a bordo di questo acquisisce nelle bande del blu-verde, nel verde, nel rosso e nel vicino infrarosso con 23 m di risoluzione spaziale. 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 composite a 3 bande che mostra terreni montuosi e pedemontani con conoidi alluvionali a sud dell'Iran

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

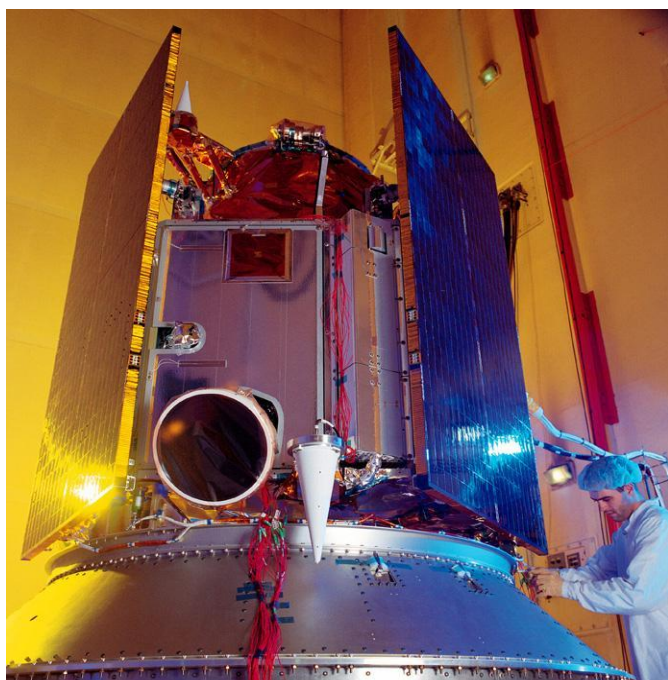


5.5 - Satelliti commerciali ad altissima risoluzione

A partire dalla fine degli anni novanta alcune agenzie private hanno prodotto dei satelliti di nuova generazione ad altissima risoluzione spaziale (dell'ordine del metro), operanti nell'intervallo spettrale dal visibile al vicino infrarosso, in modalità multispettrale e/o pancromatica, le cui immagini possono essere ricercate su un catalogo web e acquistate da qualunque tipologia di utenza. I principali satelliti di questa generazione attualmente operativi, descritti nelle sezioni successive, sono in ordine cronologico di lancio IKONOS II, EROS A1, QuickBird 2 e OrbView 3.

5.5.1 - IKONOS II: Pancromatico e Multispettrale ad altissima risoluzione

Il satellite IKONOS II è stato lanciato nel Settembre 1999 dalla Vandenberg Air Force Base, California.



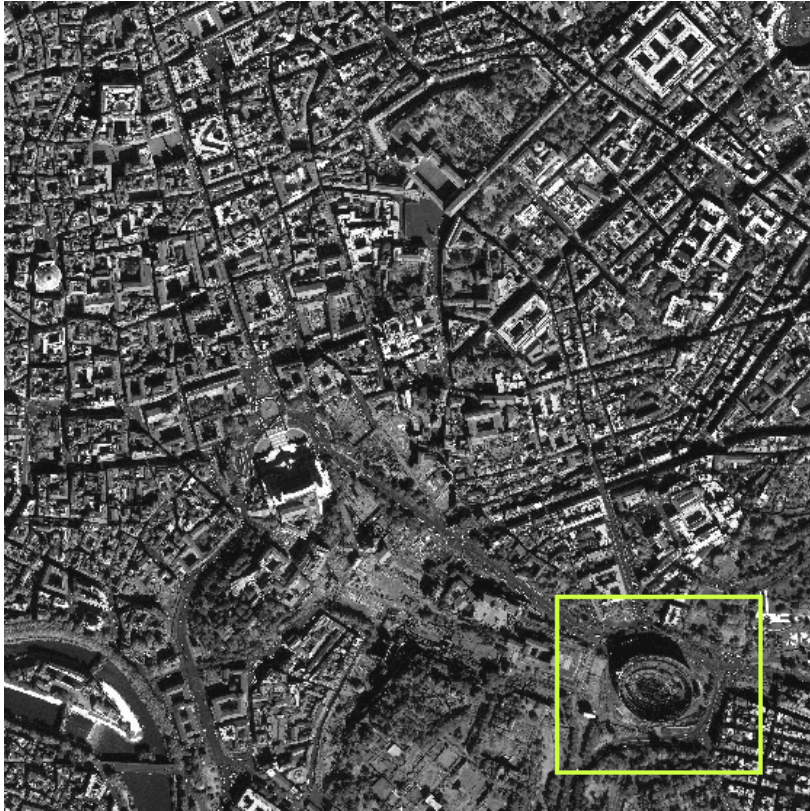
Il satellite IKONOS acquisisce contemporaneamente immagini pancromatiche con risoluzione geometrica al suolo di un metro e immagini multispettrali a quattro bande, con risoluzione di quattro metri. Queste immagini possiedono un livello di dettaglio senza precedenti nel campo dei dati di osservazione della Terra. e, attualmente, sono in assoluto i migliori dati disponibili sul mercato.

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.

Qui 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.



©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.



©Space Imaging

5.5.2 - EROS-A1

Il satellite EROS A1 è stato lanciato con successo dalla ImageSat International il 5 Dicembre 2000. Si tratta di una prima serie di 8 satelliti ad alta risoluzione che verranno lanciati dalla ImageSat, che è stata così la prima compagnia non Americana a mettere in orbita con successo un satellite commerciale ad immagini ad alta risoluzione.

I satelliti EROS altamente efficienti, a basso costo e molto leggeri, sono stati realizzati per orbite basse. Il loro peso, pari alla metà di ciascun altro satellite commerciale attualmente in orbita, assicura massima agilità e stabilità. I satelliti EROS sono altamente innovativi in quanto acquisiscono numerose immagini sul territorio. La costellazione permetterà il più frequente tempo di rivisita sui diversi luoghi fornendo informazioni aggiornatissime.

EROS A1 pesava 250 Kg al momento del lancio e viaggia su un'orbita alta 480 Km. Esso reca a bordo una macchina fotografica con piano focale a rivelatori CCD (Charge Coupled Device) con 7800 pixels per riga, e produce immagini pancromatiche a 1,8 m di risoluzione. La classe EROS A fornisce uno swath largo almeno 12,5 KM.

Il sistema utilizzato è quello push-broom in maniera da acquisire le immagini in lunghe strisciate.

Il sensore EROS A1 scansiona in maniera asincrona permettendo al satellite di muoversi più velocemente rispetto al suo tasso di ripresa.

Il satellite si inclina in maniera da acquisire le immagini con una stessa velocità angolare, facendo sì



che i rivelatori si fermino più a lungo su ciascuna area. In questa maniera il sensore può ricevere più luce e migliorare il contrasto ed il signal-to-noise ratio, condizioni importanti per ricavare dati ottimali. Tutti i sottosistemi escluso l'equipaggiamento della macchina sono pienamente ridondanti per monitorare i singoli punti d'errore. Si prevede che EROS A1 sarà operativo per almeno 4 anni.

Satellite EROS A

La seguente tabella mostra le caratteristiche del satellite EROS A1

Caratteristiche del satellite EROS A1

Data di lancio	5 Dicembre 2000
Veicolo di lancio	Start-1
Altitudine dell'Orbita	480 km
Inclinazione dell'orbita	97.3 gradi
Ora di superamento dell'Equatore Nominale	10:30 ora locale

Larghezza di banda del sensore pancromatico	450-900 nm
Ampiezza della traccia di osservazione	12.5 Km al nadir
Dimensione della Scena	12.5 km * 12.5 km basic scene 6.25 km * 6.25 km hypersample scene
Risoluzione geometrica	1.8 m standard mode 1 m hypersampled mode
Periodo di Rivisitazione	2,9 giorni a 1 metro di risoluzione 1,5 giorni a 4 metri di risoluzione
Risoluzione Radiometrica	11 bits per pixel

Costellazione di satelliti

Si prevede di lanciare una costellazione di EROS classe A e sei di classe B entro i prossimi cinque anni. Tutti i satelliti viaggeranno in orbita polare. Essi sono eliosincroni, quindi ciascuna immagine verrà ripresa da un satellite alla stessa ora locale, non importa il giorno, mese o anno. Il periodo orbitale (tempo impiegato per compiere una rivoluzione attorno alla Terra) di ciascun satellite è pari a 90 minuti, quindi 16 rivoluzioni ogni 24 ore, con due di tre passaggi diurni al giorno attraverso la maschera di una stazione ricevente a terra, in base alla latitudine della stazione.

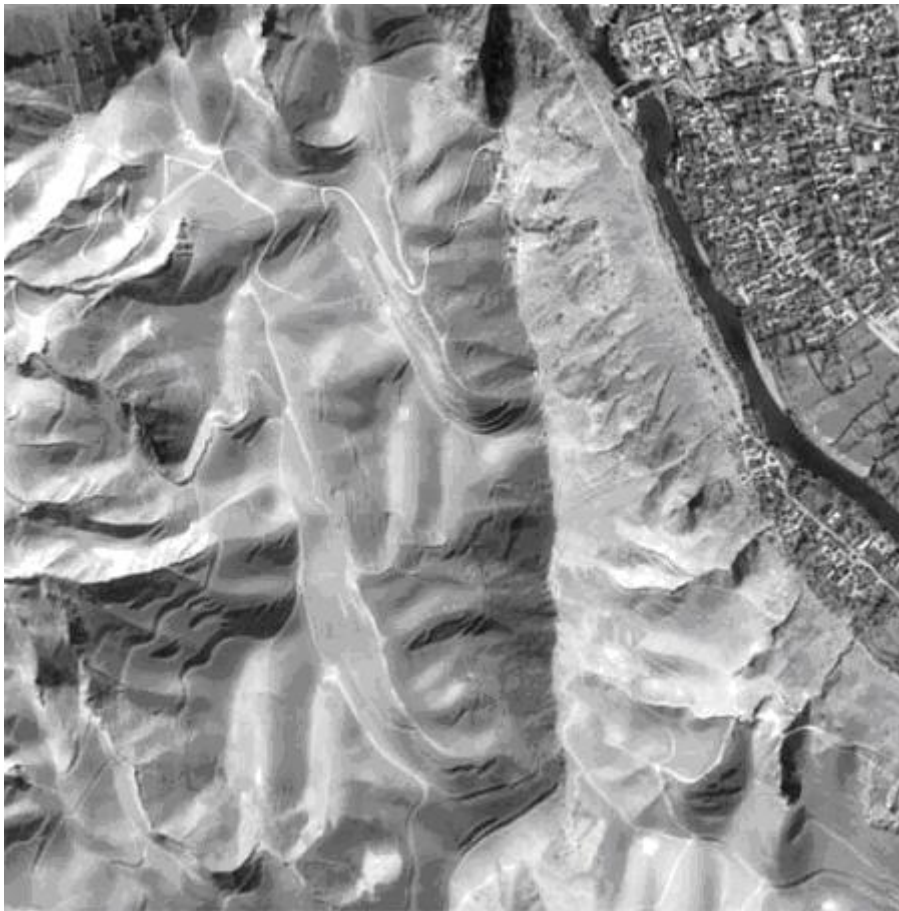
La costellazione fornirà una copertura globale, più la particolare ripetizione giornaliera su ciascun luogo. Il tempo di rivisita giornaliero sarà legato al numero di satelliti in orbita. Per un satellite, il tempo medio di risposta è di 1,8 giorni.

Con sei satelliti, la ripresa sarà possibile almeno una volta al giorno per ciascun area inclusa all'interno della copertura di una stazione ricevente a terra.

Sotto sono riportati alcuni esempi di immagini EROS A1



Washington - Pentagono (USA): 17 Settembre 2001



North-eastern Afghanistan



Near Pyongyang, North Korea

5.5.3 - QUICKBIRD

La DigitalGlobe ha lanciato con esito positivo il suo QuickBird il 18 ottobre 2001 utilizzando come veicolo di lancio un Boeing Delta II. Il satellite QuickBird della DigitalGlobe fornisce la maggior ampiezza di swath, il più ampio volume di memorizzazione a bordo e la più alta risoluzione di tutti i satelliti commerciali attualmente disponibili o in progetto. QuickBird è progettato per riprendere vaste aree in modo efficiente e con un'accuratezza di locazione geografica a livello di leader nel settore. La piattaforma di QuickBird è in grado di acquisire annualmente più di 75 milioni di km² (oltre tre volte le dimensioni del Nord America) di immagini e permette così di arricchire e aggiornare l'archivio ad una velocità senza precedenti. Il satellite QuickBird riprende simultaneamente immagini multi-spettrali e pancromatiche e offre prodotti composite Pan-sharpened a 70 cm di risoluzione in colori naturali o infrarosso. Supporta sia lo strip mode sia l'area mode. Ad ogni singolo passaggio possono essere collezionate strisciate di lunghezza fino a 10 scene (165 km) e possono essere riprese aree composte da 2x2 scene. Nel dicembre 2000 la DigitalGlobe ricevette la licenza da NOAA per operare un sistema satellitare a risoluzione 0,5 metri. L'azienda riuscì in seguito a modificare i suoi progetti su QuickBird ed incrementare la risoluzione dall'originale 1 metro a 61 centimetri modificando l'orbita lungo la quale il satellite si muove. Come risultato, la risoluzione della banda pancromatica è aumentata da 1 metro a 61 centimetri e le bande multispettrali da 4 metri a 2,44 metri di risoluzione. Grazie al suo design QuickBird è in grado di operare alla minore altitudine in modo appropriato; il satellite inoltre trasporta carburante sufficiente a non ridurre la lunghezza di vita della missione. Tutto ciò significa che QuickBird è il satellite commerciale a risoluzione più alta al mondo.

Dati tecnici

Lancio: 18 ottobre 2001 dalla Base Area Militare di Vandenberg in California

Veicolo: Boeing Delta II

Orbita: altitudine 450 km; tempo per coprire l'orbita 93,5 minuti; orario di superamento dell'equatore 10:30 di mattina (in fase discendente)

Inclinazione: 97,2 gradi; eliosincrona

Ampiezza nominale dello swath: 16,5 km al nadir

Area di interesse: scena singola 16,5 x 16,5 km

Sensore:	Pancromatico	Multispettrale
Risoluzione:	Basic: 0.61 metri al nadir, 0.72 metri a 25° dal nadir	Basic: 2.44 metri al nadir, 2.88 metri a 25° dal nadir
Ampiezza della banda spettrale:	Standard & Orthorectified ricampionato a 0.7 metri GSD	Standard & Orthorectified ricampionato a 2.8 metri GSD
	450-900 nanometri	Blu: 450-520 nanometri Verde: 520-600 nanometri Rosso: 630-690 nanometri Vicino IR: 760-900 nanometri
Risoluzione radiometrica:	11 bits per pixel	11 bits per pixel

Il satellite QuickBird



Immagine QuickBird degli stadi olimpici di Barcellona
Sensore Pancromatico (63 centimetri circa di risoluzione)



Immagine QuickBird di Manhattan , NY
Multispettrale (244 centimetri di risoluzione) © Copyright DIGITALGLOBE

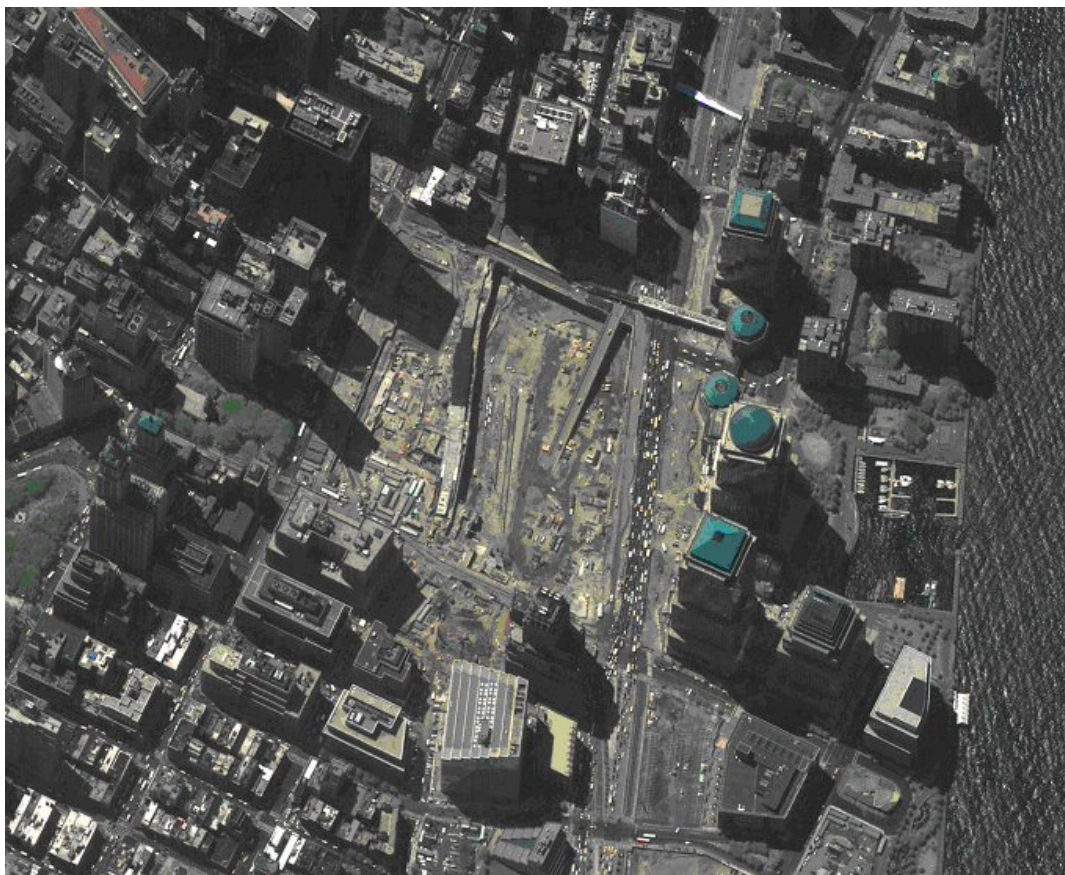


Immagine QuickBird del Vaticano, Roma
Pan-sharpened - Multi-spettrale (70 centimetri di risoluzione)



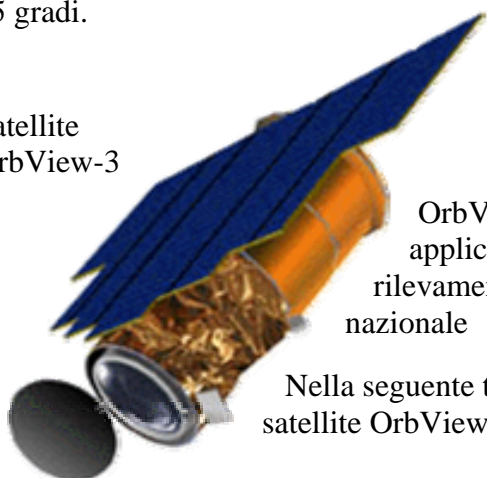
5.5.4 - OrbView-3

Lanciato il 26 Giugno 2003 dalla base Aeronautica di Vandenberg, ORBIMAGE's OrbView-3 il più recente tra i satelliti commerciali operativi ad alta-risoluzione.

Il satellite ORBIMAGE OrbView-3 è il più recente tra i satelliti commerciali operativi ad alta risoluzione. OrbView produce immagini pancromatiche ad un metro di risoluzione e immagini multispettrali a 4 metri. Le immagini a 1 metro permettono di individuare case, automobili e aerei e permettono di creare mappe digitali di dettaglio e di scene tridimensionali. Le immagini multispettrali a 4 metri invece forniscono informazioni a colori e nell'infrarosso sulle caratteristiche delle città, aree rurali e terre incolte.

Il satellite ripassa sulla stessa area in meno di tre giorni potendo ruotare da un lato all'altro di oltre 45 gradi.

Satellite
OrbView-3



OrbView-3 fornisce immagini utili per una grande varietà di applicazioni come le telecomunicazioni e utilities, mappatura e rilevamento di petrolio e gas, agricoltura e silvicoltura, sicurezza nazionale

Nella seguente tabella sono sintetizzate le principali caratteristiche del satellite OrbView-3:

Caratteristiche del satellite OrbView-3

Data di lancio	26 Giugno 2003
Veicolo di lancio	Pegasus XL
Altitudine dell'Orbita	470 km
Inclinazione dell'orbita	97 gradi
Ora di superamento dell'Equatore Nominale	10:30 ora locale
Larghezza di banda del sensore pancromatico	450-900 nm
Larghezza delle bande del Sensore multispettrale	Blu 450 – 520 nm Verde 520 – 600 nm Rosso 630 – 690 nm Vicino IR 760 – 900 nm
Ampiezza della traccia di osservazione	8 Km
Dimensione della Scena	8 x 8 km ²
Risoluzione geometrica del pancromatico	1 metro
Risoluzione geometrica del multispettrale	4 metri
Periodo di Rivisitazione	Meno di tre giorni
Risoluzione Radiometrica	11 bits per pixel

Qui un esempio di dato OrbView pancromatico (in bianco e nero) a 1 m di risoluzione relativo alla città di Londra, in cui il famoso Big Ben è facilmente riconoscibile osservando le ombre presenti nell'immagine.



© Copyright ORBIMAGE

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

Nell'ambito dei sensori radar una nota la merita la serie **SIR** (Shuttle Imaging Radar) 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.

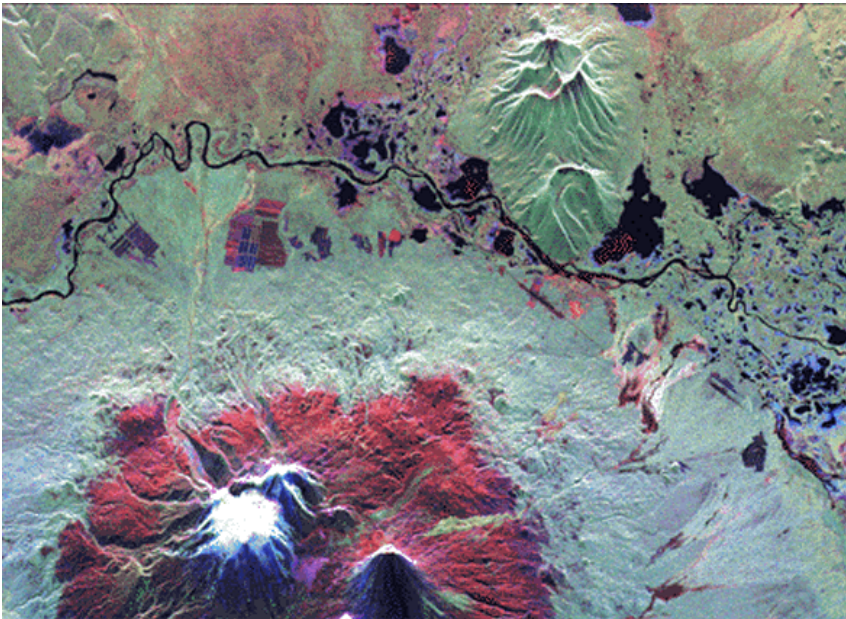


Un esempio delle proprietà dei radar è dato dalla straordinaria immagine acquisita dal SIR-A nel Novembre 1981. La scena a colori sottostante è un'immagine Landsat della coltre sabbiosa di Selma nel deserto del Sahara, nel Sudan nord occidentale. Poiché le sabbie asciutte hanno una costante dielettrica 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.

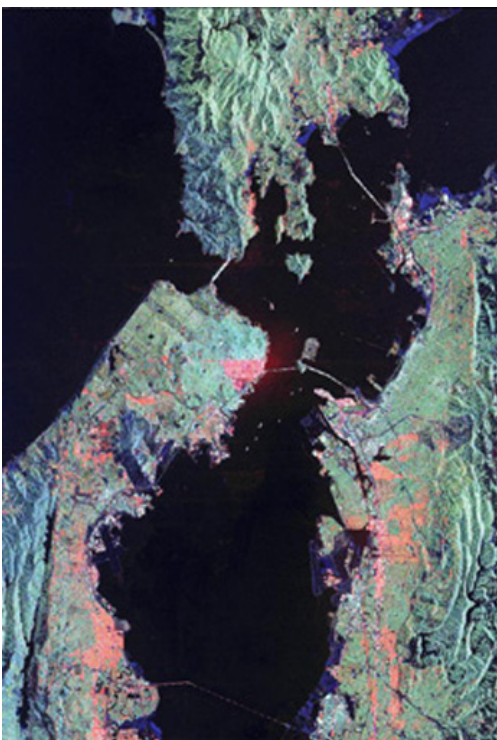
Il SIR-B fu messo in funzione nel 1984 per 8 giorni a bordo della navicella Shuttle. La differenza con il SIR-A consisteva nell'angolo di vista variabile tra i 15 e i 55 gradi. In Aprile e Ottobre del 1994 fu poi messo in orbita un sistema più versatile sempre a bordo dello Shuttle.

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

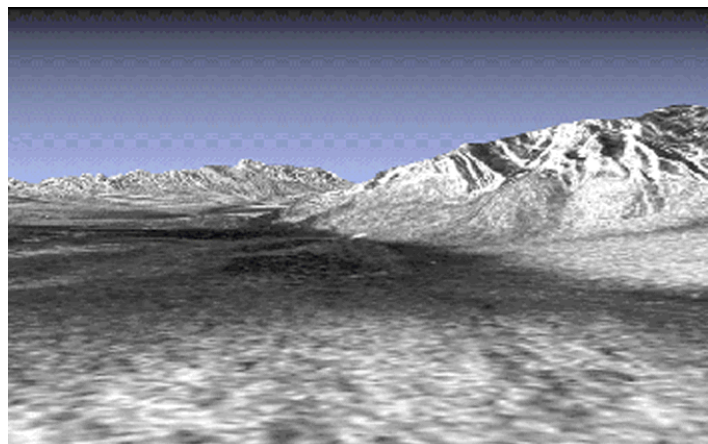
di questo sistema multibanda è l'abilità di poter combinare differenti bande e polarizzazioni a creare dei color composites. L'immagine qui mostrata è il vulcano di Kliuchevskoi nel Kamchatka (Siberia) ripreso dal SIR-C in 3 diverse polarizzazioni.



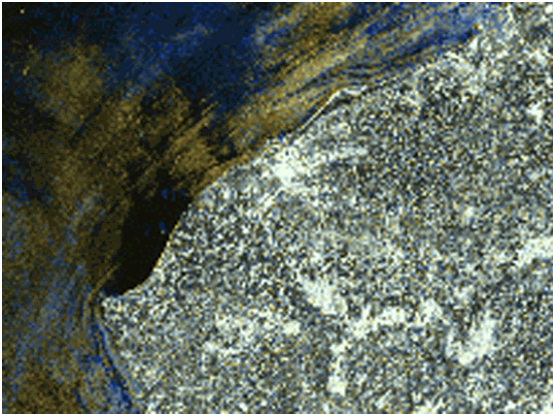
Puoi anche vedere l'immagine multibanda (multifrequenza) di San Francisco formata dalla banda L con polarizzazione HH in rosso, HV in verde e banda C HV in blu: un primo esempio di come molte persone vogliono vivere nella Baia dopo averla visitata.



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), 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.

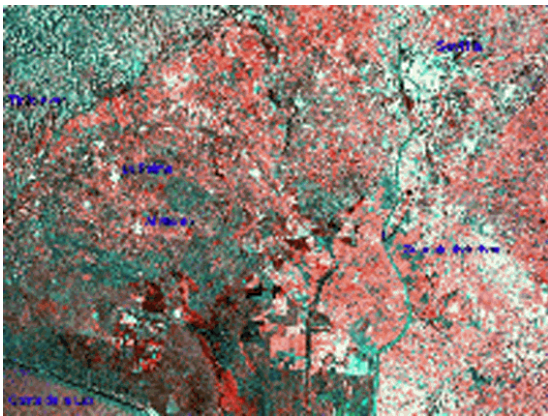


5.7 - I satelliti ERS



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 scatterometro esso portava a bordo un SAR 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.

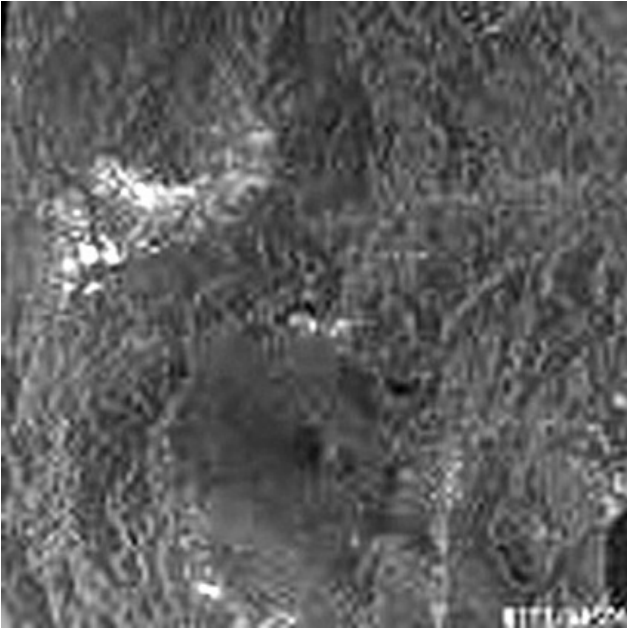
La missione ERS-1 è terminata Venerdì 10 marzo 2000 a causa di un guasto del sistema di controllo.



Un SAR quasi identico fu poi montato a bordo di ERS-2 lanciato nell'Aprile 1995. Utilizzando immagini di differenti date provenienti da radar a singola banda e singola polarizzazione è possibile costruire degli innovativi color composites. Qui segue un esempio semplificato di immagine multitemporale 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.

sinistra; i campi coltivati invece appaiono in rosso ovunque.

5.8 - 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.



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

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

5.9 - Envisat



Il 1 Marzo 2002 l' Agenzia 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 **ERS** 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 :

Strumenti e contributi nella missione Envisat

	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	
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

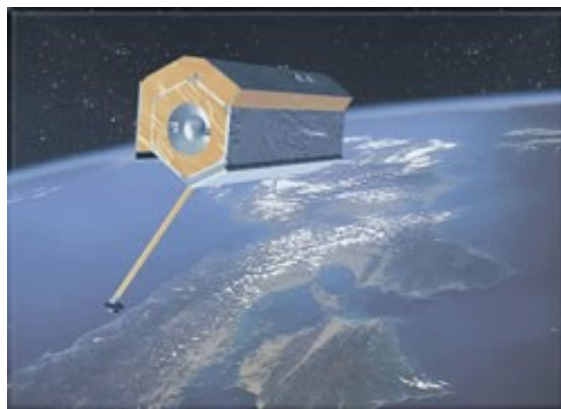
5.10 - Terra

Il progetto TERRA (conosciuto formalmente come Am-1) è responsabile del disegno, del montaggio, della prova, del lancio e della verifica su orbita degli strumenti e della nave spaziale per la prima missione di EOS.

TERRA è stato lanciato con successo il 18 dicembre 1999. La missione TERRA fa parte delle imprese **di scienze della terra della NASA (ESE)**.

Volano su TERRA gli strumenti seguenti (orbita eliosincrona polare, nodo discendente di 10:30 a.m.): Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER); Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES); Multi-angle Imaging Spectroradiometer (MISR); Moderate Resolution Spectroradiometer (MODIS); Measurements of Pollution in the Troposphere (MOPITT).

Il satellite ospita gli strumenti su una piattaforma rivolta verso la Terra lanciata con un veicolo ATLAS IIAS.



Satellite Terra

MODIS (Moderate Resolution Spectroradiometer)

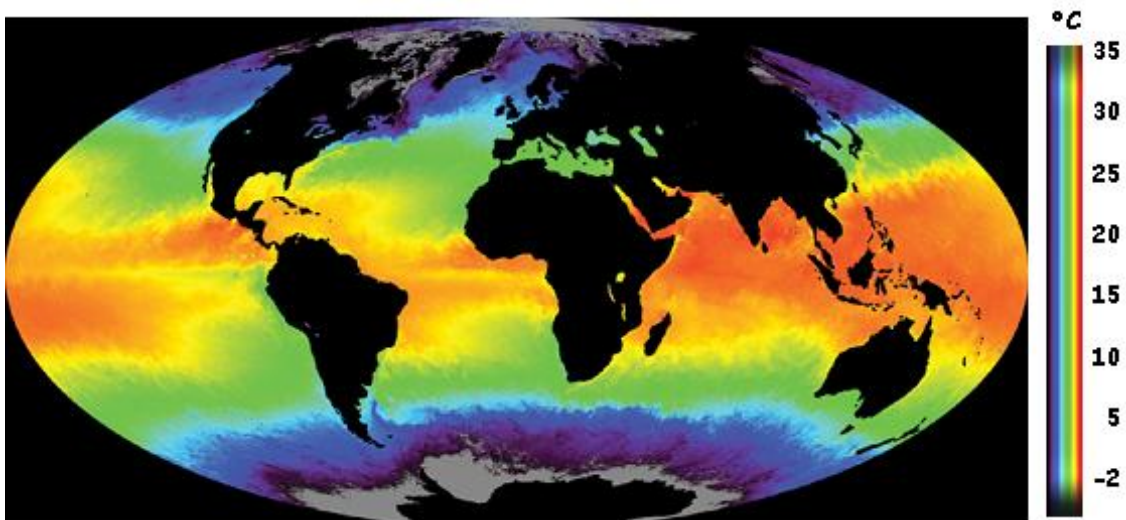
Con il suo swath di vista largo 2.330 km, il sensore MODIS osserva ogni punto del globo ogni 1-2 giorni in 36 bande spettrali discrete con differenti risoluzioni geometriche. Le bande 1 e 2 hanno risoluzione di 250 m, dalla 3 alla 7 la risoluzione è di 500 m mentre tutte le altre hanno risoluzione 1 Km.

Di conseguenza, MODIS migliora di molto l'eredità di [NOAA](#) Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) e traccia un più ampio insieme di caratteri essenziali del pianeta rispetto ad ogni altro sensore di Terra. Ad esempio, il sensore misura la percentuale di superficie del Pianeta che è coperta da nuvole quasi ogni giorno. Questa larga copertura spaziale permetterà a MODIS, insieme agli strumenti MISR e CERES, di determinare l'impatto di nuvole e aerosol sul bilancio di energia della Terra.

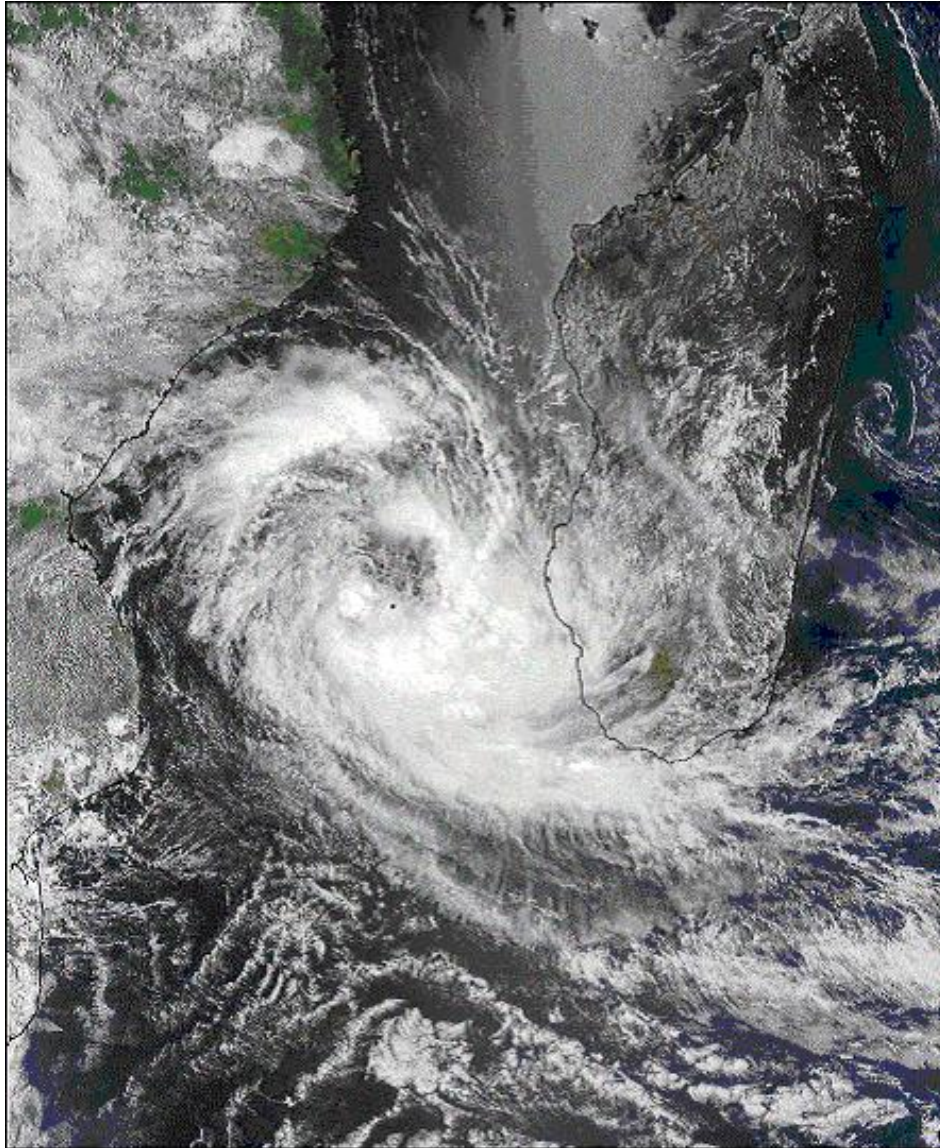
Quasi ogni giorno il sensore è in grado di monitorare i cambiamenti sulla superficie terrestre incrementando ed estendendo il patrimonio di informazioni già fornite da Landsat. Modis è in grado di "mappare" l'estensione di nevi e ghiacci portati da tempeste invernali e temperature rigide. MODIS è ideale per il monitoraggio dei cambiamenti a scala globale nella biosfera che possono portare a nuove scoperte nel campo del ciclo del carbonio globale. Nessun altro sensore fino ad ora poteva direttamente misurare la concentrazione del biossido di carbonio nell'atmosfera. MODIS misurando l'attività fotosintetica della terra e delle piante marine (phytoplankton) può permettere di stimare quanto dei gas di serra viene assorbito e utilizzato nella produttività delle piante. Insieme alle misure di temperatura di superficie, i dati forniti da MODIS sulla biosfera aiutano i ricercatori a tracciare le sorgenti e gli accumuli di biossido di carbonio che seguono ai cambi climatici.

Sensore MODIS

Qui è illustrato un esempio di mappa di temperatura superficiale del mare su tutto il globo ricavata da immagini MODIS

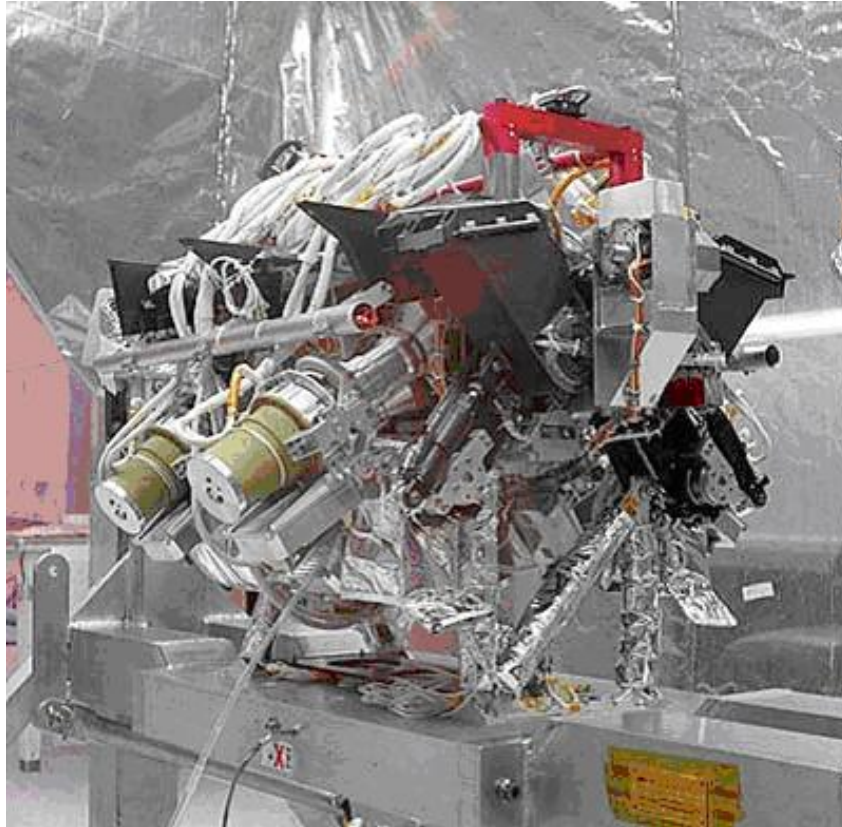


Un altro esempio di applicazione di dati MODIS è fornito dalla seguente immagini di un ciclone tropicale ripreso vicino il Madagascar



MISR

Il Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR) fornisce l'unica opportunità di studiare l'ecologia e il clima di tutta la Terra grazie alla modalità di acquisizione multiangolo effettuata su tutto il fronte terrestre illuminato dalla luce solare. Ciascuna macchina da ripresa guarda in contemporanea una singola riga di pixels relativi alla superficie con diversi angoli di ripresa in avanti e indietro rispetto alla direzione del satellite e con un'acquisizione nadirale (questa modalità di acquisizione è chiamata "pushbroom"). MISR raccoglie dati solo sul lato della Terra illuminato. Durante ciascuna orbita della Terra, MISR riprende uno swath di immagini largo 360 km e lungo circa 20.000 km. MISR utilizza nove camere distinte puntate ad angoli fissi; oltre al nadir, le camere riprendono immagini della Terra a 26.1, 45.6, 60.0 e 70.5 gradi in avanti e indietro rispetto alla verticale locale. Gli angoli in avanti e indietro sono gli stessi, ossia le camere sono sistemate simmetricamente rispetto al nadir. In generale, grandi angoli di vista forniscono una migliorata sensibilità agli effetti degli aerosol atmosferici e di riflettanza delle nuvole, mentre angoli più piccoli sono richiesti per osservare la superficie terrestre.



Il sensore MISR

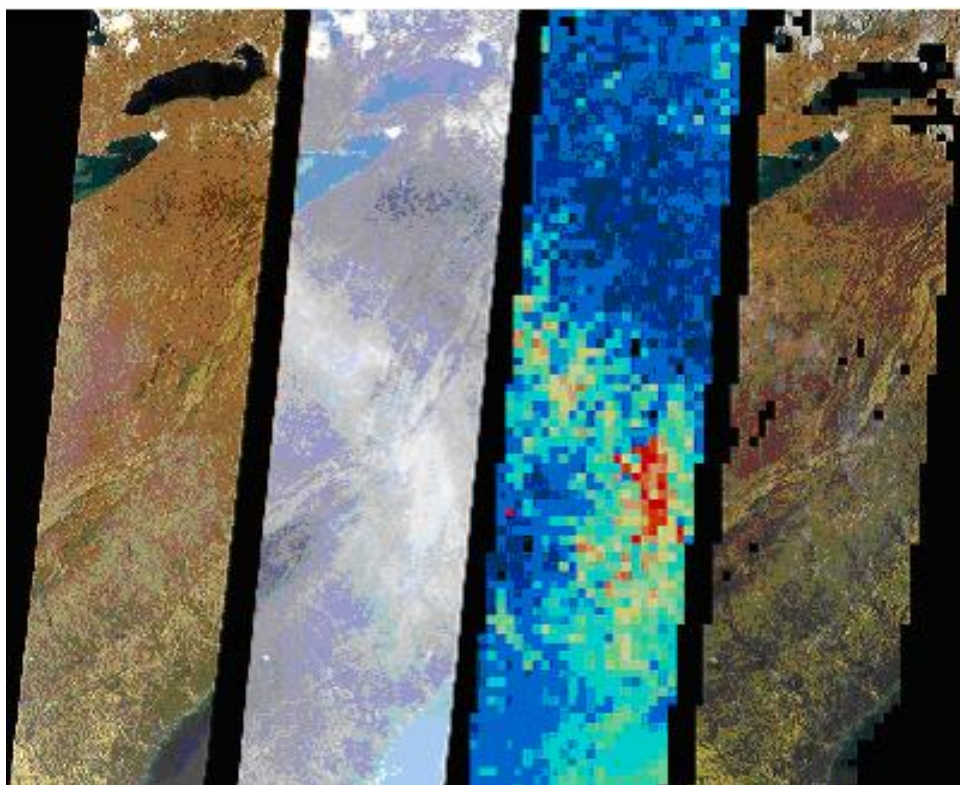
Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche del sensore MISR

Caratteristiche del sensore MIS

Vita prevista della missione:	6 anni	
Peso dello strumento:	148 kg	
Potenza strumentale:	Approssimativamente 117 W peak, 75 W in media	
Data rate:	3.3 Megabits/second in media, picco a 9.0 Megabits/second	
Tempo di copertura globale:	di ogni 9 giorni, con tempo di rivisita tra 2 e 9 giorni a seconda della latitudine	
Larghezza di swath:	di 360 km con overlap dei 9 strumenti di ripresa	
Nove pushbroom cameras:	Chiamate An, Af, Aa, Bf, Ba, Cf, Ca, Df, e Da . Quelle che terminano con f guardano verso la direzione di avanzamento del satellite ,con n quella che guarda al nadir, con a quella che guarda indietro rispetto alla direzione di avanzamento . A, B, C, D segnano la rispettiva crescita dell'angolo di acquisizione	
Angoli di vista:	di 0, 26.1, 45.6, 60.0, e 70.5 gradi	
Risoluzione	4 bande (blue, verde, rosso, e vicino infrarosso)	

spettrale:	
Produttore:	Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, U.S.A

Sotto è riportata come esempio un'immagine con acquisizioni MISR da diversi angoli



ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission & reflection Radiometer)

ASTER è composto da tre sottosistemi (Figura 2): il Visible e Near-infrared (VNIR) ha 3 bande a risoluzione spaziale 15 m ed un telescopio aggiuntivo per acquisizioni; lo Shortwave Infrared (SWIR) ha 6 bande con risoluzione spaziale 30 m; e il Thermal Infrared (TIR) ha 5 bande con risoluzione spaziale di 90 m. Ogni sottosistema opera in una regione spettrale differente, con un suo strumento, ed è stato costruito da una compagnia Giapponese differente.

Caratteristiche dei 3 sottosistemi ASTER

Sottosistema	BAND NO.	Intervallo spettrale (μm)	Risoluzione spaziale, m	Livelli
VNIR	1	0.52-0.60	15	8 bits
	2	0.63-0.69		
	3N	0.78-0.86		
	3B	0.78-0.86		
SWIR	4	1.60-1.70	30	8 bits
	5	2.145-2.185		
	6	2.185-2.225		
	7	2.235-2.285		
	8	2.295-2.365		
	9	2.360-2.430		

TIR	10	8.125-8.475	90	12 bits
	11	8.475-8.825		
	12	8.925-9.275		
	13	10.25-10.95		
	14	10.95-11.65		

Dati ad alta risoluzione come quelli acquisiti da ASTER sono ideali per studi e monitoraggio di ambienti di transizione terra-mare, come aree umide, spiagge, estuari e fiumi. L'inquinamento che caratterizza i corpi d'acqua può essere osservato e misurato dallo spazio, fornendo supporto alla pianificazione di interventi a rimedio. La pesca commerciale può trarre vantaggio dai dati di osservazione della terra per la valutazione degli habitat e per stabilire regole per il controllo delle attività.

Sotto sono mostrate 2 esempi composizioni in falso colore ricavate da immagini VNIR di ASTER riprese all'area del Lago di Garda e la baia di San Francisco.



Immagine Garda_Aster



Immagine San Francisco_Aster

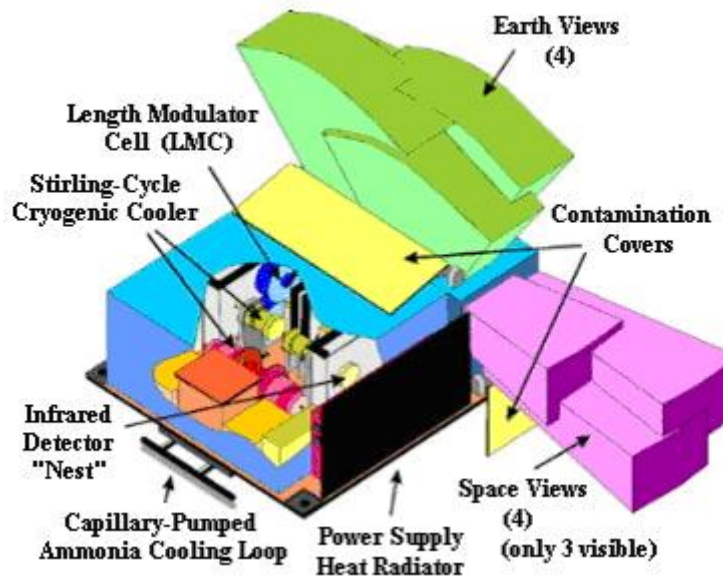
MOPITT(Measurement of Pollution in the Troposphere)

MOPITT è uno strumento disegnato per accrescere la conoscenza della bassa atmosfera e in particolare per osservare come essa interagisce con la terra e gli oceani. Il suo specifico uso è legato alla distribuzione, al trasporto alle sorgenti e agli accumuli di monossido di carbonio e metano nella troposfera.

Il metano è un gas di serra capace di trattenere il calore 30 volte di più del biossido di carbonio; è risaputo essere sviluppato da paludi, greggi, biomassa bruciata ma non è conosciuta l'esatta quantità prodotta da queste singole sorgenti.

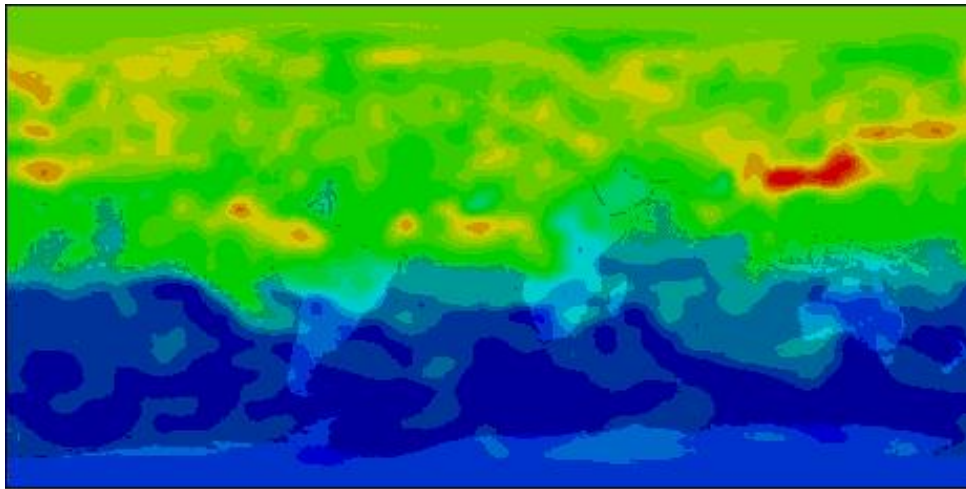
Il monossido di carbonio proveniente da industrie, auto, e incendi boschivi ostacola l'atmosfera nelle sue naturali capacità di liberarsi dagli inquinanti più dannosi.

La risoluzione spaziale del MOPITT è di 22 Km al nadir ed il suo swath è di 640 Km. Inoltre la concentrazione del monossido di carbonio può essere misurata su una colonna atmosferica di 5 Km in maniera da aiutare gli studiosi ad attribuire questo gas alle rispettive sorgenti.

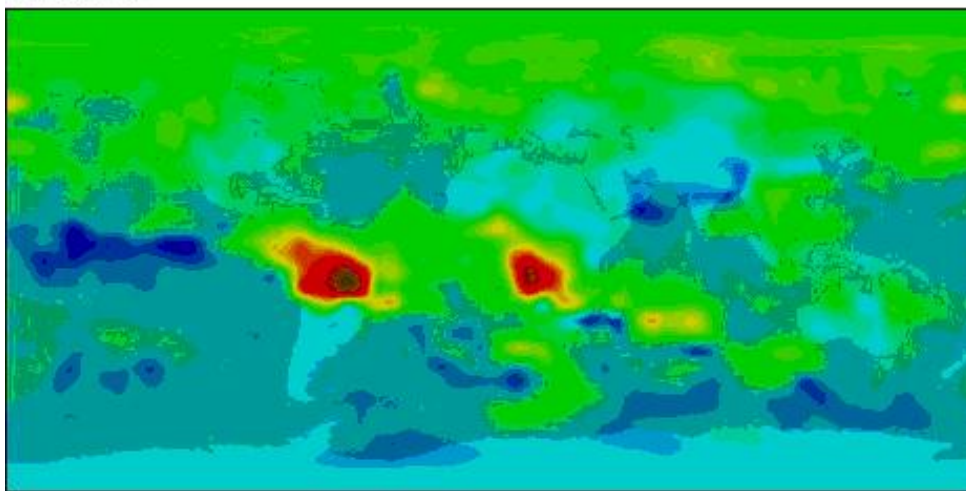


Il sensore MOPITT

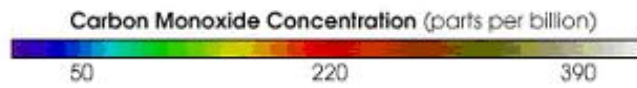
Qui un esempio di mappe delle prime misure di concentrazione del monossido di carbonio su scala globale ricavate da immagini MODIS



April 30, 2000

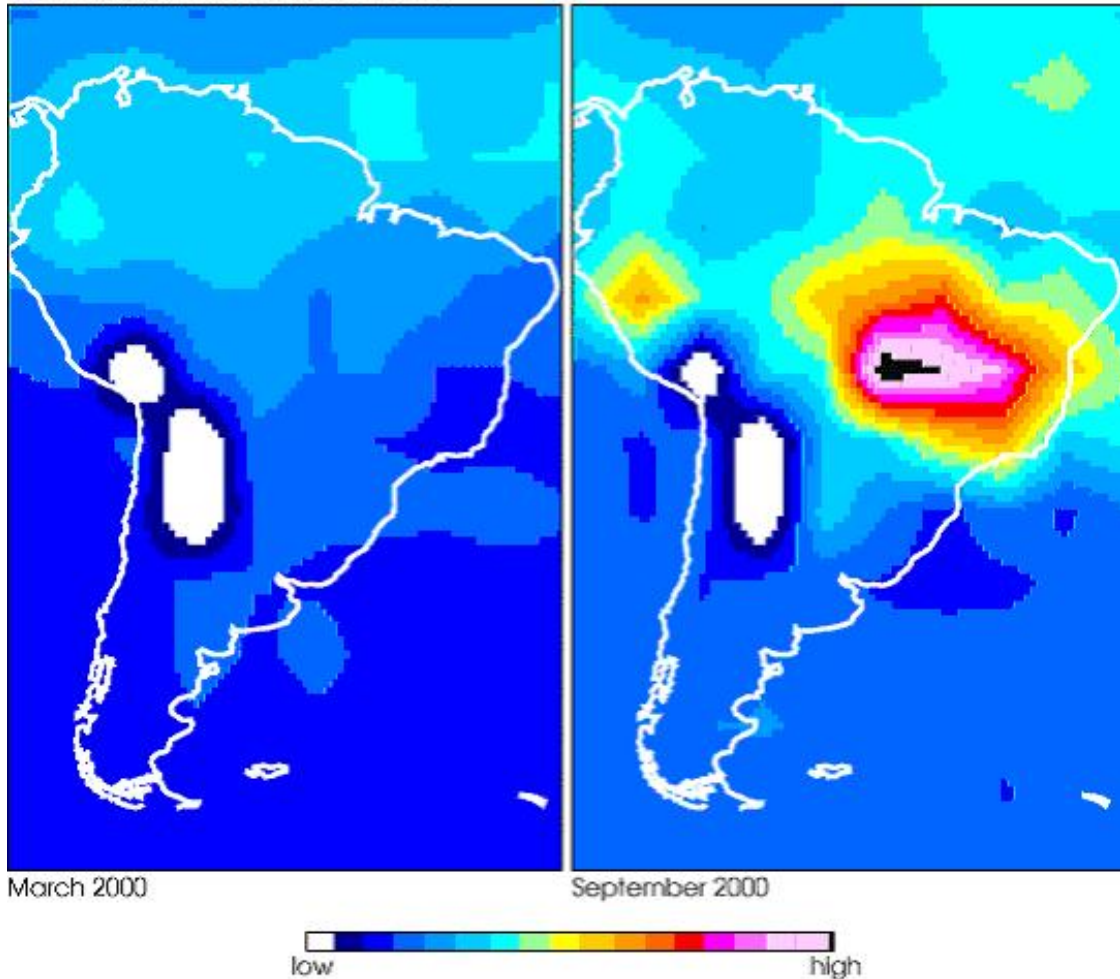


October 30, 2000



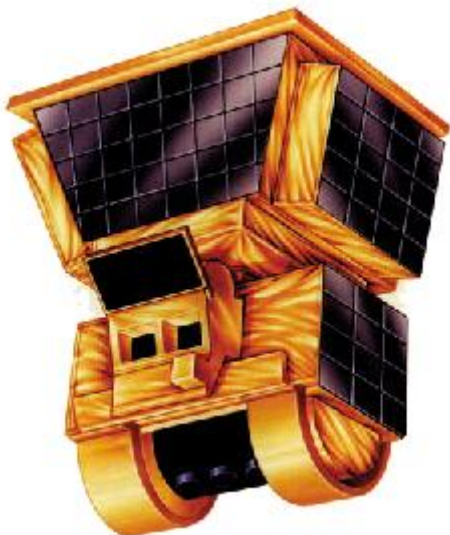
Queste altre due mappe mostrano l'aumento di concentrazione di monossido di carbonio in corrispondenza delle aree della foresta Amazzonica dove è stata bruciata la biomassa.

MOPITT Carbon Monoxide at 700 mb



CERES

L'esperimento **Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES)** è uno degli strumenti di massima priorità scientifica sviluppato da EOS. I prodotti CERES includono la radiazione solare riflessa e quella emessa dalla Terra, misurata a partire dalla parte alta dell'atmosfera fino alla superficie terrestre. Le proprietà delle nuvole sono determinate usando misure di altri strumenti EOS come il Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS).



Il sensore CERES

Ogni strumento CERES ha 3 canali : uno ad onde corte per misurare la riflettività, uno ad onde più lunghe per misurare la radiazione emessa nella finestra 8-12 ed uno più ampio per la radiazione globale.

Sotto è riportato un esempio di mappe della radiazione riflessa ed emessa dalla Terra su base mensile

5.11 - I sistemi iperspettrali

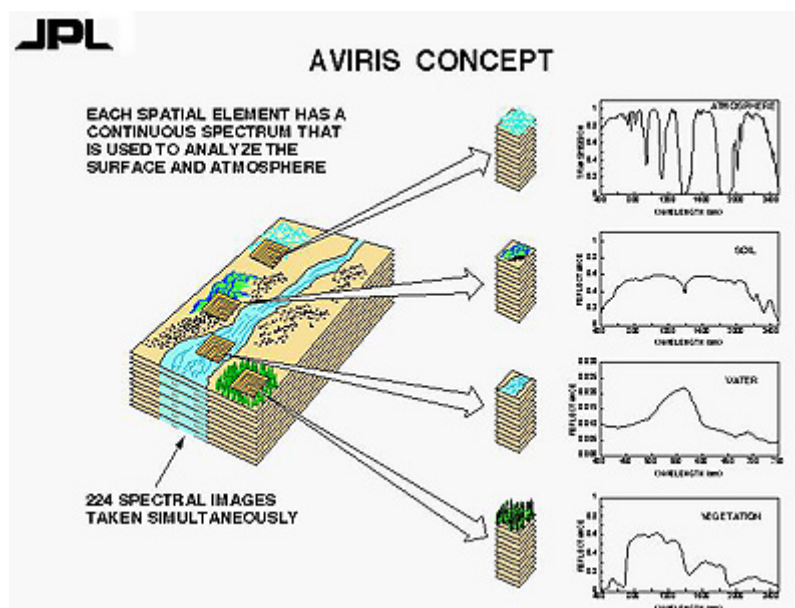
Una potente e versatile tecnologia è il sistema iperspettrale.

Fin ad ora il veloce movimento delle piattaforme aeree e spaziali era tale da non permettere ad uno [spettrometro](#) di acquisire dati su piccole superfici o su un 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 $0.1 \mu\text{m}$. 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 $2.55 \mu\text{m}$ può essere suddiviso in 217 unità, ciascuna approssimativamente di 10 nanometri di ampiezza costituendo in effetti bande più strette. Se il valore di [radianza](#) 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.

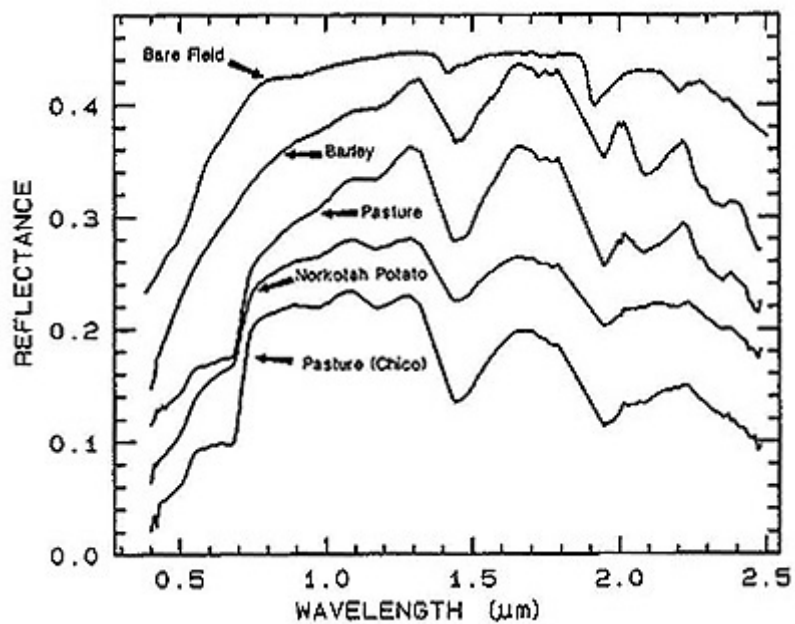
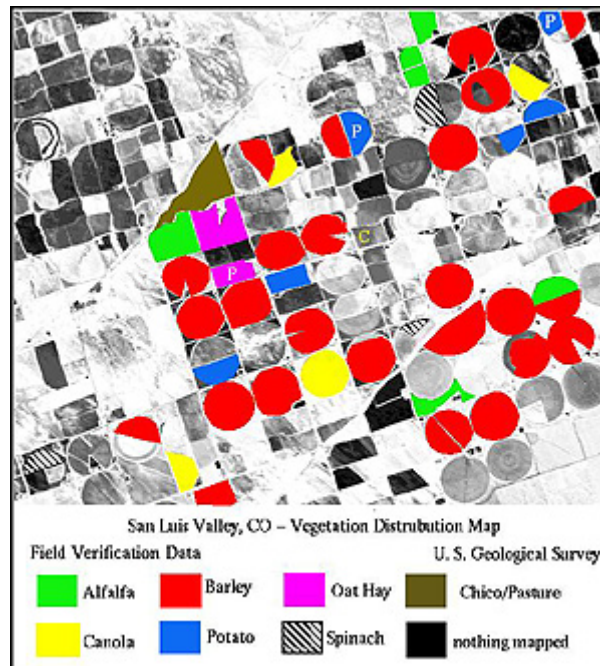
L'AVIRIS è dotato di 4 spettrometri con un totale di 224 rivelatori CCD e corrispondenti canali ognuno con una risoluzione spettrale di 10 nanometri e una [risoluzione spaziale](#) di 20 metri. La dispersione dello spettro nell'intera schiera di rivelatori è poi terminata grazie ad un grata di [diffrazione](#). 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 qui mostrato:



Qui sotto è mostrata 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).



E' ovvio che 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.

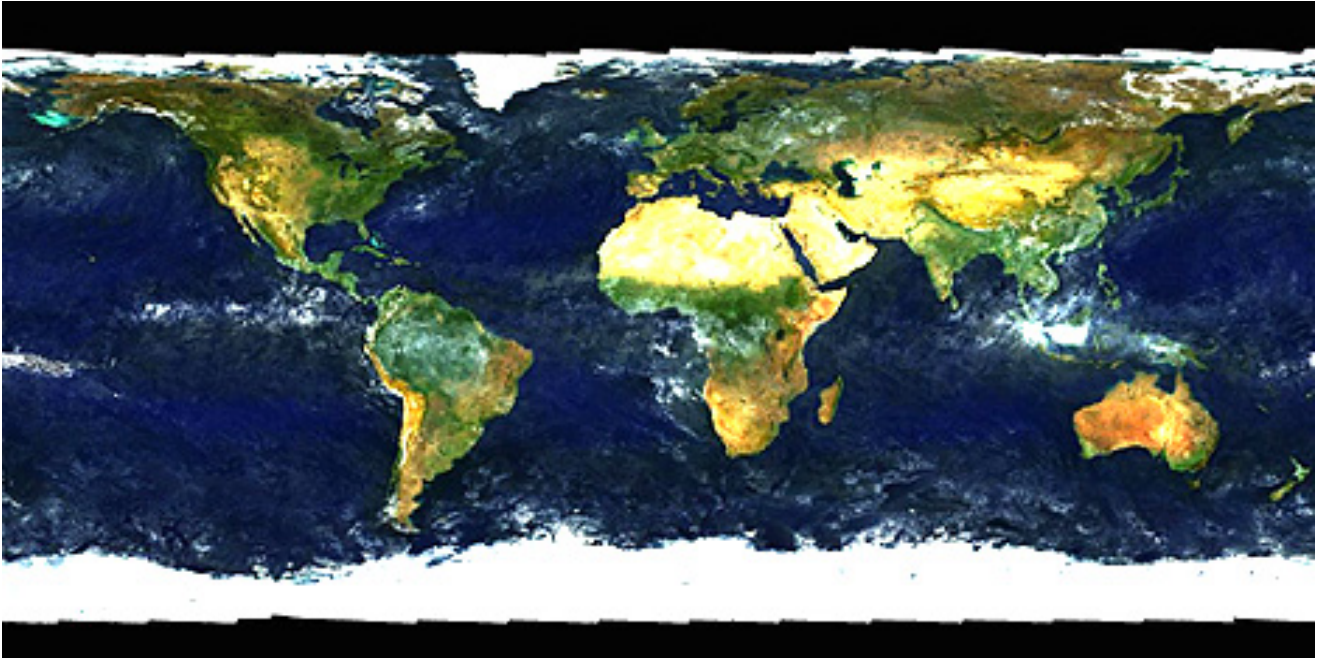
5.12 - SeaWifs

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

L'immagine che segue, del 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.



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.

5.13 - 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.

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. 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.

Bande NOAA AVHRR

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

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.

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 μm ; 2.5 km di risoluzione), l'infrarosso medio (5.7 - 7.1 μm ; 5 km di risoluzione), e l'infrarosso termico (10.5 - 12.5 μm ; 5 km di risoluzione).

5.14 – Missioni Pianificate – Cosmo Skymed

Il programma COSMO SkyMed è finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana ed è la prima costellazione di satelliti che prevede l'utilizzo di sensori SAR e Ottici capaci di incontrare i requisiti per la gestione, il controllo e l'esplorazione delle risorse della Terra. Il progetto prevede un utilizzo duale del sistema.

L'acronimo COSMO significa Costellazione di piccoli satelliti per l'Osservazione del bacino del Mediterraneo, quindi questo sarà principalmente dedicato all'osservazione delle comunità che si affacciano sul Mar Mediterraneo, sebbene sarà in grado di fornire servizi innovativi a tutti i paesi del mondo.

La missione COSMO SkyMed è formata da una costellazione di 3 satelliti dotati di sensori ottici e 4 satelliti forniti di strumento SAR in banda X di medie dimensioni che orbiteranno intorno alla Terra in modo da permettere una copertura globale del nostro pianeta. Le osservazioni sulla zona di interesse saranno ripetute più volte al giorno. Ognuno dei quattro satelliti equipaggiati con sensori radar, sarà in grado di operare in ogni condizione di visibilità, ad alta risoluzione e in tempo reale.

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

5.15 - Radarsat-2

Il programma RADARSAT-2 nasce da una collaborazione tra l'Agenzia Spaziale Canadese (CSA) e la MacDonald Dettwiler (MDA)

Il satellite RADARSAT-2 sarà il primo satellite commerciale radar che potrà acquisire dati in multi polarizzazione, fornendo un prezioso strumento per identificare una grande varietà di caratteristiche della superficie terrestre.

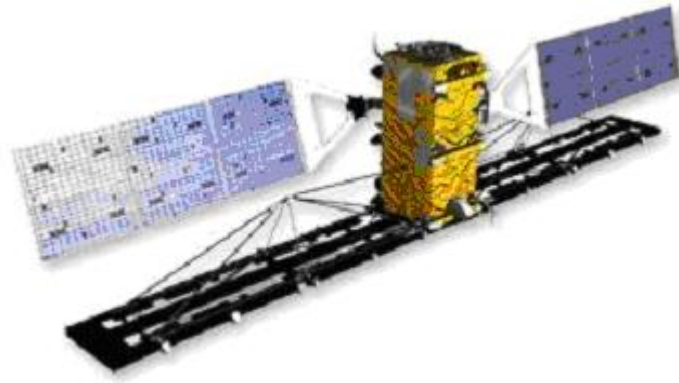
Sarà lanciato nel 2005 e darà continuità ai dati acquisiti da Radarsat-1 per i successivi sette anni.

RADARSAT-2 permetterà di acquisire immagini con una risoluzione spaziale che varia dai 3 m ai 100 m con uno swath compreso tra 10 e 500 km.

Operando in banda C, il [Radar](#) ad Apertura Sintetica (SAR) a bordo di RADARSAT-2 assicurerà continuità con tutti i modi esistenti di RADARSAT-1 ed offrirà una vasta gamma di caratteristiche

addizionali dal miglioramento della risoluzione fino ad una completa flessibilità nella selezione delle opzioni di polarizzazione.

Infine a bordo vi sarà un ricevitore GPS e un sistema ad alta precisione per il controllo dell'altezza.



RADARSAT-2 Satellite

5.16 - ALOS

Advanced Land Observing Satellite è il satellite Giapponese ad alte prestazioni successore di [JERS-1](#) e ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite) e migliora la loro tecnologia di osservazione della terra per completare quattro missioni principali:

1. Cartografia
2. Osservazione Regionale
3. Monitoraggio dei disastri
4. Valutazione delle risorse

L'agenzia di Esplorazione Aerospaziale del Giappone (JAXA) ha pianificato il lancio di ALOS nel 2004.



Satellite ALOS

A bordo di ALOS ci sono tre strumenti di telerilevamento:

PRISM	High-resolution(monochrome) images, collect elevation data
AVNIR-2	Multi-band (color) images, capability of pointing
PALSAR	Cloud-free, Day-and-Night radar sensor

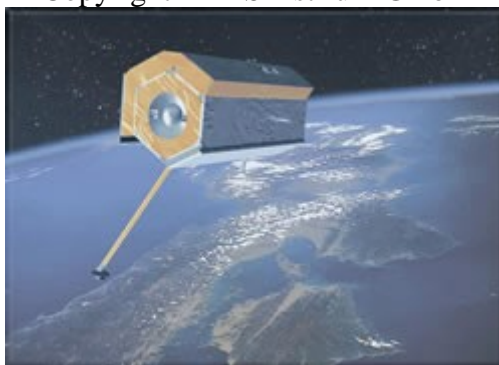
5.17 - TerraSAR

Il sistema TerraSAR è composto da due differenti satelliti equipaggiati con sensori radar operanti a diverse frequenze: il primo opererà in banda X e il secondo in banda L. La missione TerraSAR è stata progettata in modo che i due satelliti possano operare anche in configurazione tandem seguendo orbite eliosincrone.

TerraSAR-X nasce dalla collaborazione tra il Centro Aerospaziale Tedesco (DLR) e Astrium, che co-finanziano la costruzione e l'implementazione del satellite, mentre TerraSAR-L sarà implementato nell'ambito del programma Earth Watch dell'Agenzia Spaziale Europea. Lo scopo della missione è quello di rispondere alle esigenze degli utenti finali che negli ultimi anni richiedono prodotti e servizi, basati sull'utilizzo di dati satellitari ad alta risoluzione, per il monitoraggio dell'ambiente e dei rischi naturali e legati alle attività antropiche. TerraSAR-X sarà operativo a partire dal 2006 e distribuirà immagini radar la cui risoluzione spaziale varierà da 1 a 16 metri.

Le principali applicazioni dei dati TerraSAR-X sono: mappe topografiche, Modelli Digitali del Terreno e mappe di copertura/uso del suolo. Alcune applicazioni più specifiche forniranno informazioni a supporto dell'Agricoltura, Silvicoltura, Diagnostica del rischio e Pianificazione Spaziale.

Copyright EADS Astrium GmbH



Satellite TerraSAR-X

5.18 - SAOCOM

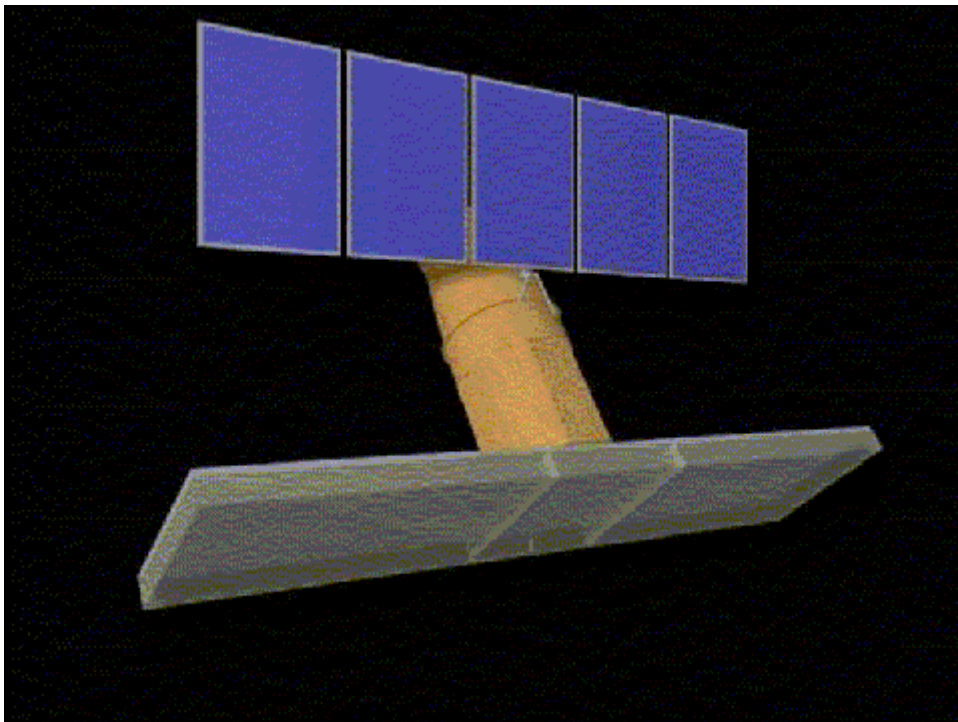
La serie di satelliti SAOCOM è la prima missione di [Telerilevamento](#) dell'Argentina avente come principale carico utile un [Radar](#) ad Apertura Sintetica (SAR). La missione SAOCOM-1 è composta da due satelliti (1A e 1B) che saranno lanciati consecutivamente.

Lo sviluppo della missione è finanziato dalla CONAE, Commissione Nazionale per le Attività spaziali dell'Argentina. La missione è stata pianificata nell'ambito di un accordo italo-argentino per la realizzazione di una costellazione di satelliti per la gestione delle emergenze e il monitoraggio dei disastri naturali (SIASGE, Sistema Italo-Argentino de Satélites para Gestión de Emergencias). L'Italia parteciperà con la costellazione COSMO Sky/Med.

Il satellite SAOCOM 1-A è equipaggiato con sensori SAR operanti in banda L (1,3 GHz) e un sensore operante nell'infrarosso termico.

Il SAR avrà una risoluzione spaziale che varia da 7 m a 100 m a seconda della modalità di acquisizione e uno swath tra i 50 e i 100 km. Il segnale penetra fino a 2 metri di profondità, permettendo di acquisire informazioni sull'umidità del suolo e la struttura geologica e permetterà inoltre di determinare la profondità e la direzione dei flussi delle acque sotterranee. Il sensore infrarosso acquisirà informazioni riguardo eruzioni e incendi.

Copyright INVAP



Satellite SAOCOM

5.19 - SMOS

La Missione Soil Moisture and Ocean Salinity è la seconda missione di Earth Explorer Opportunity il cui lancio è previsto agli inizi del 2007.

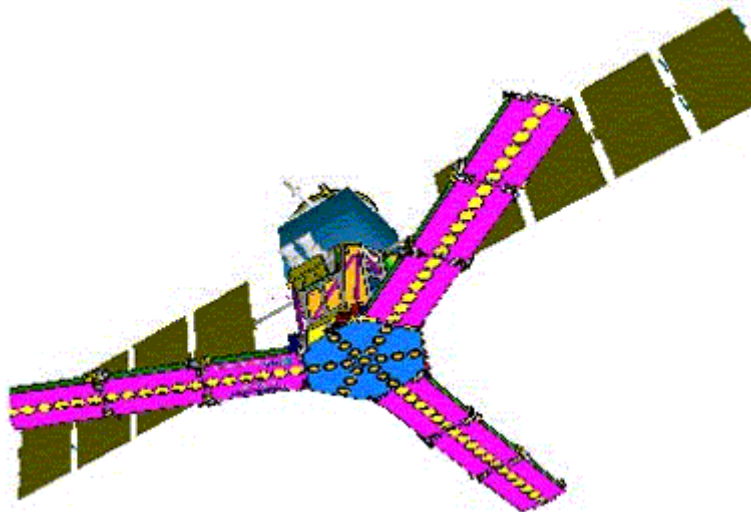
La missione nasce da un accordo tra ESA e EADS-CASA siglato lo scorso 11 giugno 2004.

La missione SMOS è stata concepita allo scopo di fornire osservazioni globali di due variabili cruciali per lo studio dei modelli climatici e idrologici, l'umidità del suolo e la salinità delle superfici marine, per un periodo di almeno 3 anni. L'umidità del suolo e la sua evoluzione spazio-temporale è una variabile chiave per i modelli numerici meteorologici e climatici. D'altra parte la salinità oceanica è una variabile importante per i modelli di circolazione oceanica come indicatore di copertura di acqua dolce e può essere utilizzata per tracciare le anomalie di salinità alle alte latitudini che potrebbero influenzare il clima a livello regionale.

Un obiettivo secondario della missione è quello di fornire osservazioni sulle regioni di neve/ghiaccio per caratterizzare gli strati di neve e ghiaccio per gli studi della criosfera. Inoltre esso osserverà il contenuto d'acqua della vegetazione.

Lo strumento a bordo di SMOS è MIRAS (Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis), un interferometro in 2D passivo che acquisirà in banda L (1,4 GHz), da un'altezza di 763 Km. L'interferometria in 2-D è ottenuta usando una configurazione d'antenna in forma di Y. Ciascun braccio della "Y" ha 18 ricevitori, di diametro 19 cm e lunghi 4.5 metri. Diciotto ricevitori aggiuntivi sono localizzati al centro della "Y", raggiungendo un totale di 72 ricevitori.

Lo strumento registrerà istantaneamente la polarizzazione H e V della temperatura di brillanza a diversi angoli di incidenza (0-55 gradi). La larghezza di swath è di circa 1000 km, la risoluzione spaziale nominale è di 50 km (35 Km al centro del FOV) per un'orbita circolare di 755 Km ed un angolo di 32 gradi.



Strumento MIRAS

5.20 - METOP

MetOp sarà il primo satellite ad orbita polare dell'Europa dedicato alla meteorologia operativa. Esso rappresenta il contributo Europeo ad una nuova impresa cooperativa con gli Stati Uniti per fornire dati che saranno utili per monitorare il nostro clima e migliorare le previsioni del tempo. Una nuova generazione di strumenti Europei che offrono migliorate capacità di telerilevamento sia per i meteorologi che per i climatologi saranno montati a bordo insieme a strumenti di "eredità" degli Stati Uniti. I nuovi strumenti Europei aumenteranno l'accuratezza di:

- misure di temperatura e umidità
- misure della direzione e velocità del vento, specialmente sopra l'oceano
- profili di ozono nell'atmosfera

MetOp è una serie di tre satelliti che saranno lanciati sequenzialmente in 14 anni, a partire dal 2005 e formano il segmento spaziale di Sistema Polare EUMETSAT (EPS).

Il disegno di MetOp è basato su un concetto modulare. Il satellite è costituito da un Pannello Solare e due moduli: il Modulo di Servizio (SVM) e il Modulo di Payload (PLM).



Strumenti del Modulo del Payload

Maggiori dettagli sugli strumenti si possono trovare alla pagina web:
http://www.esa.int/export/esaME/ESA266094UC_Payload_0.html

5.21 - NPOESS

Il Sistema Nazionale di Satelliti Ambientali Operativi in Orbita Polare (NPOESS) è un sistema di satelliti usato per monitorare le condizioni globali dell'ambiente, raccogliere e distribuire dati relativi a: clima, atmosfera, oceano, terra e ambiente.

I satelliti NPOESS sostituiranno le serie di satelliti NOAA, mettendo in evidenza sensori più avanzati e nuove capacità.

NPOESS farà convergere i sistemi esistenti di satelliti in orbita polare (il Satellite Ambientale Operativo in Orbita Polare POES gestito dal Dipartimento del Commercio degli Stati Uniti e il programma polare parallelo del Dipartimento della Difesa ossia il Programma del Satellite Meteorologico della Difesa DMSP) in un singolo programma Nazionale degli Stati Uniti. I satelliti in orbita polare consentono di monitorare l'intero pianeta e fornire dati per previsioni del tempo e climatiche a lungo-termine.

Il programma è gestito dall' Ufficio del Programma Integrato (IPO) che utilizza il personale del Dipartimento del Commercio, del Dipartimento della Difesa e della NASA. L'attuale mandato di NPOESS si estende fino al 2018.

L'Ufficio ha iniziato a pianificare e sviluppare programmi di trasformazione di satelliti (Progetto Preliminare NPOESS) e sviluppo di sensori.

NPP

Il Progetto Preliminare NPOESS (NPP) è un progetto congiunto NASA/IPO ideato per fare da ponte tra il programma NASA EOS e NPOESS per lo sviluppo dei seguenti sensori:

- Advanced Technology [Microwave](#) Sounder (**ATMS**)
- Cross-track Infrared Sounder (**CrIS**)
- Ozone Mapping and Profiler Suite (**OMPS**)
- Visible/Infrared Imager Radiometer Suite (**VIIRS**)

La sua missione è quella di potenziare l'uso di tecnologie avanzate per il rilevamento atmosferico, fornire osservazioni continue sul cambiamento globale dopo EOS-PM (Terra) e EOS-AM (Aqua). Esso fornisce dati sulle temperature atmosferiche e della superficie del mare, misure di umidità, produttività biologica della terra e dell'oceano e proprietà delle nuvole e degli aerosols.

6 - Elaborazione delle immagini e interpretazione

Perché i dati telerilevati siano utili, dobbiamo essere in grado di estrarre informazioni significative dalle immagini. Questo ci porta all'argomento di questo capitolo, l'elaborazione e l'interpretazione delle immagini. L'interpretazione e l'analisi delle immagini telerilevate implica l'identificazione e quindi l'estrazione di utili informazioni sui diversi elementi presenti sull'immagine. Molte delle interpretazioni e identificazioni di elementi presenti nelle immagini telerilevate sono effettuate manualmente o visivamente da un interprete umano. In molti casi questo è fatto usando immagini visualizzate in un formato fotografico. In questo caso noi diciamo che i dati sono in formato analogico. Le immagini telerilevate possono anche essere rappresentate in un computer come una griglia di pixel, con ciascun pixel corrispondente ad un numero digitale che rappresenta il livello di luminosità di quel pixel nella immagine. In questo caso i dati sono in formato digitale. L'interpretazione visiva può anche essere effettuata esaminando le immagini digitali visualizzate sullo schermo di un computer. Le immagini, sia analogiche che digitali, possono essere visualizzate in bianco e nero (anche dette monocromatiche) o come immagini a colori combinando differenti canali o bande che rappresentano differenti lunghezze d'onda. Ma che cosa è una "immagine a colori"? Dobbiamo adesso analizzare il concetto di colore.

Noi vediamo i colori perché i nostri occhi percepiscono l'intero intervallo di lunghezze d'onda del visibile e il nostro cervello elabora le informazioni in colori separati. Puoi immaginare come ci apparirebbe il mondo se noi potessimo vedere solo degli intervalli molto limitati di lunghezze d'onda o colori? Questo è il modo in cui molti sensori funzionano. Le informazioni derivanti da un intervallo ristretto di lunghezze d'onda sono raccolte e conservate in un canale, talvolta definito come una banda. Possiamo combinare e visualizzare in maniera digitale i diversi canali usando i tre colori primari (blu, verde e rosso). I dati da ciascun canale o banda sono rappresentati come uno dei colori primari e, in funzione della relativa luminosità (il numero digitale) di ciascun pixel in ogni banda, i colori primari si combinano in diverse proporzioni per rappresentare diversi colori. Quando usiamo questo metodo per visualizzare una singola banda, visualizziamo quella banda attraverso tutti e tre i colori primari. Poiché il livello di luminosità di ciascun pixel è lo stesso per ciascun colore primario (è sempre la stessa banda visualizzata nel blu, nel verde e nel rosso) i colori si combineranno a formare una immagine in bianco e nero che mostrerà diversi toni di grigio dal nero al bianco. Quando visualizziamo più di una banda ciascuna come un diverso colore primario, i livelli di luminosità potranno essere differenti per ciascuna banda/colore primario e quindi i colori si combineranno a formare una immagine a colori.

Quando i dati telerilevati sono disponibili in formato digitale, l'analisi e l'elaborazione digitale possono essere effettuati usando un computer. L'elaborazione digitale può essere usata per migliorare i dati come preparazione ad una interpretazione visiva. L'analisi e l'elaborazione digitale per identificare gli elementi nella immagine ed estrarre informazioni possono anche essere effettuati in maniera automatica senza nessun intervento da parte di un interprete. Spesso tale analisi è fatta come ausilio a quella effettuata dall'interprete.

Sia le tecniche manuali che quelle digitali per l'interpretazione di dati telerilevati hanno i loro vantaggi e svantaggi. L'interpretazione manuale è spesso limitata ad analizzare una singola banda o una singola immagine alla volta a causa della difficoltà nell'effettuare l'interpretazione visiva con immagini multiple. L'analisi digitale è utile per analisi simultanee di molte bande spettrali e, inoltre, è possibile elaborare set di dati voluminosi molto più velocemente di un interprete umano. Inoltre l'interpretazione manuale è un processo soggettivo, ciò significa che i risultati varieranno con differenti interpreti, mentre l'analisi digitale è basata sulla manipolazione di numeri digitali in un computer e quindi è più obiettiva, dando generalmente risultati più consistenti. In ogni caso la determinazione della validità e della accuratezza dei risultati dall'elaborazione digitale può essere difficoltosa.

E' importante comprendere che l'analisi visiva delle immagini telerilevate non esclude l'analisi digitale e viceversa. Entrambe le metodologie hanno i loro meriti. Nella maggior parte dei casi, un mix di entrambi i metodi è utilizzato nell'analizzare le immagini.

Al fine di mettere in pratica alcune delle regole fondamentali che gli specialisti dell'interpretazione applicano per l'esame e l'analisi di un'immagine telerilevata dallo spazio, ci concentreremo quasi completamente sull'analisi di una singola immagine Landsat. Saranno dimostrate e valutate diverse tecniche comuni di analisi, utilizzate nell'elaborazione computerizzata di dati telerilevati da satellite. Dotatevi di un atlante geografico prima di iniziare, seguire le lezioni sarà più facile!

Banda 3 TM di Morro Bay, California

Bande del Thematic Mapper

Identificazione delle caratteristiche della scena

Rappresentazione in falsi colori

Rappresentazione in colori reali

Altre combinazioni di colori

Tecniche di enfaticizzazione

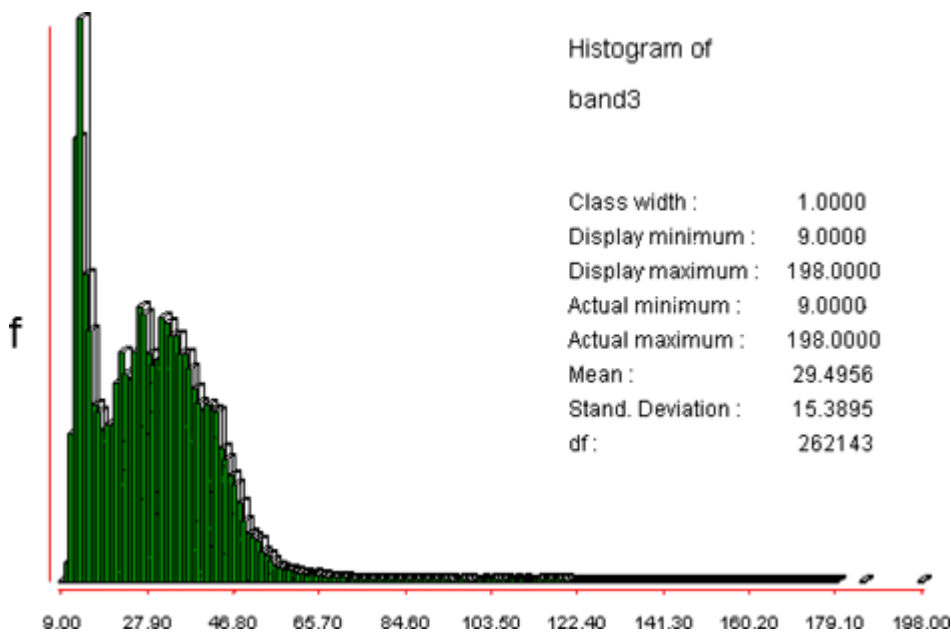
- Contrast Stretching
- Filtri spaziali
- Analisi delle Componenti Principali
- Rapporto tra bande

6.1 - Banda 3 TM di Morro Bay, California

La scena scelta rappresenta una regione della costa della California centrale a circa metà strada tra San Francisco e Los Angeles, nella contea di San Luis Obispo. Questa immagine è stata estratta dalla scena del Thematic Mapper [Landsat](#) 5 (scena 5026-31810) acquisita il 19 Novembre del 1984. Questi dati rappresentano una parte dei campioni offerti ad uso formativo dall' Earth Observation Satellite (Eosat) Corp., attualmente conosciuta come Space Imaging-Eosat. Per familiarizzare con l'immagine scelta, guardatela nella banda 3 del TM in bianco e nero.



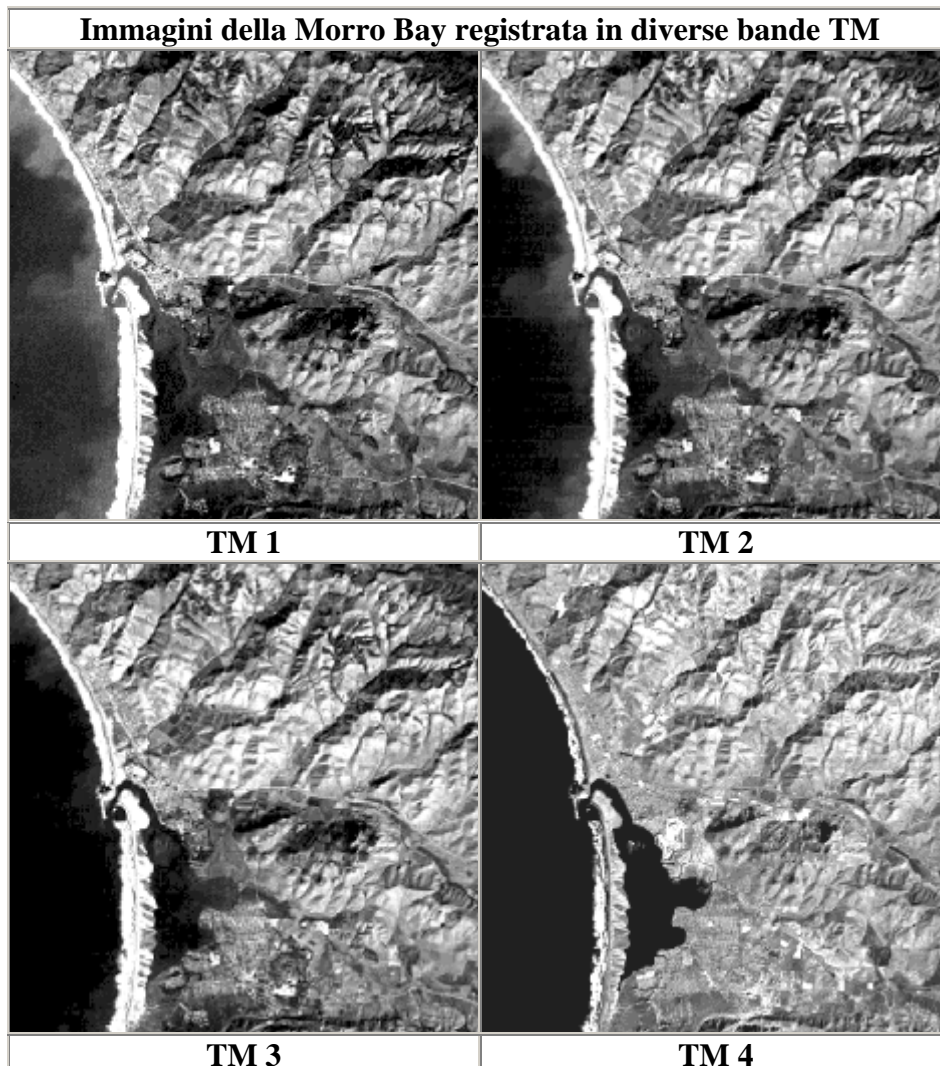
Il dato visualizzato è costituito da una griglia di 512 x 512 pixel (ogni pixel rappresenta un quadrato di 30 metri di lato, e ciascun lato dell'immagine supera appena i 16 chilometri di lunghezza). Al di sotto dell'immagine appare un istogramma che rappresenta la distribuzione di frequenza dei valori di luminosità nella banda 3. Il picco vicino al valore 9 di DN corrisponde alle tonalità scure associate all'oceano; il secondo picco, prossimo al valore 28, fa riferimento alle tonalità medie di grigio.

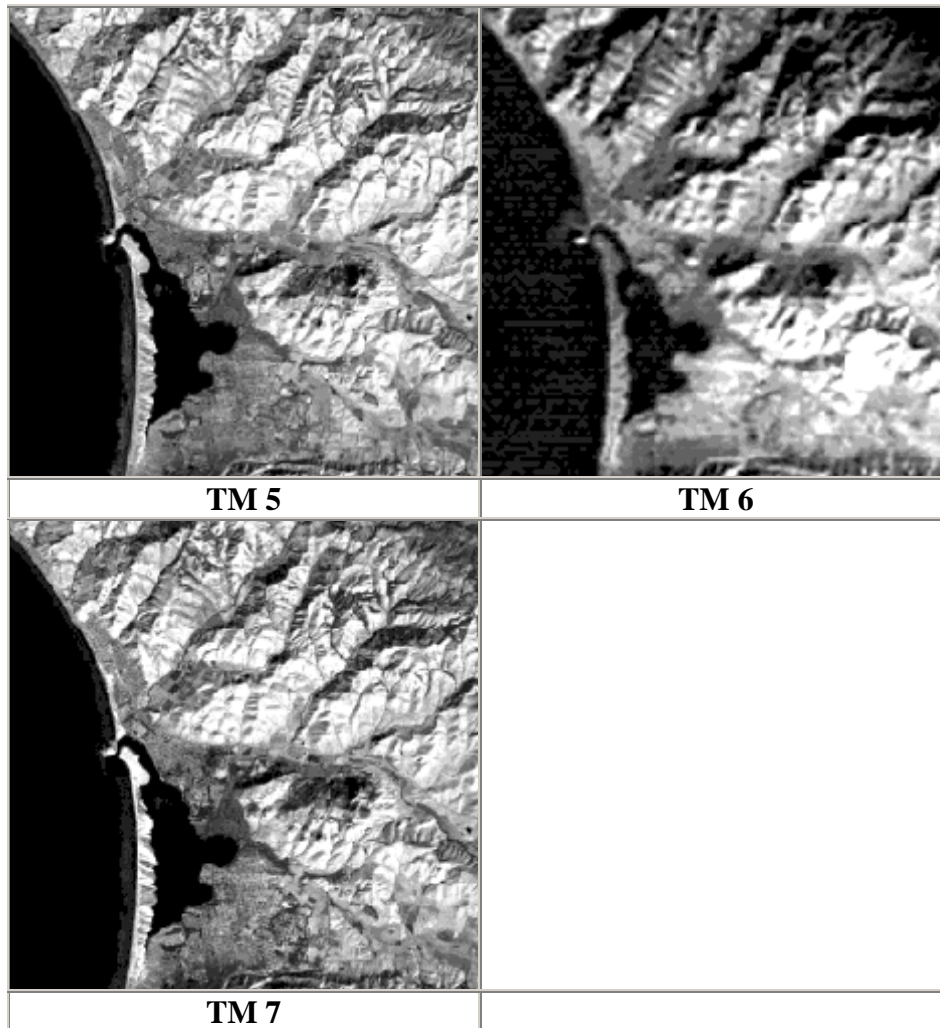


La città più grande nell'immagine è Morro Bay. Questa sorge a circa 21 chilometri a nord ovest della cittadina di San Luis Obispo, raggiungibile per mezzo della strada, chiaramente visibile nella scena, la nota Autostrada costiera 1 che corre lungo buona parte della linea di costa californiana, anche se questa scena si estende verso l'entroterra orientale. La seconda strada principale, l'Autostrada californiana 41, è visibile poiché attraversa una valle tra due colline in direzione Ascadero, a 27,5 Km verso nord-est. Cayucos è una piccola città residenziale che sorge lungo la costa a nord di Morro Bay. Nella parte bassa dell'immagine è presente un altro grande insediamento, la città di Los Osos.

6.2 - Bande del Thematic Mapper

Con questa anteprima della scena rappresentata, siamo pronti per partire con la nostra esercitazione sull'interpretazione delle immagini. Poiché questo potrebbe essere il vostro primo approccio al lavoro di interpretazione, vi invitiamo a prendere confidenza con questa scena [Landsat](#) nella sua rappresentazione in tutte le sette bande TM.





Ciascuna di queste immagini possiede specifici caratteri di tonalità, assieme all'aspetto peculiare definito dai limiti di tonalità e dalle strutture, che aiuteranno ad identificare le caratteristiche del suolo. Potete guardare gli istogrammi per ciascuna delle sette bande [istogramma banda 1](#), [istogramma banda 2](#), [istogramma banda 3](#), [istogramma banda 4](#), [istogramma banda 5](#), [istogramma banda 6](#), [istogramma banda 7](#).

Notate che ciascun istogramma è bimodale, poiché possiede un picco a valori molto bassi (acqua) e l'altro a differenti valori medi di DN.

6.3 - Identificazione delle caratteristiche della scena

Nella rassegna che segue, alcune specifiche caratteristiche e strutture che servono da riferimento per focalizzare la nostra attenzione saranno identificati da lettere, come una carta sovrapposta su un'immagine di sfondo in cui le tonalità di grigio sono state opacizzate. Date un'occhiata alla [mappa](#). Questa mappa può essere richiamata in qualsiasi momento si voglia visualizzarla, cliccando sulla lettera sottolineata e colorata. Per comodità, vi suggeriamo di stampare questa mappa e di consultarla manualmente se non si desidera scaricare la mappa dalla lettera ogni volta che vi si fa riferimento.

Partiamo con la banda TM 1



Nella [banda 1](#), gli oggetti e le superfici bluastre e verdastre dell'immagine saranno visualizzate generalmente come toni di grigio più luminosi di quelli che rappresentano gli altri colori. Alla prima occhiata si notano immediatamente: l'oceano sulla sinistra; la parte collinare, soprattutto nei due terzi superiori della scena; diverse zone con un disegno incrociato che dovreste quasi certamente riconoscere come il reticolo stradale nelle diverse cittadine; un elemento lineare, che è ovviamente un'autostrada maggiore, assieme a diversi elementi simili che sono le strade sussidiarie. Potete anche riconoscere alcune aree, sia naturali che antropizzate, che andremo ad illustrare a breve. La componente acquatica, nella scena, è dominata dall'oceano. La tonalità per il mare aperto è sorprendentemente scura, mentre noi siamo abituati a pensare al colore verde-azzurrognolo dell'acqua. In tutte le bande l'acqua del mare aperto è rappresentato solitamente a livelli bassi di tonalità di grigio, dal momento che la radiazione solare è ampiamente assorbita. La riflettenza è maggiore nelle bande blu e verde, ma non è alta. Tuttavia essa aumenta alquanto se sono presenti limo (sedimenti sabbiosi) o altri sedimenti. In questa banda si vede come i sedimenti siano largamente diffusi sia al largo che nella baia (le loro tonalità in questa banda sono le più luminose tra tutte le sette bande) ma alcune deviazioni all'interno dello schema delle tonalità come nel punto [a](#) lasciano intuire in realtà variazioni nei depositi di sedimento. Grandi variazioni in questi schemi, dalla costa al mare aperto, rappresentano lingue di sedimenti determinate dall'azione delle onde. Questo viene visualizzato meglio nelle bande 2 e 3, in cui queste lingue sono isolate dal contrasto più elevato. Notate la distribuzione variabile dei sedimenti all'interno della più protetta Morro Bay, specialmente in [b](#) che è situato proprio al di là del punto di ingresso di un piccolo fiume.

A destra della linea di costa stessa, due lunghe striscie di tonalità molto chiara (biancastra), molto simili ma in realtà distinte, si estendono dalla parte superiore fino al fondo della scena. Se esaminate le bande a lunghezze d'onda maggiori, la striscia sulla sinistra (verso ovest) cambierà di carattere (diventando di un grigio scuro chiazato), mentre quello sulla destra rimane pressochè identico. La striscia sinistra corrisponde a forti frangenti. Queste barriere sono in realtà biancastre all'occhio se viste da terra, a causa della loro capacità di disperdere e riflettere la luce, in particolare alle lunghezze d'onda più corte, poichè l'acqua non è più una superficie piana quando è agitata e produce schiuma (la superficie di una birra versata è un buon esempio). Probabilmente adesso potete intuire che la striscia a destra si riferisce a della sabbia molto riflettente che si è depositata come una striscia di sabbia o di spiaggia (questo carattere costiero risulta comunemente da depositi di particelle sabbiose che sono trascinate da lunghe correnti marine che tagliano trasversalmente un'insenatura di acqua poco profonda (come nel caso di Morro Bay). Una lunga banchina protegge

l'insenatura da queste correnti; notate che questa struttura stretta non può essere vista nell'immagine ma sono evidenti i suoi effetti sui frangenti. Le chiazze scure **c** che interrompono questa striscia sono vegetazioni costiere che tendono ad avere bassa riflettanza in tutte le bande, persino nella banda 4 che visualizza molti altri tipi di vegetazione come più luminosi.

Riuscite adesso ad individuare le zone occupate da colline e montagne basse grazie alla struttura chiaro-scura che dà l'impressione di una superficie irregolare e della presenza di un rilievo. I produttori di mappe ottengono questo effetto attraverso sfumature in toni di grigio che ingannano la mente dando l'impressione di percepire una topografia ondulata. In questa immagine, così come nelle foto aeree, l'effetto è prodotto dalle variazioni di luminosità della superficie legate all'orientazione relativa dell'angolo di incidenza della luce solare e dell'inclinazione dei versanti. I versanti (come in **d**) orientati verso il sole per esempio formano più frequentemente angoli maggiori rispetto ai raggi solari e riflettono un'elevata percentuale di luce verso il sensore montato sul satellite (o verso la macchina fotografica su un aereo). Queste superfici appaiono quindi più luminose (toni più chiari). I versanti (**e**), che formano angoli minori con la radiazione solare incidente, riflettono la maggior parte della luce lontano dal sensore apparendo più o meno scure, dunque in ombra. Generalmente sono visibili come aree in tonalità medie di grigio all'interno delle quali appaiono, grazie ai contrasti tonali, altre strutture che rappresentano oggetti o tipologie specifiche (si osservi **f**). Se i versanti sono scoscesi e/o l'angolo con il sole è piccolo, essi appaiono sempre più scuri (tendono al nero).

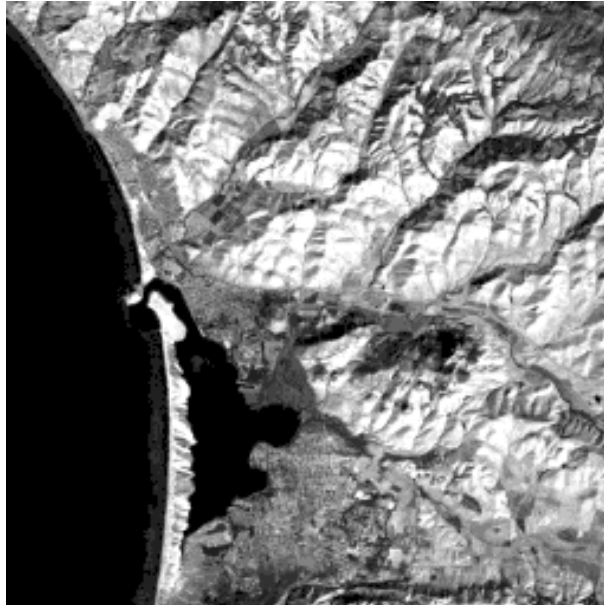
In questa scena gran parte dei versanti in questa e nelle altre bande sono piuttosto chiari. Ciò lascia supporre che è quasi assente vegetazione adulta (verde) e che sono probabilmente superfici di roccia nuda. L'immagine è autunnale e le colline coperte di vegetazione secca hanno una bassa riflettività (scarsa influenza della clorofilla). A quote maggiori la vegetazione è più verde e più densa come in (**g**) essendoci più umidità (legata alla condensazione della nebbia e alla geologia e topografia locale). La vegetazione più densa appare in toni più scuri in [banda 1](#) e [banda 3](#) perchè la clorofilla assorbe le lunghezze d'onda blu e rosse. In [banda 2](#) la vegetazione verde è solo appena più scura dell'erba secca nelle aree adiacenti dato che la clorofilla riflette maggiormente il verde in quella parte dello spettro visibile. Nella scena sono visibili alcuni blocchi di granito. L'esempio migliore, in (**h**), è la Morro Rock visibile nell'immagine come una macchia luminosa (superficie esposta al sole) al disotto di un punto scuro (la sua ombra).

Due strutture (che appaiono in toni più scuri nelle prime tre bande TM, specialmente la 1 e la 3) possono essere correlate con la vegetazione in crescita. In (**i**), delle linee scure lunghe e sottili corrispondono alla vegetazione, prevalentemente arborea e arbustiva, che si concentra lungo le rive di stretti corsi d'acqua, probabilmente discontinui. Altre strutture più irregolari, in tonalità simili, (come in **j**), sono generalmente associate a raggruppamenti irregolari di arbusti ed alberi. In (**k**) e altrove, soprattutto nelle valli e nelle pianure, sono presenti strutture più o meno regolari (talvolta rettangolari) in toni scuri, espressioni dei campi coltivati che contengono colture in fase di crescita. Altre strutture irregolari della scena, come in (**l**), potrebbero essere aree di macchia (si osservi in primo piano [in questa foto](#)) o anche zone umide. Altre aree scure più estese, come in (**m**) e (**n**), sono probabilmente campi aperti incolti o secchi o pianure sporadicamente ricoperte da vegetazione naturale.

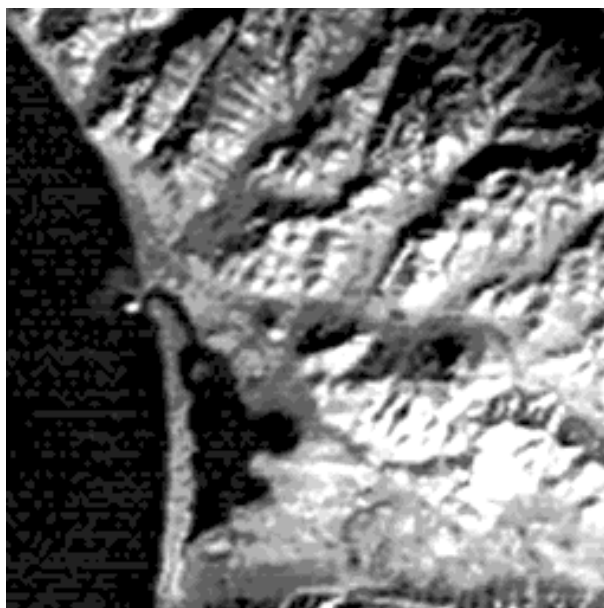
L'ampia area pressochè triangolare (**o**), su cui l'immagine è centrata, giace ad un'estremità del piccolo fiume (**p**) che attraversa la vallata tagliata dalla Autostrada 1. Perlomeno parte di quest'area è un delta scavato nella Morro Bay. La vegetazione che vi si trova, caratterizzata da toni moderatamente scuri in questa banda, è caratteristica delle zone umide che si sviluppano come acque salmastre paludose lungo la costa.

Osserviamo ora la banda 7 del TM, centrata sui 2.2 µm, nell'infrarosso. L'immagine ha elementi in comune sia con la banda [1](#) che con la [4](#) ma esistono numerose ovvie differenze. Tutta l'acqua è ora

totalmente scura (non ci sono indizi di sedimenti riflettenti). Sopravvivono soltanto deboli tracce dei frangenti. La sabbia delle spiagge è più chiara che in banda 4. I versanti collinari esposti al sole appaiono moderatamente più chiari che nelle altre due bande. Dai versanti parzialmente in ombra emergono maggiori dettagli. Alcune aree, come i campi coltivati, che apparivano in toni chiari nella banda 4 sono nuovamente scuri come in banda 1. L'area misteriosa attorno a [s](#) mostra una struttura interna, con strisce allungate chiare e scure, che svela informazioni utili per capirne l'identità. I centri abitati hanno una rete viaria meno netta e sono nel complesso più scuri. Le cave estrattive, così evidenti in banda 1, sono quasi impossibili da individuare in banda 7.



Esaminiamo ora la banda 6 - quella dell'emissione termica (10.5- 12.5 μm). Si ricordi che la risoluzione spaziale di questa banda è di quattro volte inferiore a quella delle altre (120 m anziché 30 m). L'effetto di questa risoluzione ridotta è immediatamente evidente osservando la scena: molti dettagli distinguibili nelle altre bande tendono ad essere "smussati" in questa. Ciò nonostante molti elementi individuati nelle altre bande studiate sono ancora riconoscibili.



In realtà la superficie collinare è più simile ad una rappresentazione 3-D grazie all'elevato contrasto fra i versanti soleggiati, più caldi, e quelli in ombra, abbastanza freddi da apparire ora come strutture scure alquanto uniformi. Ciò comporta una maggiore sensazione di rilievo topografico da

questa parte della scena e evidenzia anche le valli. Alcuni toni medi, come in [y](#), sono legati alla dispersione di calore in corrispondenza della copertura erbosa. Un punto estremamente luminoso, ma isolato, in [h](#), coincide con la Morro Rock che, essendo una nuda roccia con versanti irti, assorbe la radiazione solare e si riscalda a tal punto da divenire una sorgente significativa di energia termica. I centri abitati etichettati in giallo sono in toni medi di grigio, dimostrandosi così più freddi dei versanti collinari naturali ma al loro interno ci sono molti toni più chiari in corrispondenza delle aree centrali, solitamente più calde di quelle residenziali (caratterizzate da più prati e più alberi).

L'acqua, che ha una capacità termica notevolmente maggiore di quella della maggior parte dei materiali "secchi" reperibili al suolo, tende comunque ad apparire, nelle immagini diurne dell'infrarosso termico, più fredda delle superfici sulla terra riscaldate in modo diretto. Questo è evidente nell'immagine, in cui oceano e baia sono entrambi in toni di grigio medi. Se la ripresa fosse notturna l'acqua apparirebbe molto più chiara del suolo circostante avendo trattenuto gran parte del calore interno, mentre la terra re-irradiava l'energia solare assorbita perdendo calore e raffreddandosi a temperature inferiori a quella dell'acqua.

Una struttura irregolare di strisce in toni di grigio più chiari qui non è "reale" ma si tratta di un effetto di rumore nella risposta del sensore. C'è una struttura anomala e significativa allo stesso tempo. Nelle acque a nord ovest di Morro Rock è visibile un'area chiara che penetra nell'oceano dalla costa e che lascia pensare ad un'immissione di sedimenti. Ciò è esattamente quello che ci si può attendere dalla vicina centrale elettrica (in [t](#)) che scarica l'acqua calda di risulta in un'area di acque stagnanti nelle vicinanze.

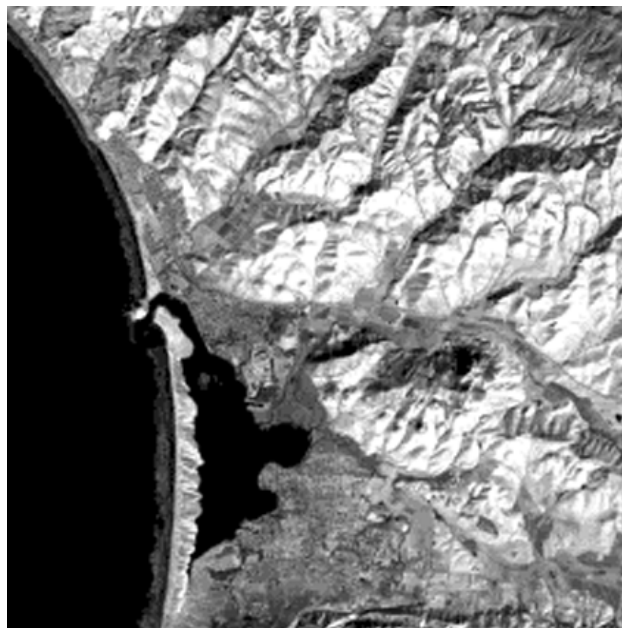
Torniamo, per un momento, alle altre due bande nel visibile, Landsat TM 2 e 3, che rivelano la radiazione riflessa nel rosso e nel verde, rispettivamente. Osserviamo prima la banda 2 (in alto) e quindi la banda 3 (in basso)



e confrontiamo ciascuna di tali bande con le bande [1](#) e [4](#). Nel complesso, ad uno sguardo superficiale, sembra esserci una differenza minima nelle variazioni tonali fra gli elementi presenti dalla banda 1 alla 3. La variazione più percepibile è la diminuzione delle strutture associate ai sedimenti oceanici nel passaggio dalla banda 1 alla 3. I versanti collinari esposti al sole appaiono un pò più luminosi in banda 3 che nelle altre due bande, probabilmente a causa della componente rossa riflessa da una superficie coperta da suolo ed erba scuri.

Per le apparenti similitudini di tono delle principali strutture viste nelle prime tre bande, ci si potrebbe domandare in che modo la loro combinazione in un color composite, che presto analizzeremo, possa risultare nelle nette differenze di colore che effettivamente ne risultano. La risposta è sottile e piuttosto complessa, ma la ragione fondamentale è questa: quando sono generate, le immagini relative alle singole bande sono elaborate al fine di ottenere dei contrasti opportuni. Le immagini prodotte hanno variazioni di tono simili per le classi al suolo poichè gran parte di queste strutture hanno pressochè la stessa differenza relativa in riflettanza in ciascuna banda. Però, di fatto, i valori assoluti della riflettanza (parzialmente tradotti nei DN, Digital Numbers) variano molto da una banda alla successiva. Quindi un elemento che riflette nel verde potrebbe avere un valore medio di DN maggiore in banda 2 che in banda 1 o 3 e ciò contribuirebbe ad una maggiore intensità della componente verde in un color composite.

Concluderemo la nostra rassegna sulle rappresentazioni in bianco e nero delle singole bande visualizzando la banda 5. Questa, centrata sugli 1.65 μm , assomiglia soprattutto alla banda 7, ma osservando i dettagli della [7](#) e della [5](#) si dovrebbero evidenziare numerose piccole differenze. Lungo la striscia di spiaggia ([c](#)), la banda 5 mostra toni un pò più scuri, con delle strutture nella sabbia diverse da quelle dovute alla vegetazione. Come in banda 7, i frangenti hanno perso gran parte della loro riflettanza e appaiono in toni medi di grigio con zone più chiare. La misteriosa struttura ([s](#)) ha un buon contrasto interno che mette in risalto le geometrie distintive che rivelano la sua identità. La struttura delle aree urbane, definita dalla rete viaria che la attraversa (i centri abitati sono etichettati in giallo nella mappa) è più confusa in banda 5. Le due righe di punti bianchi che rappresentano i serbatoi in prossimità della centrale elettrica ([t](#)) scompaiono quasi del tutto in banda 5 (e in banda 7).



Prima di interrompere questa descrizione della banda 7, vogliamo accennare ad un tema secondario che però mette in luce un tipico uso improprio cui sono soggette le immagini da satellite. Si osservi una qualsiasi delle bande di riflettanza (ma in particolare la [5](#) e la [7](#)) nei punti chiamati [w](#). Sono visibili due linee scure e sottili quasi rette. Si tratta di fenomeni comuni nelle immagini satellitari e nelle fotografie effettuate da aereo. Esaminando il resto dell'immagine scelta se ne trovano altre (sebbene talvolta si abbia a che fare con reali contorni netti che separano due diverse strutture o classi). Ai primordi delle applicazioni Landsat molti geologi riferivano che il sensore MSS (e in seguito il TM) era particolarmente indicato all'estrazione di queste linee. Buona parte di queste furono identificate come strutture geologiche naturali, faglie o sistemi di fratture. Furono prodotte e spesso rese pubbliche mappe in cui erano presenti numerose presunte faglie/fratture senza adeguati

controlli sul campo. Quando studi accurati discreditarono questa interpretazione per molte di queste strutture (anche se per un numero rilevante di queste ne fu confermata la correttezza) questo utilizzo del Landsat condusse a scetticismo diffuso e a critiche negative. Attualmente "cautela" è la parola d'ordine e si procede attraverso analisi molto accurate in questo campo. Per inciso, la natura di due delle linee discusse in [w](#) non è stata ancora determinata all'epoca della scrittura di questa sezione, ma una delle due è molto probabilmente vegetazione che costeggia uno stretto rigagnolo. Il fatto che le due linee convergano potrebbe essere una coincidenza e non prova alcuna comunanza di identità.

6.4 - Rappresentazione in falsi colori

Siamo ora nelle condizioni di perfezionare la nostra elaborazione d'immagini anzitutto generando la prima composizione a colori ([color composite](#)).

Cominciamo con il produrre la rappresentazione in falsi colori convenzionale, che si ottiene assegnando la banda TM 2 (verde) al canale blu del monitor, la 3 (rosso) al canale verde, e 4 (infrarosso vicino o fotografico) al rosso.



- TM Band 4 = rosso
- TM Band 3 = verde
- TM Band 2 = blu

Due gruppi di colori dominano le classi al suolo: i rossi, che rappresentano la vegetazione, e i grigio-marroni medi, posti soprattutto in corrispondenza dei versanti luminosi con esposizione al sole. Oceano e baia sono visualizzati in profondi toni blu che, in prossimità della costa ([a](#)), diventano più chiari per via degli strati più spessi di sedimenti che aumentano la [riflettanza](#). I frangenti sono visibili in forma di strutture bianche e blu.

Le diverse tipologie di vegetazione possono essere collocate in specifiche categorie in base al tipo di rosso e in molti casi anche alla loro geometria spaziale. Il rosso continuo e piuttosto intenso in [g](#) rappresenta una frazione delle foreste nella Los Padres National Forest in prossimità della cresta del gruppo montuoso delle Santa Lucia Mtns. Altrove, come in [i](#), sottili striscie rosse o macchie rosse irregolari ([j](#)) possono essere quasi sempre associate ad alberi e/o vegetazione arbustiva ([l](#)) che costeggia i corsi d'acqua o sparsa sui versanti collinari. Aree in rosso chiaro nelle valli, alcune rettangolari e altre meno regolari, in [k](#) e in altri punti, sono esempi di aree coltivate e prati di fieno. Le zone ritenute aride a vari livelli, come [m](#) e [o](#), sono in toni grigio-marrone più scuri ma talvolta hanno deboli sfumature rosa che lasciano supporre una limitata copertura di vegetazione. Dove la vegetazione è rara e sparsa sulle colline, in particolare quando ben illuminate dal sole, la prevalenza di tonalità brune nei colori grigio-marroni è legata al contributo del suolo sottostante combinato con le riflettanze delle erbe marroni (con un segnale molto più debole in banda 4).

Le aree in cui si ritiene vi sia erba a crescita più rapida, come [v](#), hanno un tono rosso-arancio definito. La vegetazione nelle zone umide costiere ([o](#)) assume un tono arancio chiaro distintivo, che

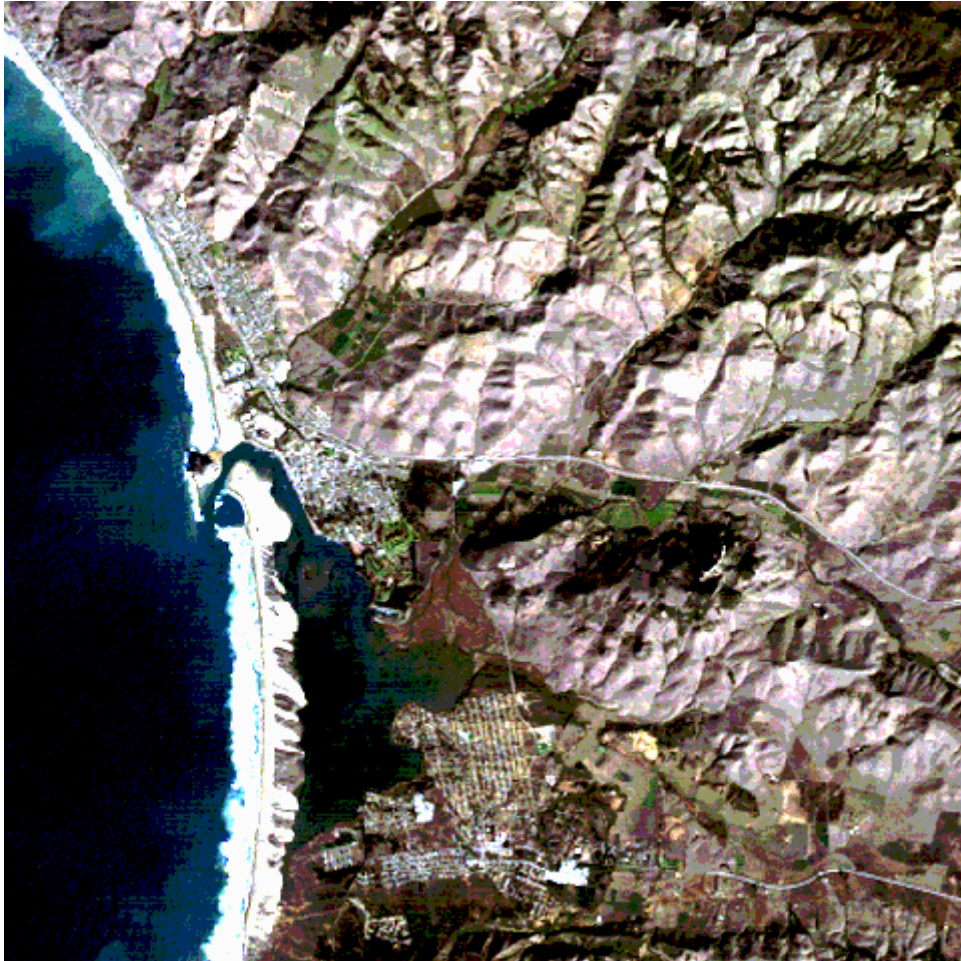
suggerisce la colorazione rossa di alcune delle piante (si ricordi che l'arancio può risultare da un'intensità maggiore di luce filtrata nel verde, associata alla banda rossa nel color composite. L'area misteriosa s in prossimità della zona umida, ingrandita a sinistra, è di un rosso luminoso che rivela la presenza di vegetazione molto riflettente nell'IR reperibile in località dove le piante sono lussureggianti (se non hai ancora indovinato l'identità di questa struttura questo potrebbe essere un indizio decisivo).



Le aree urbane sono delineate ancora una volta attraverso le strade. Queste, come la Autostrada 1 e altre arterie principali, sono in toni blu, prevedibili a causa della loro grande luminosità nelle bande 1 e 2 (associate al blu in questo contesto). La mescolanza di tonalità in Los Osos, con del giallo-bruno qua e là, fornisce alla zona una impronta di colore diversa da quella di Morro Bay; ciò sarà più evidente esaminando il color composite successivo. Entrambe le aree urbane contengono dei segmenti con tratti rossi che corrispondono a zone residenziali, parchi o altri luoghi dove crescono alberi o erba. Le cave estrattive (u) sono estremamente luminose, con sfumature blu.

6.5 - Rappresentazione in colori reali

La scena riportata mostra la regione della Morro Bay in colori quasi naturali, ottenuti assegnando alla banda 1 il blu, alla 2 il verde, e alla 3 il rosso.



In pratica, sono utilizzati diversi algoritmi di rappresentazione a colori per facilitare l'interpretazione dell'immagine, mentre un trattamento analitico è generalmente applicato ai DN originali dei pixel. Questi contengono tutta l'informazione presente nella scena e, sebbene l'intervallo di valori assunti potrebbe rendere necessaria una conversione ad altro range per una migliore visualizzazione, non viene aggiunta alcuna informazione. In realtà, sebbene l'interpretazione visuale sia semplificata nell'immagine elaborata, c'è stata una perdita di informazione e una distorsione, per cui nei processi analitici si utilizzano i valori DN originali o questi tradotti in termini di radianze calibrate.

Con questa elaborazione il risultato è un'immagine piacevole e soddisfacente che mostra il mondo visto dall'alto nei colori a cui siamo solitamente familiari. Cerca di immaginare come ti apparirebbe questa scena se vi stessi volando sopra con un aeroplano.

Probabilmente osserveresti che l'oceano appare troppo scuro nella composizione a colori del TM. Ciò è legato ai toni generalmente scuri di tutte le bande, conseguenza dell'abilità dell'acqua di assorbire la luce in quasi tutto l'intervallo di frequenze nel visibile. L'unica eccezione è, naturalmente, legata ai frangenti (qui con una limitata struttura interna) che sono molto efficienti nella diffusione della luce. Le strutture associate ai sedimenti che abbiamo visto variare passando dalla banda 1 alla 3 sono nettamente distinguibili in questa rappresentazione a colori in cui le aree di maggior densità introducono toni verdi (la banda 3 [rosso] mostra soltanto le aree con maggiore

densità di sedimenti). Nota in particolare i toni scuri bruno- verdi ai confini del delta dove nasce la zona umida costiera, interpretabili come l'espressione di un carico pesante rilasciato alla foce del piccolo fiume (p) che vi scorre sopra.

Probabilmente il colore meno realistico di questa scena in colori reali è quello associato ai luminosi versanti collinari. In questa rappresentazione, il colore di base è bruno con sfumature violette ma vi sono piccole zone caratterizzate da un marrone più scuro che, osservato al livello del suolo, mostrerebbe elementi verdi. Il color composite mostra queste superfici in maniera ingannevole. Da un aeroplano le si potrebbe descrivere come di un colore bruno-dorato chiaro (per via dell'erba secca, uno dei motivi per cui la California è spesso chiamata "Golden State" – "Stato d'Oro"), il che meglio si accorda con la visualizzazione nella prima versione della rappresentazione a colori. La ragione per la colorazione rosso-bruno-violacea è che la luce proveniente dalle superfici orientate in particolari direzioni contribuisce a gran parte del rosso in banda 3, a parte del blu (quindi viola) in banda 1 e ad una piccola quantità di verde in banda 2.

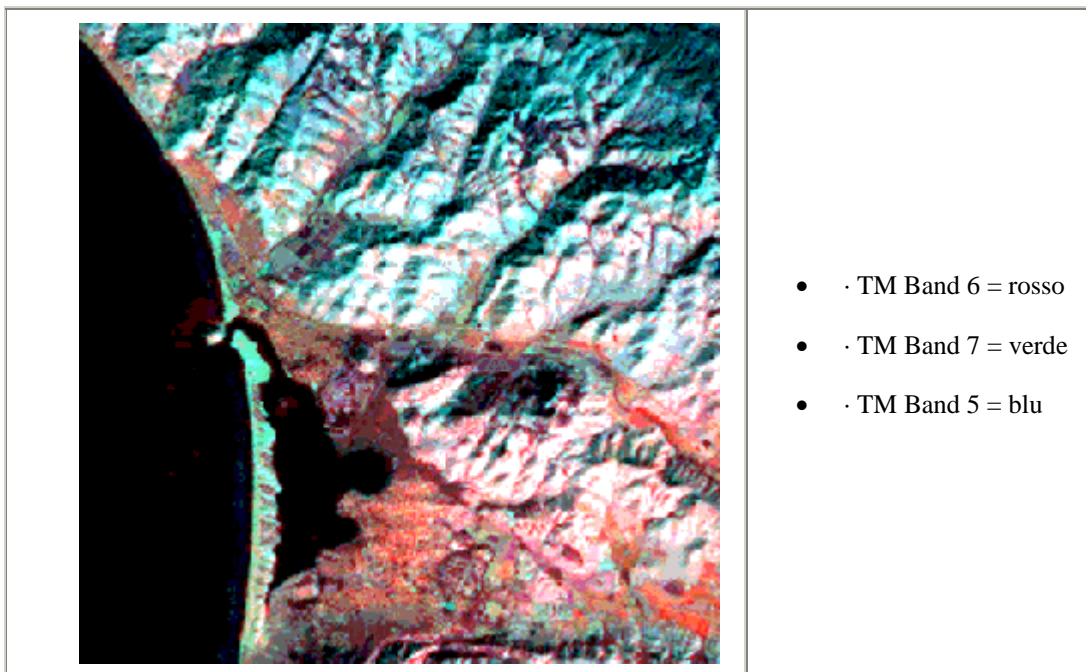
Le aree che abbiamo ipotizzato essere prati in fase di crescita (y) appaiono nell'immagine a "colori reali" in un bruno rossastro. Aree associate ai campi e ai prati sono di un bruno medio. La maggior parte delle zone associate alla gamma di rossi medio-scuro nella composizione in falsi colori sono molto scure nella versione a colori naturali. Questo è particolarmente vero per la National Forest cresciuta attorno a (u), la vegetazione che borda il corso d'acqua (i) e le zone alberate (l) sparse nella scena. La riduzione della quantità di verde può essere spiegata in questo modo: la vegetazione è composta in gran parte da querce della California, che hanno fogliame verde scuro, oppure da qualche altro sempreverde che tende ad essere meno riflettente delle piante decidue, da cui la scura tonalità bruna. Queste foglie, o aghi, hanno generalmente una riflettanza bassa nelle bande 1-3 ma sono riflettori efficienti (dalle membrane cellulari) in banda 4.

La zona umida costiera (o) è visibile in bruno rossastro nella visualizzazione a colori reali. In questa versione in colori naturali, la [struttura misteriosa](#) a s è al massimo della sua nitidezza e appare come un mosaico di strisce allungate in toni di verde chiaro. Se non l'hai già identificata, ti risulterà ora chiaro che si tratta di un campo da golf a 18 buche.

Ci sono diverse parti dell'immagine che contengono toni distintivi arancio-bruni, come in x. Questa è apparentemente una peculiarità dei terreni che hanno un colore bruno più ricco. L'effetto è visibile anche nelle valli a nord e ad est di Los Osos e in parte della stessa città. Questa valle sembra avere il suo piccolo corso d'acqua (non facilmente risolvibile) o forse un tempo aveva un fiume più grande ora scomparso. Molto probabilmente questo tipo di valle è sommersa da depositi alluvionali che sono tipicamente più scuri (evidenziati da ossidi di ferro simili alla ruggine in formazione).

6.6 - Altre combinazioni di colori

Con una certa riluttanza abbandoneremo questo color composite così attraente per esaminarne altri realizzati con le bande 5, 6, e 7 in diverse combinazioni. La prima associa il blu alla 5, il verde alla 7 e il rosso alla 6.

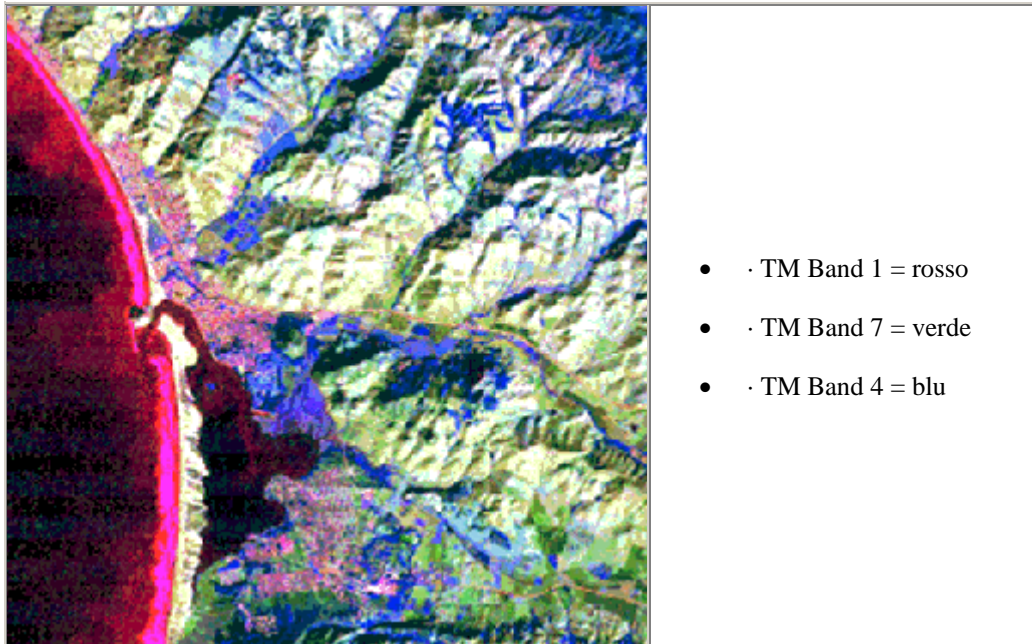


Questa combinazione sovrappone la banda termica, sensibile alla radiazione emessa, (con i suoi pixel a bassa risoluzione a 120 m) con due bande infarosse, 5 e 7 (con pixel di 30 m). In questo color composite la banda termica (si osservi nuovamente la [banda 6](#)) ha un ruolo dominante. I due colori, rosso e blu, superano abbondantemente la quantità di verde introdotta dai toni chiari in [banda 7](#). I rossi generalmente rappresentano le superfici più calde, e i blu le più fredde, registrate in banda 6. Si osservi che i blu si estendono su una superficie maggiore dei versanti collinari rispetto a quanto ci si potrebbe attendere dalle ombre osservate nelle altre bande; in altri termini, la maggior parte dei versanti che ricevono meno luce solare diretta emettono una quantità inferiore di radiazione termica. In ogni caso, alcune aree blu che si trovano sui versanti esposti al sole sono occupati da vegetazione di alta quota in [g](#) e da praterie in [v](#) che compensano l'effetto di riscaldamento diretto con il raffreddamento associato all'evapotraspirazione. Altre zone coperte da vegetazione, come in [y](#), e lungo corsi d'acqua sono in toni di rosso più scuri, non poiché siano più caldi ma a causa dei loro toni più scuri (sono quasi assenti le componenti blu o verdi) nelle bande [5](#) e [7](#).

Entrambe le comunità urbane sono caratterizzate da diverse sfumature di rosso, con la struttura delle strade ben visibile grazie alla loro maggiore definizione nelle bande [5](#) e [7](#). Ciò è in parte dovuto all'effetto termico dell' "isola urbana", la tendenza delle aree popolate a riscaldarsi per la presenza di materiali che assorbono il calore (strade più strette, tetti coperti di catrame, ecc.), per la riduzione delle superfici coperte da vegetazione, il calore emesso dalle fornaci, i condizionatori d'aria, e altre attività umane. E' nettamente percepibile il flusso termico proveniente dalla centrale elettrica ([t](#)) ma i sedimenti oceanici non introducono effetti degni di nota.

Alcune aree in verde nel color composite includono la striscia di spiaggia e molte delle cave estrattive ([u](#)). Queste superfici sono molto riflettenti nella maggior parte delle bande quindi i loro toni chiari nelle bande [5](#) e [7](#) combinano i blu e i verdi assegnati a queste bande mentre la loro ridotta risposta in banda 6 (i materiali riflettenti non si riscaldano molto) elimina i toni rossi.

Proviamo brevemente a combinare una delle bande IR più riflettenti (la 7, assegnata al verde) con la banda della vegetazione TM 4 (blu) e quella dei sedimenti e delle acque oceanici (TM 1, in rosso). Il risultato è una rappresentazione a colori che evidenzia al meglio certe strutture.



Ancora, i blu e i rossi sono i colori prevalenti, mentre i verdi sono in secondo piano. I blu sono quasi totalmente correlati con la vegetazione, e garantiscono un buon contrasto con le aree carenti di tale copertura o rivestite di erbe non in fase di crescita (si osservi come le aree di praterie in crescita siano in blu più chiaro). I rossi sono associati a tre principali classi di superficie: le onde (al cui interno sono visibili toni blu-violetti che rappresentano il contributo della banda 4); i sedimenti; e i centri abitati, con le strade rosse punteggiate di blu (la vegetazione locale). I verdi sono principalmente confinati a tipologie specifiche più luminose in banda 7 e più scure nella 1 e nella 4, incluse le aree sulle colline che circondano Los Osos e alcune aree incolte ([m](#)) nelle vallate. Si osservino i verdi sparsi lungo i versanti altrimenti molto chiari.

6.7 - Tecniche di Enfaticazione

Ora che abbiamo acquistato familiarità con le singole bande del TM e con i color composite attraverso l'immagine di esempio, dobbiamo analizzare le potenzialità di alcuni fra gli algoritmi più comuni utilizzati per migliorare la qualità di una immagine. Questi rientrano nel gruppo di tecniche dette di enfaticazione delle immagini (Image Enhancement). L'obiettivo delle funzioni di processamento delle immagini raggruppate sotto il termine di enfaticazione delle immagini è unicamente di migliorare una immagine per facilitarne l'interpretazione visiva e l'analisi. Esempi di funzioni di enfaticazione includono lo stretching del contrasto, utilizzato per aumentare le differenze di tono tra i diversi elementi in una scena, il filtraggio spaziale, per esaltare (o sopprimere) specifiche strutture in una immagine, ma anche le operazioni aritmetiche (come sottrazione, addizione, moltiplicazione e divisione) per combinare e trasformare le bande originali in nuove immagini che meglio visualizzano o evidenziano certe caratteristiche nella scena. Lo stretching è già stato utilizzato su tutte le immagini TM analizzate fino ad ora per ottenere una migliore visualizzazione.

Adesso analizzeremo alcune di queste operazioni inclusa una procedura chiamata “Analisi delle Componenti Principali” che è usata per rappresentare in maniera più efficiente le informazioni in una immagine multispettrale.

6.7.1 - Contrast Stretching

6.7.2 - Filtri spaziali

6.7.3 - Analisi delle Componenti Principali

6.7.4 - Rapporto tra bande

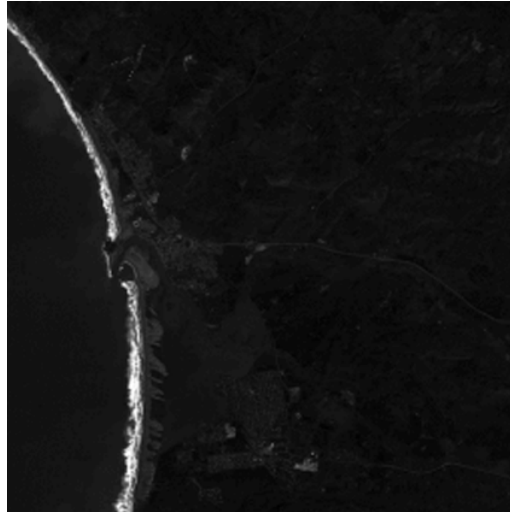
6.7.1 - Contrast Stretching

Il contrast stretching implica l'utilizzo di una diversa distribuzione e un diverso intervallo di valori dei **DN**. Sia un osservatore casuale che un esperto concluderebbero, in seguito all'osservazione diretta, che la modifica dell'intervallo dei toni chiari e scuri (livelli di grigio) in una foto o in una visualizzazione con il computer, è spesso l'operazione più efficace per estrarre importanti informazioni dalla scena.

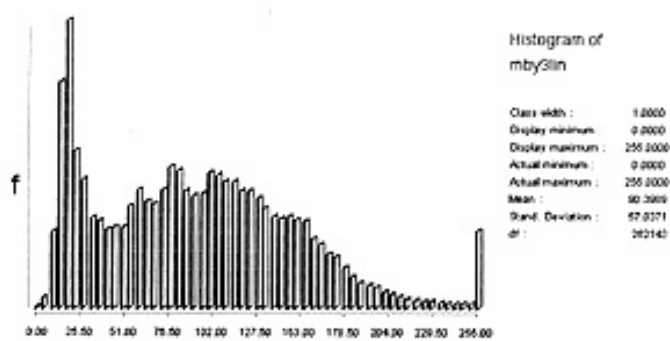
Il contrast stretching nell'elaborazione di dati digitali con un computer è un'operazione di routine, sebbene sia necessaria una certa abilità nella selezione delle specifiche tecniche e dei parametri (estremi dell'intervallo considerato). Per i dati Landsat, il range dei DN per ciascuna banda, per l'intera scena o per una sottoscena abbastanza grande, è calcolato e visualizzato in forma di **istogramma** (si osservi l'istogramma per la TM 3 di Morro Bay, vista in precedenza). Generalmente la distribuzione dei DN (livelli di grigio) è unimodale e **Gaussiana**, sebbene sia anche probabile una certa asimmetria. Le distribuzioni multimodali (più frequentemente bimodali, ma talvolta polimodali) si ottengono quando una scena contiene due o più classi dominanti con intervalli di riflettanza distinti (in genere piuttosto stretti). I limiti superiore ed inferiore di luminosità tipicamente abbracciano solo parte (dal 30 al 60%) dell'intervallo totale disponibile. I pochi valori che si trovano a più di 1 o 2 **deviazioni standard** possono in genere essere trascurati (taglio dell'istogramma) senza perdite significative del contenuto dei dati iniziali.

Questo taglio consente l'espansione dei nuovi limiti, più ravvicinati, all'intera scala (0-255 per i dati Landsat). L'espansione lineare di DN in questa scala completa è un'opzione diffusa.

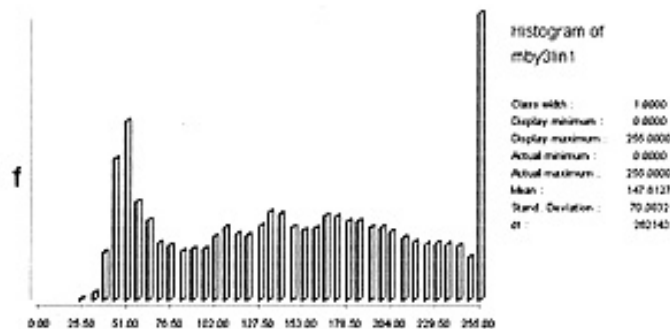
Per illustrare il **contrast stretching** (noto anche come autoscaling) applicheremo la funzione di stretching alla banda 3. Si ricordi che l'istogramma di valori TM non elaborati ha una distribuzione stretta con un picco in corrispondenza di bassi valori di DN. In base a questa considerazione si può presumere un'immagine scura e piatta. In effetti lo si vede chiaramente sotto:



La maggior parte dei valori, in ogni caso, si trova nell'intervallo di DN fra 9 e 65 (ci sono valori fino a 255 nella scena originale ma sono in numero ridotto). Possiamo applicare un semplice stretching lineare in modo che il 9 divenga un 5 e il 65 un 255, con tutti i valori compresi redistribuiti in proporzione. Ecco l'istogramma risultante, e, accanto, la nuova immagine.

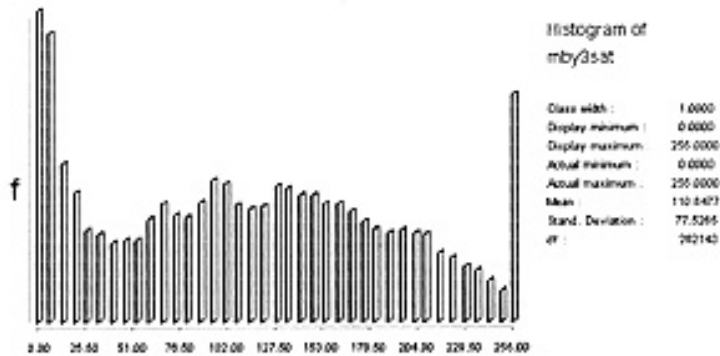


Ora molte delle strutture presenti nella scena sono distinguibili. Ma l'immagine è ancora piuttosto scura. Proviamo a scegliere nuovi limiti, espandendo l'intervallo di DN 5-45 in 0-255. L'immagine che ne consegue è questa:



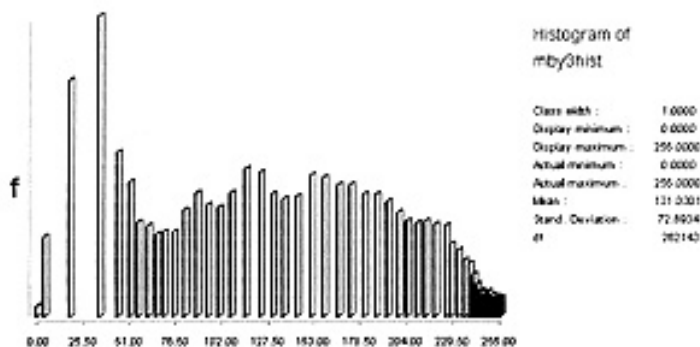
L'istogramma per questa immagine, elaborata in modo diverso, è polimodale, con il limite inferiore prossimo a 25 e un gran numero di DN attorno a 255. Questo spiega la maggiore luminosità dell'immagine (toni chiari).

Come passo successivo applichiamo uno stretching lineare con saturazione. Assegneremo al 5% dei pixel agli estremi (sulle code) dell'istogramma dei singoli valori. L'istogramma e l'immagine che ne derivano sono:



L'immagine appare non molto diversa dalle precedenti. Ma il confronto con una delle immagini cui si è applicato uno stretching lineare evidenzia la presenza di differenze effettive e significative.

Infine applichiamo uno stretching con equalizzazione dell'istogramma, con questi risultati:



L'immagine è simile alla versione con saturazione. Nota che le frequenze dei pixel sono sparse in corrispondenza di bassi DN e densamente raggruppate per valori alti.

Ribadiamo in conclusione che nessun'altra procedura o funzione di elaborazione può fornire altrettante informazioni o ausili all'interpretazione visiva quanto lo stretching. E' il primo passo, e la funzione più utile, da applicare ai dati grezzi.

6.7.2 - Filtri spaziali

Un'altra tecnica di elaborazione, che spesso fornisce preziose informazioni di diversa natura, è il filtraggio spaziale. Si tratta di una tecnica per esplorare la distribuzione su un'immagine di pixel di luminosità variabile e soprattutto per individuare ed evidenziare le discontinuità di contorno. Queste variazioni nell'illuminazione della scena, tipicamente graduali anziché improvvise,

producono qualcosa che può essere espressa quantitativamente in termini di “frequenze spaziali”. La frequenza spaziale è definita come il numero di cicli di variazioni nell’immagine dei valori DN per unità di distanza (per es. 10 cicli/mm) lungo una particolare direzione. Un’immagine con una sola frequenza spaziale consiste di striscie equispaziate (linee raster); per esempio, uno schermo TV “vuoto” con l’apparecchio acceso mostra delle striscie orizzontali – ciò corrisponde ad una frequenza zero in direzione orizzontale e ad un’alta frequenza spaziale in direzione verticale.

In generale, le immagini di interesse pratico consistono di numerose frequenze spaziali dominanti. Dettagli fini in un’immagine corrispondono ad un maggior numero di variazioni per unità di distanza che in un’immagine più grossolana. La tecnica matematica per estrarre da un’immagine tutte le varie componenti di frequenze spaziali è l’analisi di Fourier. Dopo che un’immagine è stata scomposta nelle sue componenti (risultato che si ottiene attraverso una trasformazione di Fourier), è possibile mettere in risalto alcuni gruppi (o “bande”) di frequenze rispetto ad altri e ricombinare le frequenze spaziali in un’immagine enfaticizzata. Gli algoritmi utilizzati a questo scopo sono chiamati “filtri” poiché sopprimono (de-enfatizzano) alcune frequenze e ne lasciano passare (enfaticizzano) altre. I filtri che lasciano passare le alte frequenze e, quindi, mettono in rilievo i dettagli fini e i contorni, sono noti come filtri passa-alto. I passa-basso, che sopprimono le alte frequenze, risultano utili per smussare un’immagine, e possono ridurre o eliminare il rumore tipo “sale e pepe”.

I filtri convolutivi sono comuni tecniche matematiche utilizzate per l’implementazione dei filtri spaziali. In questi, il valore di ciascun pixel è sostituito dalla media dei valori dei pixel all’interno di un quadrato centrato sul pixel iniziale. Tipiche dimensioni di tali quadrati sono 3 x 3, 5 x 5, o 9 x 9 pixel ma sono possibili anche altri valori. Come accade nel filtro passa-basso, il risultato di queste operazioni è quello di ridurre le variazioni rispetto alle medie locali e quindi di ridurre il contrasto nell’immagine. La differenza fra l’immagine iniziale e la stessa dopo l’applicazione di un passa-basso coincide con il risultato di un’operazione di passa-alto. In genere alle immagini filtrate spazialmente dev’essere applicato uno stretching per aumentare il contrasto utilizzando l’intero intervallo dei valori a disposizione per la visualizzazione. Nonostante questo, le immagini filtrate tendono ad apparire piatte.



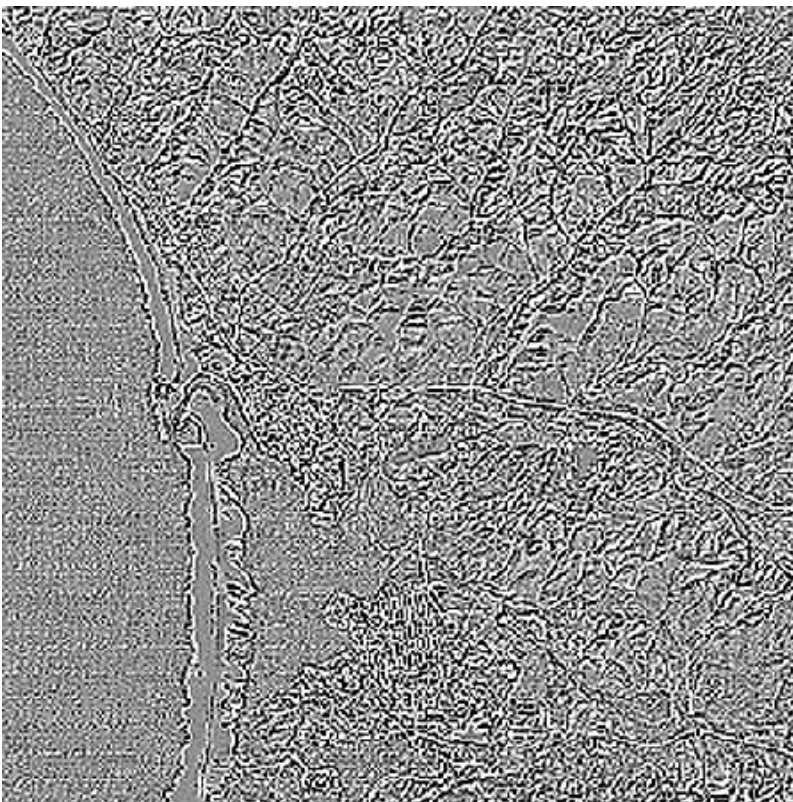
Applicheremo tre tipi di filtri alla banda TM 2 relativa alla Morro Bay. La prima immagine si riferisce ad un prodotto a cui è stato applicato un passa-basso, che tende a generalizzare l’immagine:

Un filtro di enfattizzazione dei contorni evidenzia le discontinuità improvvise, come le giunture rocciose e le faglie, i contorni dei campi e le strade:



In questo esempio la scena conserva in generale il suo aspetto iniziale ma sono estratte le strade e sono meglio definite alcune creste montuose. Sono anche più facilmente visibili i contorni delle zone con i sedimenti.

Anche il filtro passa-alto applicato all'immagine di Morro Bay estrae i contorni:



Qui le strade e le autostrade, e alcuni corsi d'acqua e creste montuose, sono decisamente enfattizzati. Segno distintivo di un'immagine cui è stato applicato un passa-alto sono le strutture lineari visibili come linee chiare con un contorno scuro. I dettagli in acqua sono in gran parte perduti. Buona parte dell'immagine appare piatta.

6.7.3 - Analisi delle Componenti Principali

Siamo pronti ora ad un breve “tour” attraverso le immagini prodotte attraverso la PCA o Principal Components Analysis (analisi delle Componenti Principali). Per produrre tali immagini utilizzeremo tutte le 7 bande e genereremo tutte le 7 componenti (il numero di componenti è fissato, poiché è uguale, dal numero delle bande). La prima Componente Principale spiegherà la massima entità delle variazioni nello spazio a 7 dimensioni definito dalle 7 bande del Thematic Mapper. Tenendo presente che molte delle strutture tonali nelle singole componenti non sembrano essere associate a specifiche tipologie o classi identificate nelle bande TM e rappresentano invece combinazioni lineari dei valori originali, analizzeremo ciascuna di queste componenti ma commenteremo solo quelle strutture che si prestano ad una qualche interpretazione.

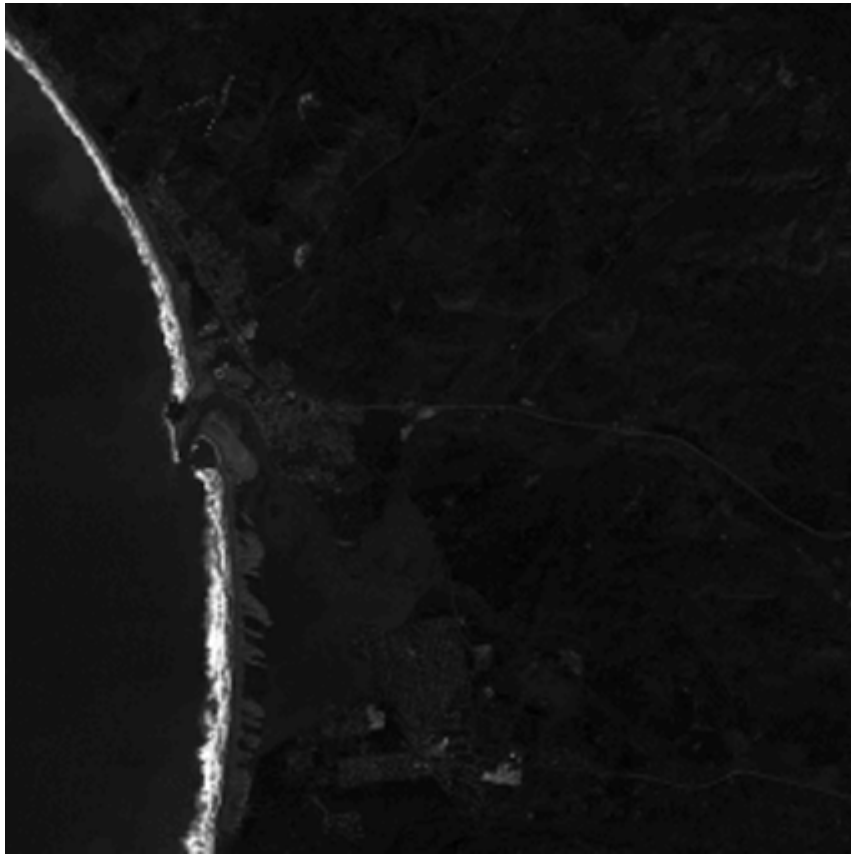
L'immagine prodotta dai dati della PC 1 assomiglia in genere ad una vera foto aerea.



In realtà sono fra le caratteristiche ordinarie della prima componente la sua somiglianza ad una fotografia standard in bianco e nero e il fatto che essa contiene la maggior parte delle informazioni pertinenti alla scena. I rilievi sono visualizzati in modo più realistico grazie allo smussamento del netto contrasto chiaro-scuro evidente in quasi tutte le bande TM. Osserva la struttura interna delle onde e l'assenza di alcuna indicazione della presenza di sedimenti in mare. L'istogramma della prima PC ha due picchi. Il primo, sulla sinistra, è associato ai pixel oceanici e il secondo, a destra, ai pixel al suolo.

Analizzando l'istogramma della seconda PC si osserva come sebbene il range complessivo (valore massimo – valore minimo) sia più grande di quello per la prima PC, la maggior parte dei pixel si colloca in un piccolo intervallo attorno alla media (49). Quindi come accade di solito la seconda PC ha una varianza inferiore (varianza = deviazione standard al quadrato) della prima PC. A causa dell'assembramento dei pixel in un piccolo intervallo la visualizzazione dell'immagine non è ottimale (IMG 1). Per rendere l'immagine più distinta (IMG 2),

IMG 1



IMG 2



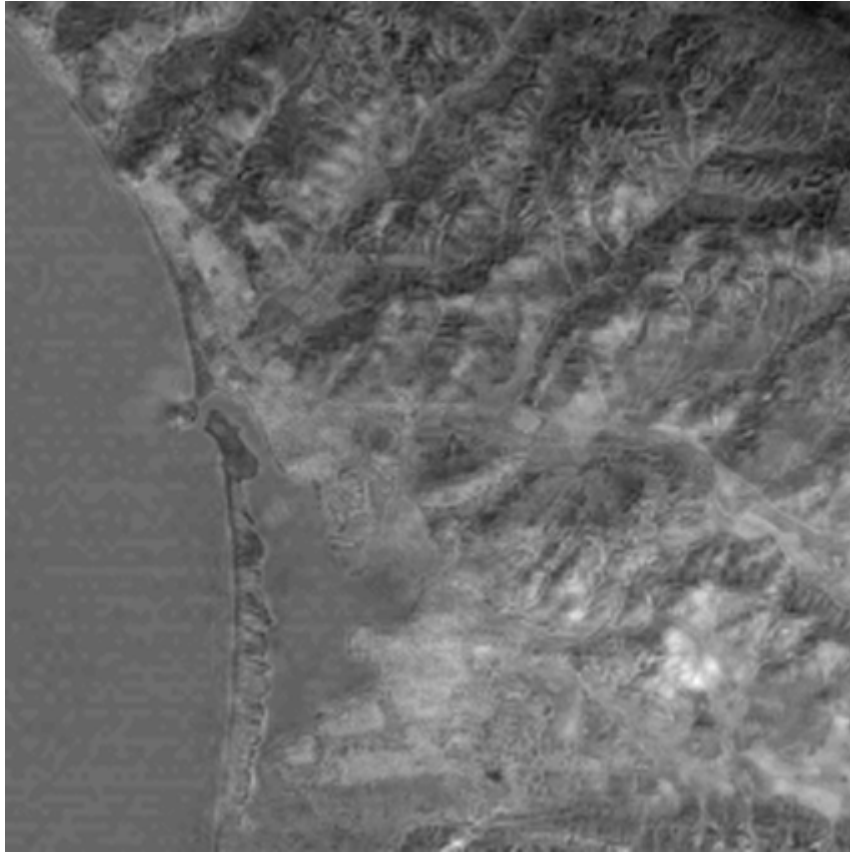
la esanderemo (con uno “stretching” numerico) e equalizzeremo l’istogramma del risultato. Questo procedimento (equalizzazione dell’istogramma) produce un istogramma in cui la spaziatura fra i valori più frequenti è aumentata e i valori meno frequenti sono combinati e compressi. Se non avessimo effettuato questa trasformazione, l’immagine sarebbe apparsa piatta come sopra, con due unici livelli di grigio a rappresentare gran parte del suolo e addirittura uno per l’oceano. In ogni caso le distinzioni prima minime sono ora amplificate e di più immediata identificazione sul monitor del computer. I frangenti risaltano per la loro grande luminosità.

Molte delle strutture grigie nell’immagine della PC 3 in basso possono essere correlati con due classi combinate di vegetazione:

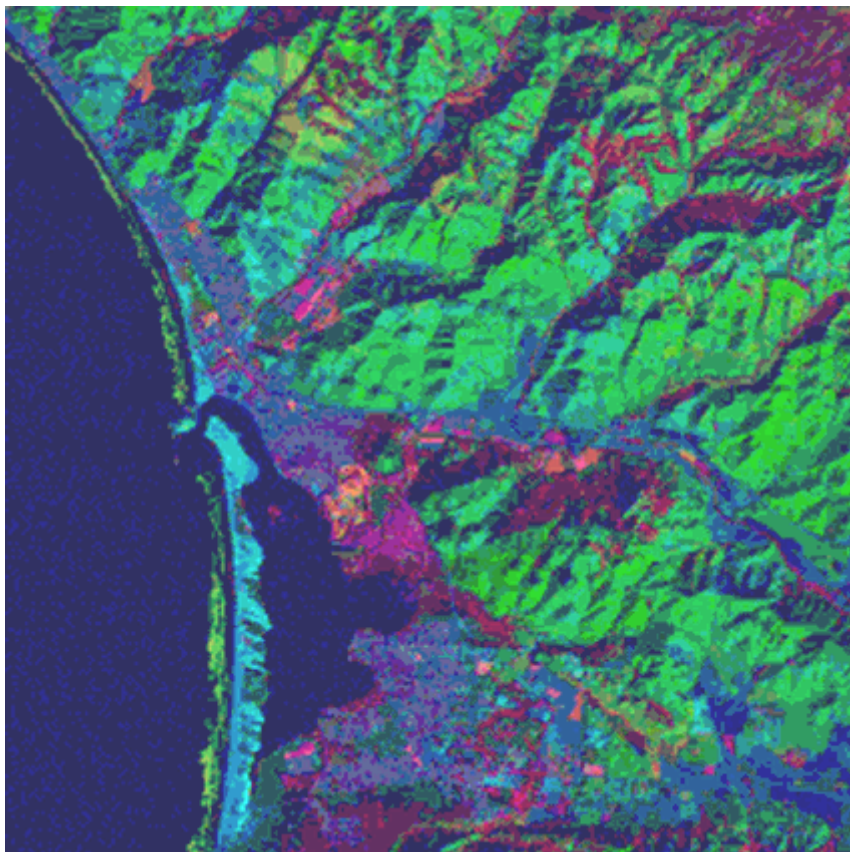


i toni più chiari sono associati ai canali nel campo da golf e a molti dei campi coltivati. I toni un poché più scuri coincidono con parte dei prati, delle foreste o delle zone alberate, e con le aree umide lungo la costa.

I frangenti scompaiono del tutto nell’immagine della PC 4 (riportata sotto) mentre il resto della scena tende ad appiattirsi con molte strutture visibili in toni medi di grigio.



Qualsiasi terna da queste quattro immagini di PC può dar luogo ad un color composite con diverse possibili associazioni di blu, verde e rosso; nel complesso sono possibili 24 diverse combinazioni. Fra quelle realizzate sperimentalmente per questa esercitazione l'immagine che segue



ottenuta da PC 4 = blu, PC 1 = verde, e PC 3 = rosso si è rivelata la più interessante. Il campo da golf ha assunto una singolare firma di colore, risulta rosso-arancio con una struttura interna. Il resto della vegetazione è in gran parte definita da toni che vanno dal rosso al rosso-violetto ma i prati (v) hanno un colore inusuale che si potrebbe descrivere come “arancio verdastro”. I versanti più luminosi dei rilievi sono di un verde medio mentre alcune aree in ombra sono bluastre. Le aree urbane sono di un blu intenso. La striscia di spiaggia appare ora in turchese e i frangenti in prossimità di questa sono in verde oliva.

6.7.4 - Rapporto tra bande

Un'altra tecnica di manipolazione delle immagini è nota come rapporto tra bande. Per ogni pixel, il valore del DN di ciascuna banda viene diviso per il corrispondente valore in un'altra banda. Questo quoziente fornisce un nuovo insieme di valori che possono variare da $0 = 0/1$ a $255 = (255/1)$ ma in gran parte saranno valori frazionari fra 0 e, tipicamente, 2 – 3 (per esempio $82/51 = 1.6078\dots$; $114/177 = 0.6440\dots$). Questi possono essere riscalati in modo da ottenere un'immagine in toni di grigio a 16 o 256 livelli in funzione dei limiti della visualizzazione sul computer. Tre coppie di rapporti fra bande possono essere co-registrate e visualizzate come color composite. Alcune caratteristiche del suolo tendono ad essere evidenziate sia nei singoli rapporti tra bande che in queste composizioni in falsi colori a causa di valori dei rapporti anomali.



Mostreremo soltanto un rapporto tra bande ottenuto dividendo la banda 1 per la 4, per illustrare un prodotto caratteristico. Gran parte dell'immagine è moderatamente scura senza grandi variazioni dei livelli di grigio. Ciò implica forti affinità tra i DN di pixel corrispondenti nelle due bande. In ogni caso, i luminosi (alti DN) canali del campo da golf in (s) spiccano in gran contrasto rispetto ai dintorni; anche i campi coltivati risaltano in questo modo. Il terreno erboso in (v) ha contorni ben definiti ed è più chiaro.

Il rapporto più comunemente usato è il NDVI (Normalised Difference Vegetation Index). Combina il rosso e il vicino infrarosso facendo il rapporto di ciascun pixel con il suo corrispondente nell'altra immagine e separa la radiazione riflessa dal suolo dal segnale riflesso dalla copertura vegetativa. Un'opportuna elaborazione dell'NDVI evidenzia la risposta della vegetazione.

6.8 - Estrazione dell'informazione

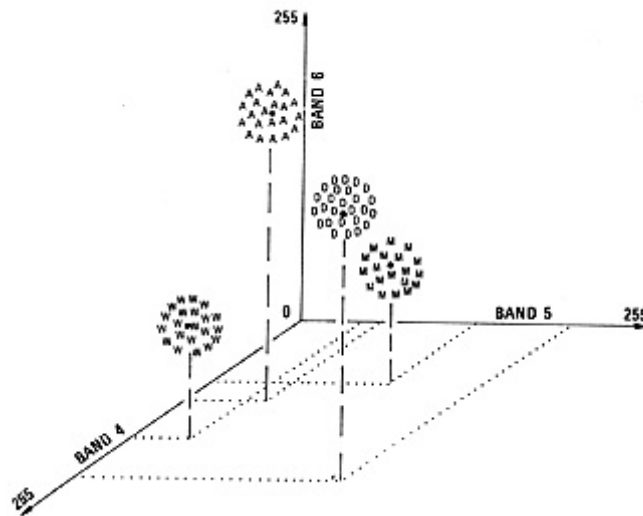
Siamo giunti alla parte conclusiva di questa sezione, in cui prenderai familiarità con i più diffusi metodi per identificare delle strutture e quindi classificare le immagini. Le operazioni di analisi e classificazione delle immagini sono usate per identificare e classificare i pixel nelle immagini. La classificazione è normalmente effettuata su set di dati multispettrali e questo tipo di processo permette di assegnare ciascun pixel di una immagine ad una particolare classe o tema sulla base di una analisi statistica dei valori di luminosità del pixel. Numerosi sono gli approcci per effettuare una classificazione di dati digitali. Adesso descriveremo brevemente le due metodologie normalmente più utilizzate: la classificazione unsupervised e supervised o guidata.

- Classificazione unsupervised
- La classificazione guidata (supervised)
- Classificazione in Minima Distanza
- La classificazione in "Massima Verosimiglianza"

6.8.1 - Classificazione unsupervised

In una classificazione unsupervised (non guidata) l'obiettivo è il raggruppamento in clusters delle risposte spettrali multibanda che sono statisticamente distinguibili. Quindi, un piccolo insieme di DN per 3 bande, ad esempio, può delimitare un cluster separato, attraverso una specifica combinazione di range, da un altro cluster (e così via). La separazione dipenderà dai parametri scelti per la selezione.

Tutto ciò appare chiaro con l'aiuto del seguente diagramma per quattro classi: = Campi agricoli; D = Deserto; M = Montagne; W = Acqua.



Da F.F. Sabins, Jr., *Remote Sensing: Principles and Interpretation*, 2nd Ed., © 1987. Riprodotto con il consenso di W.H. Freeman & Co., New York City.

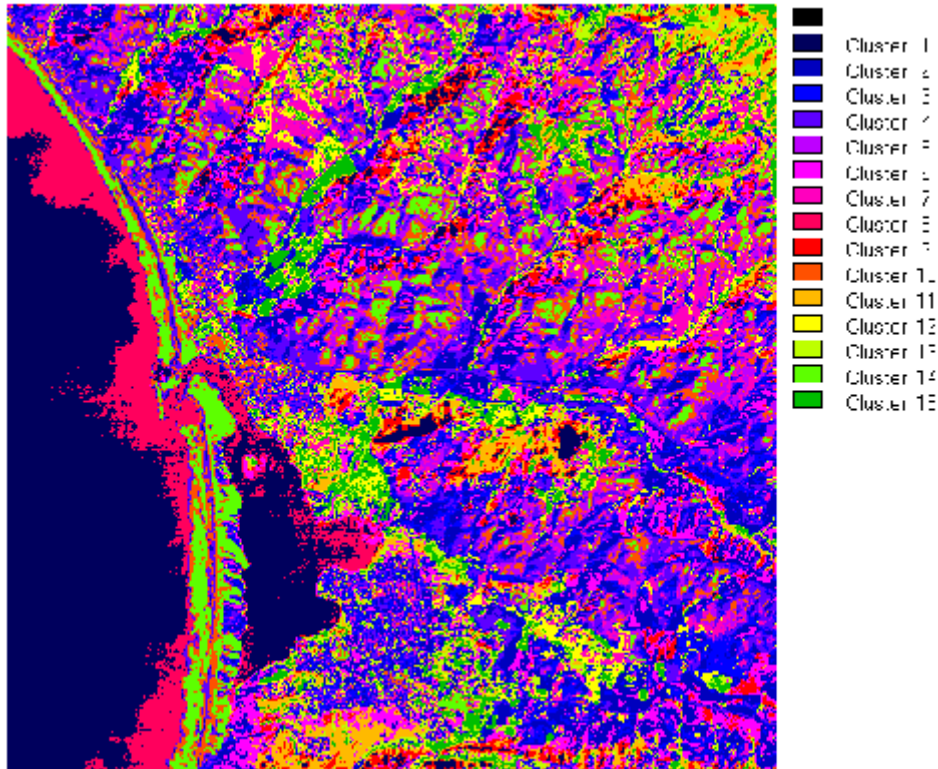
Le classi possono essere modificate e corrispondentemente il numero di cluster varia in modo arbitrario. Quando le separazioni sono effettuate con l'ausilio di un computer, ciascun pixel dell'immagine sarà assegnato ad uno dei cluster in base alla collocazione delle combinazioni dei suoi DN.

Generalmente, in un'area all'interno dell'immagine, l'appartenenza di un certo numero di pixel ad uno stesso cluster corrisponde ad una struttura o classe al suolo (inizialmente sconosciuta), per cui in una nuova immagine che visualizzi la distribuzione spaziale dei cluster compariranno strutture evidenziate dalla distribuzione dei livelli di grigio. A questi livelli possono essere assegnati dei colori per produrre una "mappa" dei cluster. Obiettivo successivo è quello di associare ai diversi cluster categorie sensate di oggetti al suolo. Questo deve essere fatto o sulla base di conoscenze a priori sulle classi principali attese nella scena in questione oppure, qualora sia possibile, visitando la zona ripresa, acquisendo le cosiddette "verità a terra", e correlando visivamente le strutture nella mappa con le corrispondenti a terra. Non essendoci una selezione a priori delle classi, questo metodo è definito *unsupervised*.

I dati di input per una classificazione *unsupervised* sono i valori dei DN delle diverse bande. Gli algoritmi calcolano i valori dei cluster a partire da queste bande. Il massimo numero di cluster è determinato automaticamente attraverso i parametri selezionati nella fase di elaborazione. La tipica conseguenza di questa operazione è quella di produrre numerosissimi cluster, in numero tale che l'immagine classificata che ne risulta appare troppo intricata e difficile, quindi, da interpretare in termini delle classi assegnate.

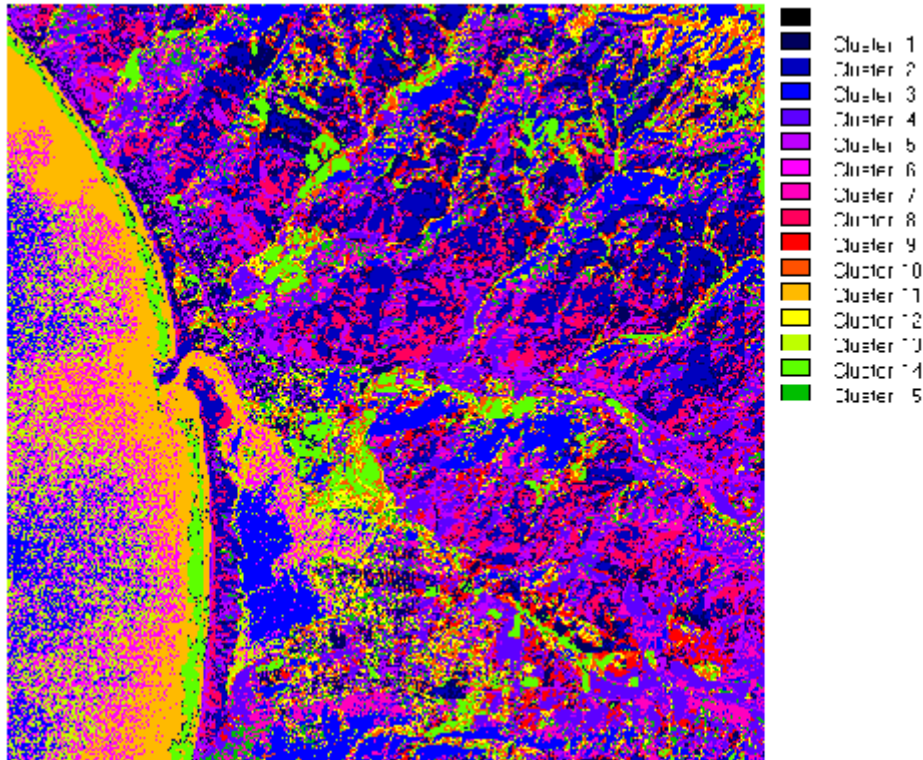
La prima classificazione *unsupervised* opera sul color composite ottenuto dalle bande 2, 3, e 4. Esamina l'immagine risultante e cerca di dedurre informazioni dalle strutture di colore come indicatori delle classi al suolo, come appreso nei precedenti paragrafi.

Morro Bay Comp. 234 Unsup. Classif. 15 Clusters



Una conclusione probabile è: alcune delle strutture consentono di individuare agevolmente alcune delle tipologie presenti nella sottoscena della Morro Bay. Ma molte aree associate a cluster non sembrano molto ben correlate con quanto ci si attendeva di trovare in quelle zone. Sfortunatamente, ciò che ha luogo è una suddivisione alquanto artificiale delle risposte spettrali provenienti da piccoli segmenti sulla superficie, in alcuni casi si tratta semplicemente dell'effetto di piccole variazioni nell'orientazione della superficie che modificano le riflettanze o forse dell'influenza di "pixel misti". Quando consideriamo un altro composite, con le bande 4, 7 e 1, la nuova classificazione risultante ha il metro gli stessi problemi incontrati con il primo composite.

Morro Day Comp. 4/1 Unsup Class. 15 Clusters



Siamo costretti a concludere che la classificazione unsupervised costituisce un'eccessiva generalizzazione e che i cluster sono soltanto vagamente associati ad alcune delle classi effettivamente esistenti. Il risultato che ne deriva è principalmente una guida al contenuto spettrale di una scena e consente un'interpretazione preliminare, precedente all'utilizzo delle procedure, molto più potenti, della classificazione supervised (guidata).

6.8.2 - La classificazione guidata (supervised)

La classificazione guidata è molto più poiché in termini di accuratezza nel caso in cui si debbano rappresentare classi la cui validità dipende enormemente dalle conoscenze e le esperienze dello specialista in elaborazione immagini.

La strategia è semplice: classi convenzionali (reali e familiari) o significative (alcune volte artificiali) vengono individuate nella scena attraverso una conoscenza a priori che può essere una certa familiarità con la zona di interesse, o un riconoscimento attraverso mappe tematiche o dei sopralluoghi in campo.

Ciò permette di definire classi discrete (da cui selezione "guidata") alle quali assegnare i nomi delle categorie identificate. Le aree campione rappresentate da ogni area conosciuta che appare abbastanza omogenea sull'immagine (in tono o colore insieme alla forma tipica della categoria) sono individuate e circoscritte in un poligono sull'immagine visualizzata aa monitor. Per ogni classe delineata vengono calcolati i valori medi e le varianze in DN per ogni banda usata nella

classificazione e per tutti i pixels presenti nell'area (per ogni classe può essere definito più di un poligono).

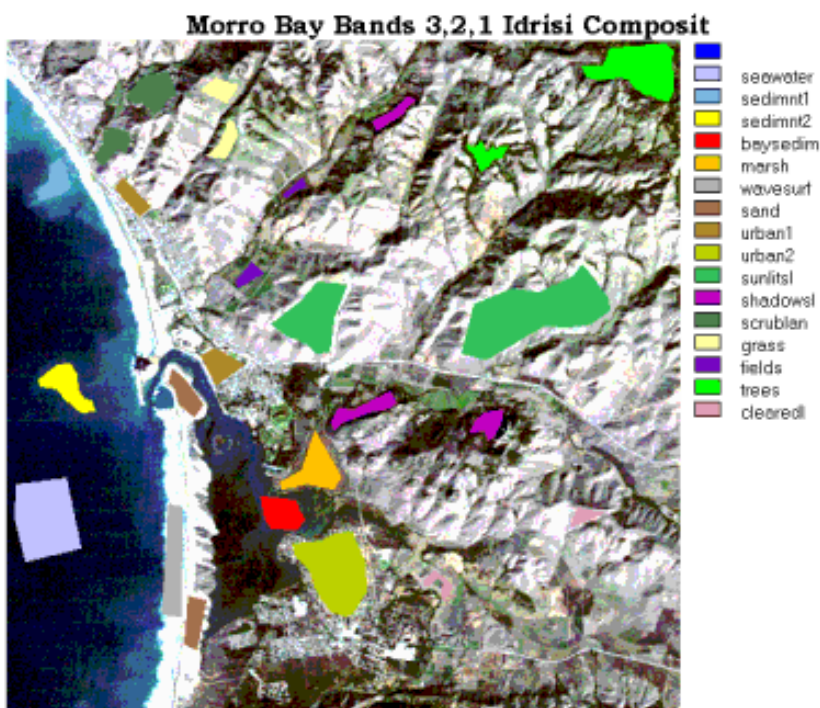
I valori digitali vengono poi messi in grafico come funzione della sequenza di bande (in ordine di lunghezza d'onda): la curva risultante è la firma spettrale o la curva di risposta spettrale di quella classe (in realtà per la presenza di materiali differenti nell'area interagisce con la radiazione incidente). La classificazione procede quindi con l'elaborazione statistica in cui ogni pixel è confrontato con le varie firme e assegnato alla classe avente firma più simile (pochi pixels non riescono ad essere assegnati e rimangono non classificati; questi possono appartenere a classi non definite o non riconosciute).

La maggior parte delle classi da definire per la Morro Bay sono evidenti: acque oceaniche, onde, spiaggia, palude, ombre. In pratica potremmo anche discriminare ulteriormente le classi, per esempio acque oceaniche da acque di baia, ma la grossa somiglianza in risposta spettrale potrebbe creare delle difficoltà nel separarle.

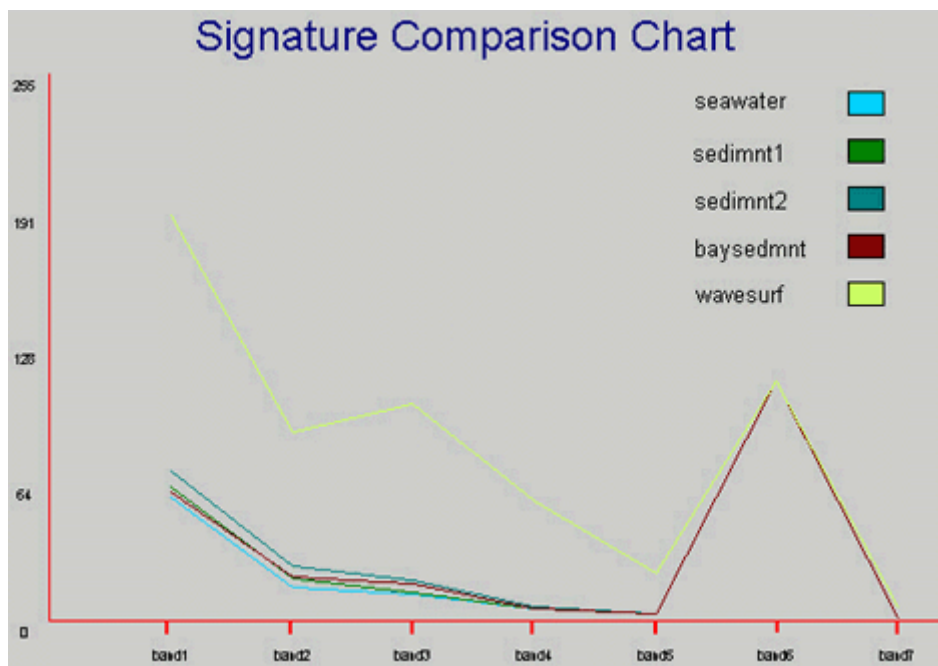
Altre classi che sono allo stesso modo differenti l'una dall'altra, come i pendii esposti al sole al passare del [Landsat](#) rispetto a pendii esposti in maniera opposta, potrebbero essere più giustificate.

Alcune classi sono ampiamente definite, essendo indicative di due o più elementi che ad alte risoluzioni potrebbero essere differenziate, ma che, in un'immagine TM sono indicate in maniera uguale: in questa categoria si possono includere alberi, foreste e aree molto vegetate (campi da golf; aziende agricole).

Come prima prova di classificazione guidata sono state definite 13 classi discrete. Le linee di contorno delle aree campione sono tracciate sul color composite in colori reali (bande 1,2,3) come qui mostrato (i colori vengono qui scelti per convenienza di rappresentazione e non corrispondono poi ai colori con cui le relative classi vengono mostrate di seguito).



Molte classi prendono dati da più di un'area campione. Qui sono mostrati i grafici per le acque marine limpide (blu chiaro), le acque con tre differenti densità di sedimento sciolto (verde, marrone, blu-verde) e i frangenti (giallo-verde).



Possiamo vedere informazioni sui pixel di ogni firma, riconoscendo il numero di pixel che sono stati assegnati, il valor medio, massimo, minimo e deviazione standard nei valori digitali di ogni firma. Per darvi un aiuto a entrare meglio nel merito dei valori numerici implicati in questi calcoli, abbiamo riprodotto una versione semplificata di questi dati nella tabella che segue:

Tabella dei valor medi per ciascuna banda e delle grandezze di ciascun area campione in ogni classe								
BANDE:	1	2	3	4	5	6	7	No. Di Pixels
						(TH)		
Classi								
1. Acque marine	57.4	16.0	12.0	5.6	3.4	112.0	1.5	2433
2. Sedimenti1	62.2	19.6	13.5	5.6	3.5	112.2	1.6	681
3. Sedimenti2	69.8	25.3	18.8	6.3	3.5	112.2	1.5	405
4. Sedimenti di Baia	59.6	20.2	16.9	6.0	3.4	111.9	1.6	598
5. Palude	61.6	22.8	27.2	42.0	37.3	117.9	14.9	861
6. Frangenti	189.5	88.0	100.9	56.3	22.3	111.9	6.4	1001
7. Sabbia	90.6	41.8	54.2	43.9	86.3	121.3	52.8	812
8. Urbano1	77.9	32.3	39.3	37.5	53.9	123.5	29.6	747
9. Urbano2	68.0	27.0	32.7	36.3	52.9	125.7	27.7	2256
10. Pendii al sole	75.9	31.7	40.8	43.5	107.2	126.5	51.4	5476
11. Pendii in ombra	51.8	15.6	13.8	15.6	14.0	109.8	5.6	976
12. Boschi	66.0	24.8	29.0	27.5	58.4	114.3	29.4	1085
13. Erba	67.9	27.6	32.0	49.9	89.2	117.4	39.3	590
14. Campi	59.9	22.7	22.6	54.5	46.6	115.8	18.3	259
15. Alberi	55.8	19.6	20.2	35.7	42.0	108.8	16.6	2048
16. Suoli nudi	73.7	30.5	39.2	37.1	88.4	127.9	45.2	309

Da questa tabella si può dedurre che in base alla deviazione standard (non mostrata), la maggior parte delle firme hanno delle combinazioni di valori digitali che sembrano aiutare le distinzioni tra classi. Due classi, Urbano 1 e Suoli nudi, sono abbastanza simili nelle prime 4 bande ma differenti nelle bande 5 e 7 in maniera da poterle supporre distinte.

Nell'ambito della banda termica le differenze sono minime e ciò esclude questa banda dall'essere un efficiente discriminatore.

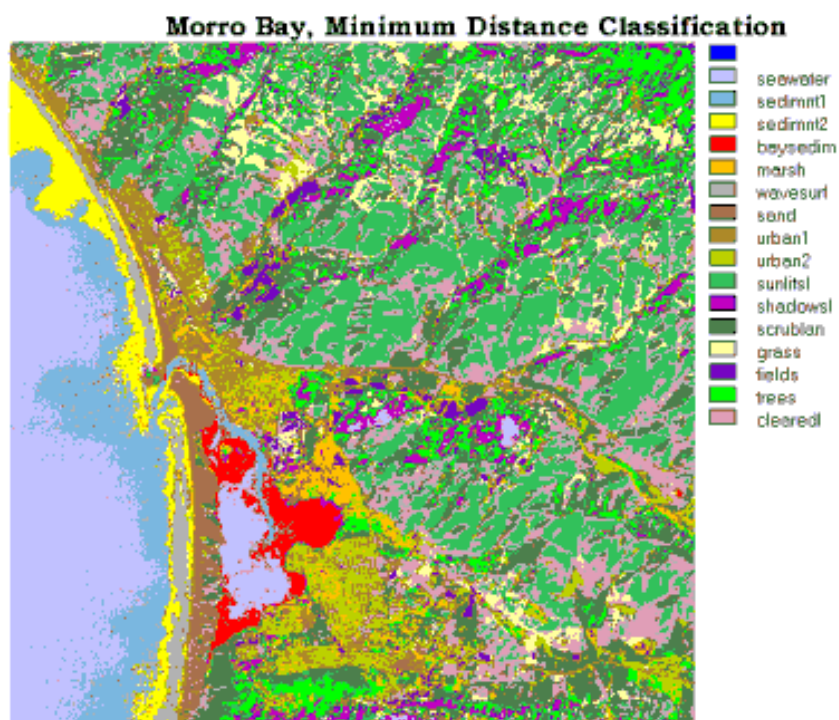
Ad ogni modo come si vedrà in seguito, la sua aggiunta nella classificazione in Massima Verosimiglianza aumenta l'omogeneità spaziale di alcune classificazioni.

6.8.3 - Classificazione "Minima Distanza"

Cominciamo l'esplorazione della classificazione guidata producendone una tramite il classificatore di minima distanza. Questa agisce sui valori digitali nello spazio multidimensionale delle bande organizzando i pixels nelle classi prescelte. Ogni pixel indefinito viene assegnato alla classe più vicina al vettore medio in questo spazio di banda.

Nel caso della Morro Bay, l'immagine di classificazione consiste di 16 livelli di grigio, ciascuno rappresentativo di una classe, e a cui possono essere assegnati colori a piacere sul computer; in genere vengono scelti i colori che più si addicono ai temi e in maniera da separare con colori ben distinti le classi adiacenti ilometr l'occhio possa meglio individuarne le differenze. Esaminate questa classificazione effettuata con la minima distanza in cui tutte le bande del TM compresa la termica sono state considerate.

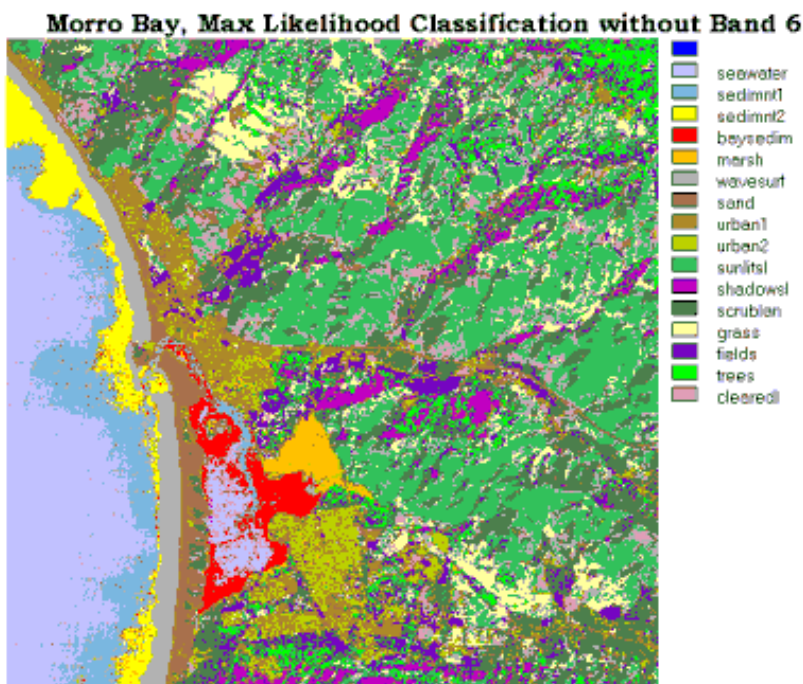
Studiatala in relazione a ciò che avete precedentemente appreso su questa scena nelle pagine precedenti e confrontatela con la classificazione che vi mostreremo ora.



6.8.4 - La classificazione in “Massima Verosimiglianza”

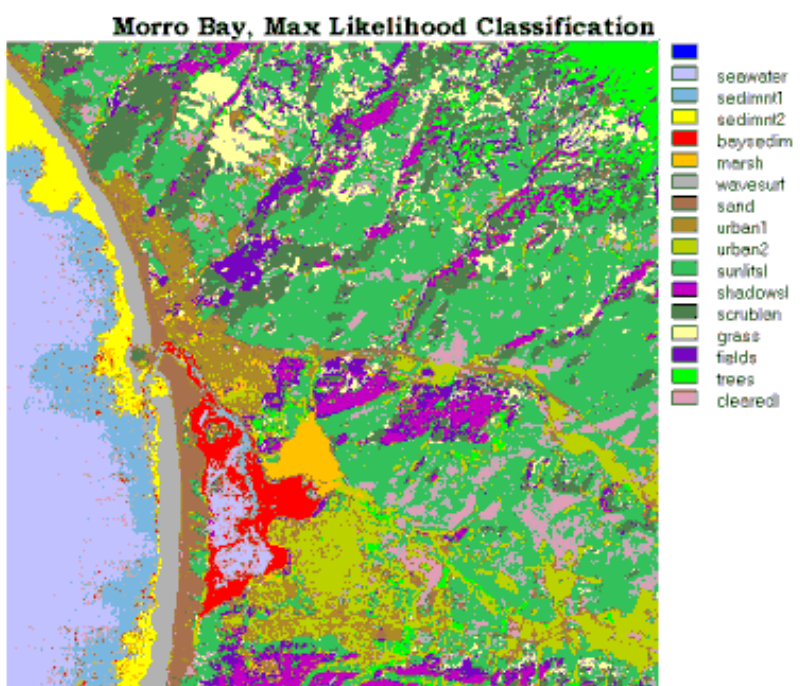
La seguente classificazione guidata è eseguita utilizzando un classificatore di massima verosimiglianza. Anche qui le classi multibanda sono derivate statisticamente ed ogni pixel sconosciuto viene analizzato affinché venga assegnato alla classe di appartenenza più verosimile. Nell’immagine che segue la banda termica è stata omessa e sono state definite 16 classi. Queste sono identiche alle precedenti ottenute con il metodo in “minima distanza”. In entrambi i casi il terreno è suddiviso in tre livelli (I e II nell’oceano e un terzo nella Baia) e due classi urbane (I =Morro Bay; II= Los Osos) sono indicate per provare le differenze visive tra di loro (principalmente nel pattern delle strade).

Guardate questa classificazione:



e giudicate voi stessi quanto il risultato sia credibile. Confrontate anche con l’immagine classificata in minima distanza; i colori assegnati alle stesse classi sono gli stessi per facilitare il confronto.

Guardate ora una classificazione guidata:



utilizzando stavolta anche la banda 6 e ancora con 16 classi; si può notare come le aree urbane diventino più omogenee. Anche la vegetazione e della gran parte dei pendii guadagnano un notevole incremento in omogeneità aggiungendo la banda 6, ma in generale le differenze tra la classificazione con o senza la banda 6 sono piuttosto lievi. La prima impressione è piuttosto sorprendente avendo molte classi ben classificate. Sia i frangenti che le barre sabbiose di spiaggia sembrano classificate uniformemente. La

distribuzione dei sedimenti è credibile. Ci sono sufficienti differenze nei toni tra la baia Morro e Los Osos tali da giustificare le due diverse classi (Los Osos è diverso nel pattern delle strade e per la presenza di suoli marrone-arancio visibili nei composite 1, 2 e 3 ma gli elementi a colori di una classe urbana sono mischiati con l'altra in proporzioni differenti come ci si può aspettare. L'arancio chiaro assegnato all'area paludosa costiera occupa un'area abbastanza grande equivalente alla classificazione in minima distanza ed è anche distribuita a "macchie" lungo l'area costiera di Los Osos e lungo il fiume: probabilmente nella realtà un tipo di vegetazione simile dovrebbe essere più ampiamente diffusa. Senza dubbio i gruppi più anomali di classi sono distribuiti sulle colline. Le categorie "Versanti illuminati" e "Versanti in ombra" sono alle volte sintetiche poiché si riferiscono principalmente a condizioni di illuminazione dove le classi erba e alberi possono essere un insieme di effetti luminosi e di superfici più chiare o più scure.

La classe Suoli Nudi (Cleared Land) rappresenta un insieme di superfici che possono presentare una sottile vegetazione superficiale o essere parzialmente aride ma, in alcuni casi, possono essere anche effetto dell'ombra. La classe Grasslands è messa correttamente in quest'immagine ma appare distribuita su aree più vaste rispetto ad altre immagini, questo è senza dubbio un caso valido.

La categoria Vegetazione verde sostituisce bene l'effettiva distribuzione di materia organica riflettente (in banda 4), ma in questa scelta di assegnazione delle classi non vengono distinti i diversi tipi di terreni in crescita. In pratica un campo da golf e un bosco in cima alla montagna sono rappresentati ugualmente e non si distinguono nemmeno da i campi coltivati etc. Probabilmente potrebbero aver avuto una migliore correttezza di distinzione se per ogni classe fosse stata individuata in partenza un'area campione.

Un risultato finale preciso, estrapolando le classi dalle aree campione fino all'identificazione e distribuzione delle classi scelte, cioè la globale apparenza e accuratezza della classificazione, è influenzato dalle variabili implicate e dalle scelte fatte.

Il numero di classi definite, la validità degli spazi che rappresentano queste classi nelle aree campione (e il numero di pixels nei poligoni assegnati per ciascuna classe), la natura di una classe (la divisione dell'urbano è alle volte artificiale; le zone aride possono essere classi ed elementi diversi nella realtà), i colori assegnati alla mappa finale, e altre considerazioni influenzano l'accuratezza del risultato. Il rilievo sul campo sia prima che dopo la classificazione al computer, se logisticamente possibile, è la miglior maniera per assicurarsi un prodotto di qualità con le classi allocate correttamente. Se tali rilievi non sono possibili, una classificazione abbastanza accurata può essere sviluppata da un esperto interprete in relazione alla sua abilità nel riconoscere gli elementi sul terreno nella scena.

7.0 - Applicazioni del telerilevamento

Il telerilevamento copre una vasta gamma di applicazioni. Nelle sezioni successive sono presentati solo alcuni esempi.

Come avrai modo di vedere, 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".

Le applicazioni del telerilevamento descritte in questo corso sono rappresentative, ma non sono esaustive.

Applicazioni del telerilevamento:

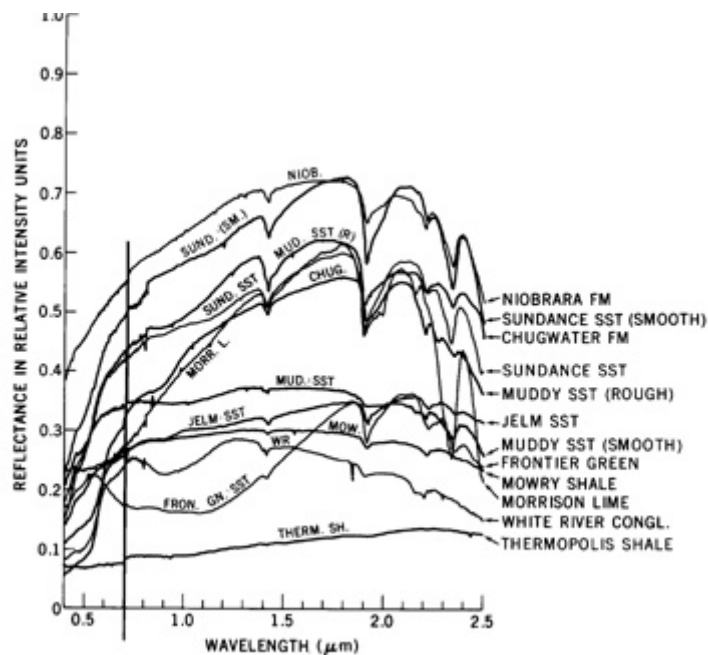
- 7.1** Geologia
- 7.2** Agricoltura e foreste
- 7.3** Uso del suolo
- 7.4** Applicazioni meteorologiche
- 7.5** Applicazioni oceanografiche
- 7.6** Applicazioni idrogeologiche: le alluvioni
- 7.7** Integrazione del telerilevamento nei Sistemi Informativi Geografici

7.1 - Geologia

I geologi hanno usato per decenni le foto aeree come dati su cui mappare le unità rocciose (stratigrafia), studiare la forme 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; e 3) la possibilità di fondere differenti tipi di prodotti telerilevati (come immagini di riflettanza con immagini radar o termiche) 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. L'unità di roccia fondamentale è la formazione, definita semplicemente come un insieme distinto e mappabile di rocce (nel caso di rocce sedimentarie, l'insieme è stratificato) con una specifica distribuzione geografica.

Le immagini telerilevate, siano foto aeree o immagini da satellite, mostrano la distribuzione superficiale di formazioni (secondo andamenti che dipendono dalla loro prossimità alla superficie, dall'estensione sull'area monitorata, dallo spessore relativo, dalle caratteristiche strutturali e dal grado di rimozione della parte superiore per erosione) e, in condizione appropriate, i tipi di rocce che li costituiscono. I geologi sono in grado di riconoscere alcuni tipi di rocce in base al loro aspetto sulla foto/immagine. Altre invece possono essere identificate in base alla loro firma spettrale. Nell'intervallo spettrale coperto dal [Landsat](#) TM, rocce di un dato tipo o una data età presentano differenze in base alla lunghezza d'onda. Questo è evidente nei seguenti andamenti spettrali che mostrano curve calcolate in laboratorio ottenute da uno spettrometro di riflettanza per un gruppo di diverse rocce sedimentarie del Wyoming:



Un modo comune di mappare la distribuzione delle formazioni è affidata a siti campione delle aree comprese nella foto/immagine. L'identità delle rocce viene confermata sia consultando mappe relative alla zona in esame che mediante indagini sul campo. L'aspetto fotografico o le proprietà spettrali sono quindi estrapolate dalla foto/immagine per localizzare altre unità presenti nell'area (questo metodo è chiamato classificazione supervisionata).

7.2 - Agricoltura e foreste

Poiché molti dispositivi di telerilevamento operano nelle regioni del verde, del rosso e del vicino infrarosso dello spettro elettromagnetico, sono capaci di discriminare le variazioni nell'emissione di radiazione legate sia agli effetti di assorbimento che di riflettenza associati con la vegetazione. L'assorbimento corrispondente a $\sim 0.65 \mu\text{m}$ (nel rosso visibile) e nel blu del pigmento clorofilliano presente nei cloroplasti della foglia, rimuove questi colori dalla luce bianca, lasciando la riflettenza predominante nel visibile concentrata nel verde (è il motivo per cui la maggior parte della vegetazione è caratterizzata dal colore verde delle foglie). C'è anche una forte riflettenza tra 0.7 e $1.0 \mu\text{m}$ delle cellule del mesofillo delle foglie; l'intensità di questa riflettenza è comunemente maggiore rispetto alla maggior parte dei materiali inorganici, così che la vegetazione è descritta come "luminosa" nell'infrarosso vicino.

Queste proprietà rispecchiano le tonalità della vegetazione sulle immagini multispettrali: tonalità più scure nelle bande del blu e specialmente del rosso, un poiché più luminose nella banda verde, e particolarmente luminose nelle diverse bande dell'infrarosso vicino (massimo nelle bande 6 e 7 MSS, e nella banda 4 TM).

Queste variazioni spettrali facilitano il riconoscimento preciso, l'identificazione ed il monitoraggio degli elementi vegetali sulla superficie terrestre e, in alcuni casi, all'interno degli oceani e di altri elementi acquatici.

In questo modo i cambiamenti nelle foreste, nelle praterie e pascoli, dei campi coltivati e anche del plancton marino possono essere continuamente misurati spesso anche in maniera quantitativa. Poiché le sostanze organiche vegetali sono componenti dominanti nella maggior parte degli ecosistemi, informazioni necessarie per la caratterizzazione e gestione di tali sistemi sono adesso abitualmente fornite da sensori remoti operanti dallo spazio.

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 (spesso nel giro di 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 (e in condizioni favorevoli anche quantitativamente) 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 (marijuana).

La discriminazione dei raccolti si basa su diverse caratteristiche delle piante interessate. Considerando la vegetazione in generale, le foglie decidue tendono a essere più riflettenti delle sempreverdi. Quindi nei color composit con l'infrarosso, il rosso associato con queste bande nell'intervallo 0.7 – 1.1 μm sarà normalmente più ricco in colore e più luminoso nelle foglie di alberi come l'acero che negli aghi di alberi come i pini. Tuttavia di maggiore importanza sono parametri come la dimensione e la forma totale del tipo di coltivazione, la forma e l'area superficiale della singola foglia, l'altezza della pianta e la quantità di ombra prodotta, e la spaziatura o altre geometrie delle piante dei filari coltivati. Lo stadio della crescita, il grado di maturità, è anche un fattore importante: durante la storia del suo sviluppo il frumento, per esempio, passa attraverso diverse distinte fasi nella sua dimensione e forma e colore, che va dal verde al marrone dorato.

Queste fasi possono essere seguite nella seguente illustrazione:



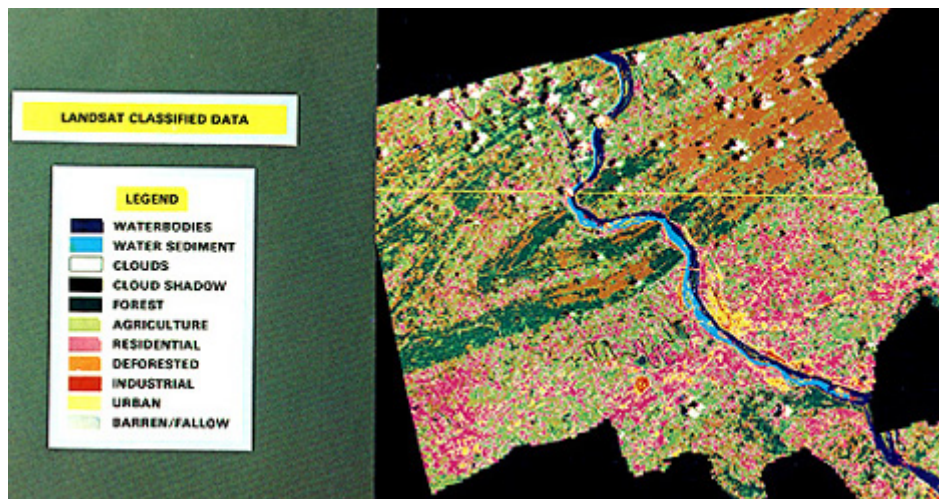
Notate che, nell' immagine Landsat, i campi di frumento mostrano la loro maggiore luminosità nell'infrarosso (d'ora in poi rosso) durante lo stadio emergente, ma diventa meno sensibile durante la fase di maturazione. I pascoli che forniscono i raccolti di foraggio maturano (diventano rossi) molto più tardi.

Inoltre, i suoli, in particolare i suoli da allevamento (che possono avere colori variegati ed altre caratteristiche) e la quantità di umidità che contengono, varierà da zona a zona col passare del tempo. Tutti questi fattori concorrono ad apportare da piccole a grandi differenze nella firma spettrale alla grande varietà di specie coltivate dall'uomo. Generalmente, la firma spettrale per coltivazioni differenti in una particolare regione deve essere determinata basandosi su campioni rappresentativi, sebbene alcuni tipi di coltivazioni abbiano una risposta spettrale universalmente simile a stadi di crescita equivalenti.

7.3 - Uso del suolo

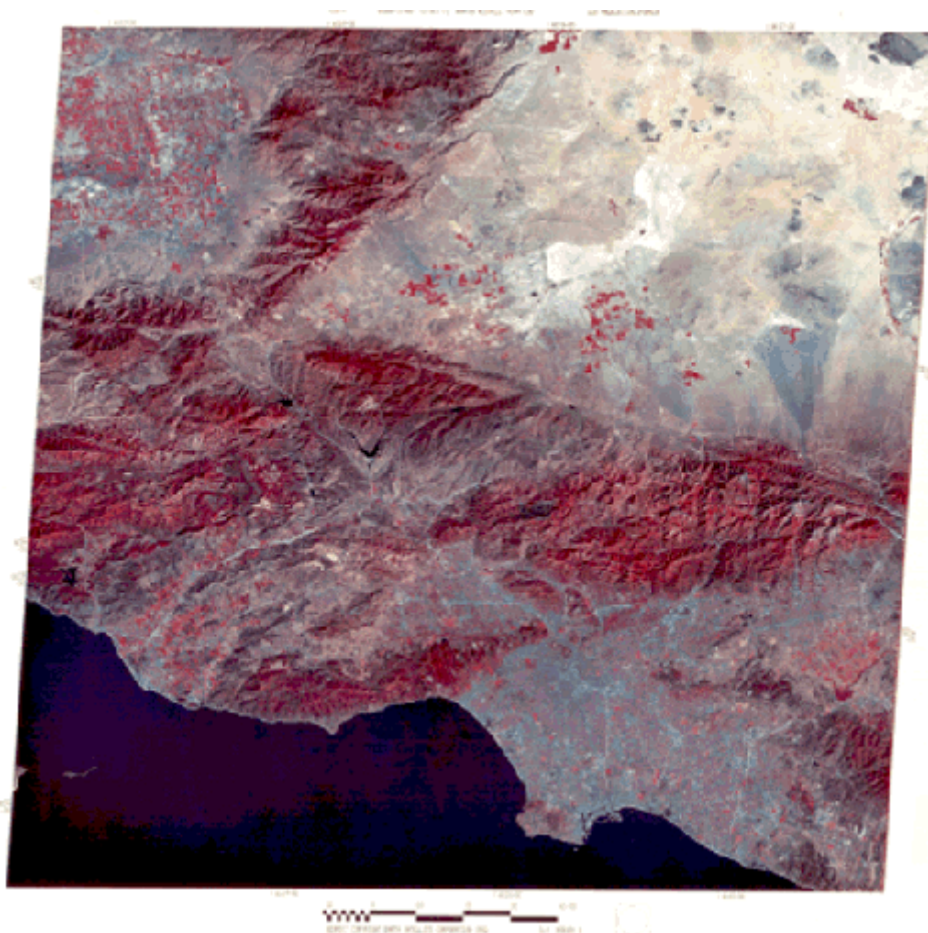
Come abbiamo già detto, le immagini da satellite e le foto aeree sono un potente mezzo per mappare la superficie della Terra. Le differenti caratteristiche naturali e artificiali possono essere identificate e catalogate in termini di copertura del suolo. Il termine uso del suolo è spesso un sinonimo,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

In figura, si vede un esempio di una tipica mappa di copertura/uso del suolo derivata da immagini [Landsat](#) mediante classificazione di un'area nei dintorni di Harrisburg, PA. La città è individuata dal colore giallo assegnato all'urbano. Le macchie gialle più piccole ad est e ovest indicano i centri urbani in posti come Carlisle, Hershey e Labanon. Quest'area metropolitana, con popolazione urbana superiore a 300.000 unità, è generalmente distribuita nei dintorni di Harrisburg.



Los Angeles, San Diego, e Tucson

La prossima immagine mostra una delle più grandi regioni urbane nel mondo – la metropoli di Los Angeles – in un'immagine [MSS](#) ricampionata (a più bassa risoluzione) che si estende aldilà della California del sud.

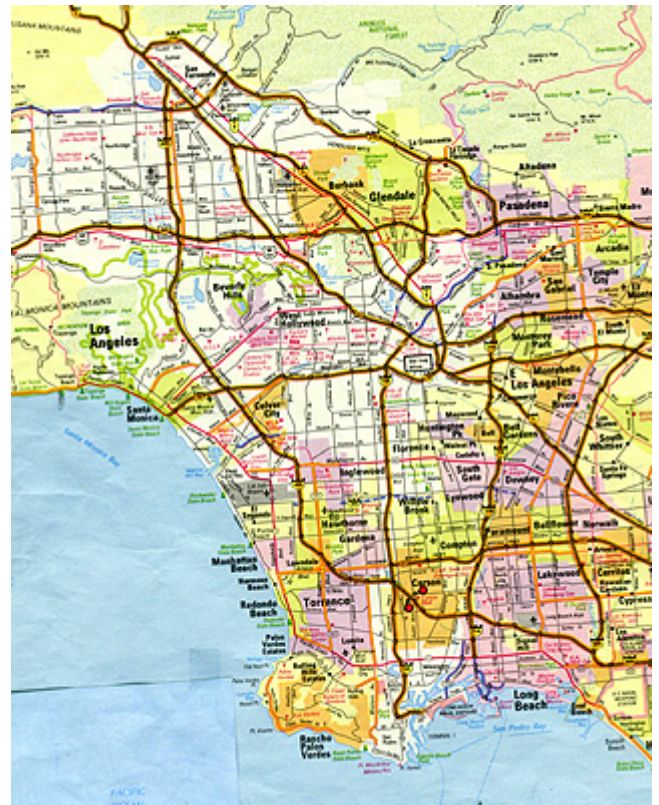


Los Angeles è situata in un bacino strutturale, formante un bassopiano che restringe la circolazione dell'aria ed è una trappola naturale per gli inquinanti (il famoso smog di Los Angeles). La traccia urbana in una immagine a falsi colori è evidente nel segmento di immagine contenente numerose città e sobborghi che fanno di Los Angeles la maggiore sfera regionale di influenza. Le aree a più elevata densità di popolazione sono caratterizzate da due temi dominanti di colore: uno sottile, generalmente di colore blu o quasi nero, per strutture lineari come

strade e corsie, e aree che sono anche generalmente in alcune sfumature di blu, essendo l'espressione spettrale di edifici che tendono ad essere riflettivamente più brillanti nelle bande del blu e del verde. Sparse tra queste aree vi sono macchie di rosso che indicano parchi cittadini, cimiteri, campi di golf, e ritagli di campi agricoli urbani. Le aree residenziali hanno spesso colori dal marrone al rosa o rosso, dovuto al coesistere di prati e alberi da un lato e edifici e strade dall'altro. Nelle colline e montagne nei dintorni di Los Angeles, è molto difficile riconoscere gli

abitati urbani e i sobborghi a causa della dominanza di alberi e boscaglia che rendono l'area completamente rossa; la sezione di Palos Verdes Estates sull'oceano è un buon esempio. Comunque, bande e macchie di blu nelle valli, come nella valle Santa Clara ad est di Ventura, indicano concentrazioni commerciali lungo le autostrade.

Le aree urbane sono anche riconoscibili in modo abbastanza distinto nelle immagini radar come è mostrato in questa immagine Seasat SAR del 1978 che copre la maggior parte dell'area metropolitana di Los Angeles. Per aiutare il riconoscimento dei punti fondamentali dell'immagine, abbiamo inserito un segmento di una mappa che indica strade, città e altre infrastrutture urbane.



Molte delle linee scure in questa immagine radar corrispondono ad autostrade o altre strade principali. Le due strisce strette scure ad angolo retto sull'oceano nel mezzo della baia di Santa Monica indicano le piste dell'aeroporto internazionale di Los Angeles. Questi elementi scuri sono dovuti a superfici riflettenti che deflettono la maggior parte del fascio radar lontano dal ricevitore. In genere, gli edifici restituiscono la maggior parte del segnale radar, dando origine a caratteristiche di tonalità grigio media (in questo caso uniforme perché la maggior parte degli edifici isolati non vengono distinti). Caratteristiche molto chiare sono associate ad alti livelli di diffusione, in alcuni casi, legati alla presenza di vegetazione, come nel caso della penisola di Palos Verdes lungo la costa occidentale, una lussureggiante area residenziale. Comunque, la risposta molto luminosa dell'area squadrata ad est delle Montagne Santa Monica che si estende nella valle San Fernando sotto Burbank è piuttosto misteriosa. Approssimativamente sulla mappa coincide con Griffith Park a nord di Hollywood ma la sua posizione relativa alla strada distinguibile sull'immagine radar indica una forma inesatta (potrebbe trattarsi di un effetto di non rettificazione).

Anche le scene a più bassa risoluzione create dalle immagini [MSS](#) mostrano le principali caratteristiche delle aree urbane, come strade, edifici, aeroporti, parchi e strutture industriali.

L'immagine [MSS](#) del 30 marzo 1975 riprende la parte centrale di San Diego nella California del sud, nell'immagine si riconoscono il porto, gli aeroporti civili e militari, il centro della città, Balboa Park, Mission Bay e Cabrillo Point.

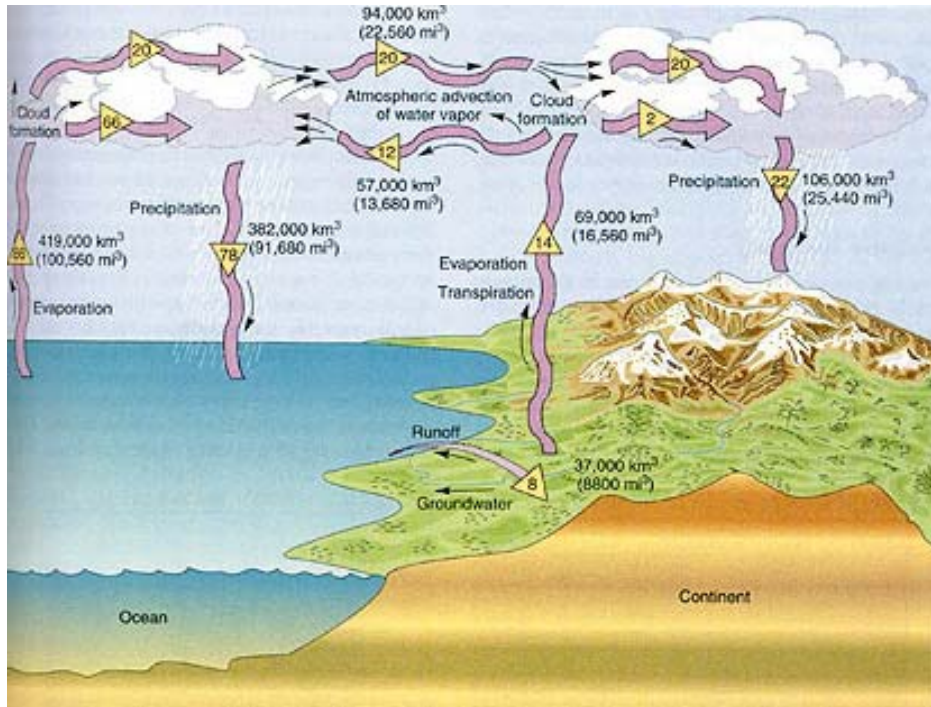


Ma la capacità di distinguere caratteristiche metropolitane fino alla scala dei singoli edifici, derivante dall'uso di sensori a più alta risoluzione, è evidente in questa immagine [SPOT](#) del 22 novembre 1986 del centro di San Diego in cui le tre bande multispettrali HRV, a 20 m di risoluzione sono combinate e registrate con l'immagine pancromatica a 10 m. I dettagli dell'immagine mostrano chiaramente che le immagini da satellite possono competere con la scala più piccola delle foto aeree in nitidezza e contenuto informativo



7.4 - 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. Questo complesso sistema interconnesso di circolazione d'acqua costituisce il ciclo idrico, schematizzato nel diagramma:



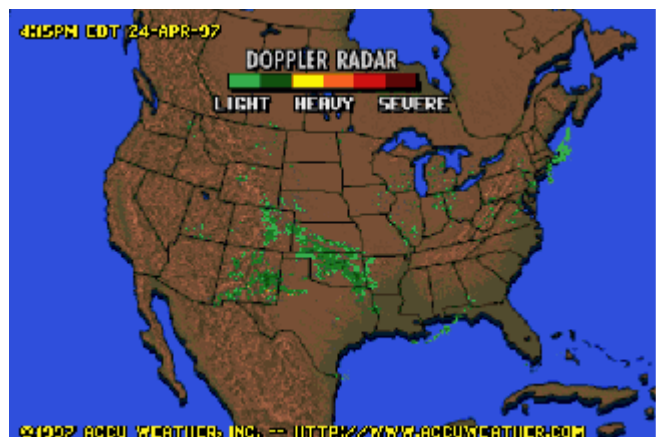
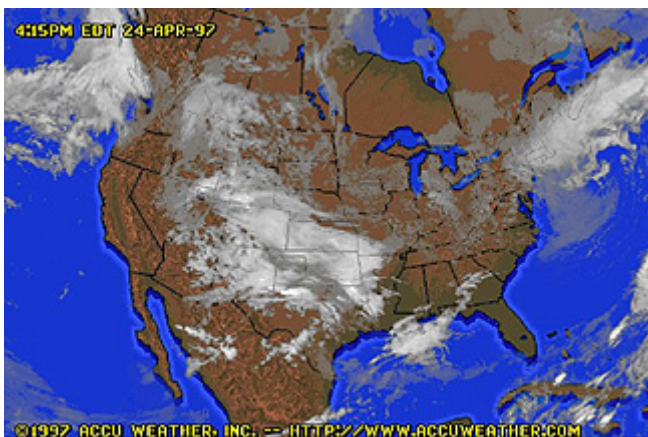
(Christopherson, R.W., *GEOSYSTEMS: An Introduction to Physical Geography*, 2nd Ed. © 1994. Riprodotto con il consenso di Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey)

I numeri associati a questo diagramma mostrano chiaramente che gli oceani non soltanto costituiscono la parte più consistente dell'acqua presente sul pianeta, ma sono sorgente di gran parte delle precipitazioni che consentono il riciclo dell'acqua che giunge nell'atmosfera per evaporazione. L'acqua in movimento è reperibile sotto forma di nubi visibili o di vapor d'acqua invisibile o ancora di sistemi fluviali. Oltre agli oceani, che costituiscono quasi il 98% del volume d'acqua in superficie, grandi serbatoi d'acqua sono anche i ghiacciai, principalmente quelli Antartici e della Groenlandia, la neve (in gran parte stagionale), e i laghi d'acqua dolce.

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 (per esempio l'ozono, il CO₂, i composti solforosi, gli aerosol), i venti e le correnti marine, i ghiacci sul mare e i nutrienti marini biotici.

Dal 1959 al 1994 sono stati lanciati circa 270 satelliti (con pochi fallimenti) da Stati Uniti, Unione Sovietica/Russia, Giappone, Cina, India, Italia, Francia e soprattutto dall'ESA principalmente con l'obiettivo di poter disporre di dati sempre aggiornati per monitorare il sistema climatico e realizzare previsioni meteorologiche, ma anche per condurre studi scientifici finalizzati ad una migliore comprensione dell'atmosfera, degli oceani, dei campi di forza della Terra (ionosfera, magnetosfera), della radiazione solare e dei fenomeni ambientali associati. D'altro canto, ad oggi, soltanto 25 satelliti sono stati dedicati ampiamente alle osservazioni della terra. Esperimenti meteorologici sono stati condotti anche da osservatori a bordo delle missioni ilomet, Gemini, Apollo, Shuttle (STS), e MIR. Chiaramente la quasi totalità delle applicazioni dei sensori operanti su piattaforme spaziali sono state fino ad ora concentrate in settori legati all'idrologia in merito alle sue numerose funzioni nell'ambito del sistema terrestre.

Per buona parte del pubblico l'unico contatto con i satelliti per l'osservazione del pianeta ha luogo nel corso dello spazio dedicato al tempo durante il telegiornale. Siamo tutti abituati alla vista delle nuvole sulla regione in cui viviamo, tanto quanto alla visione sinottica delle stesse sull'intero nostro continente. Le immagini sono in genere prodotte dalle bande nel visibile e nell'IR termico di sensori montati su satelliti geostazionari. Ancora più spesso sono proposte immagini realizzate con sistemi Doppler radar che effettuano una scansione circolare periodica; i segnali radio vengono diffusi in seguito all'interazione con particelle di ghiaccio o gocce d'acqua, consentendo una stima della quantità di precipitazioni e della velocità del vento. Qui sono riportati due esempi, copertura nuvolosa in alto e precipitazioni in basso, presi dal sito di Accuweather (<http://www.accuweather.com>).



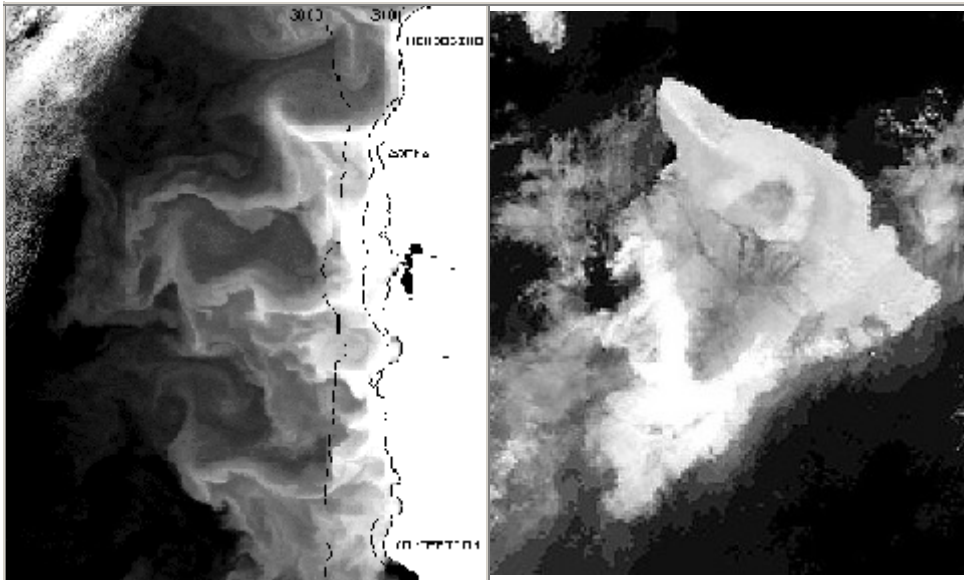
Combinando osservazioni frequenti in una sequenza temporale (generalmente su un intervallo totale dalle 6 alle 24 ore), è possibile mostrare allo spettatore televisivo un'animazione dell'evoluzione del sistema meteorologico su scale da locali a continentali.

7.5 - Osservazioni Oceanografiche

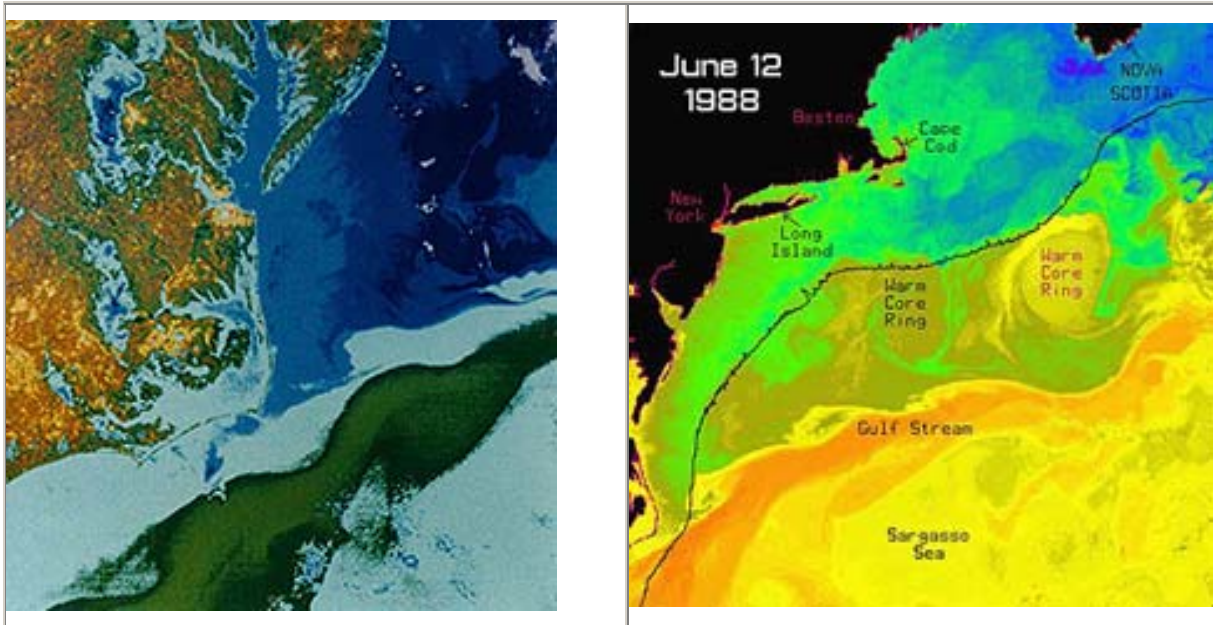
Spostiamoci ora dall'enfasi sui sistemi meteorologici visti dallo spazio per concentrarci sulle osservazioni degli Oceani terrestri. La maggior parte delle informazioni che verranno riportate in seguito provengono comunque dai satelliti meteo sebbene diversi satelliti e alcune missioni Shuttle avevano lo scopo di missioni 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.

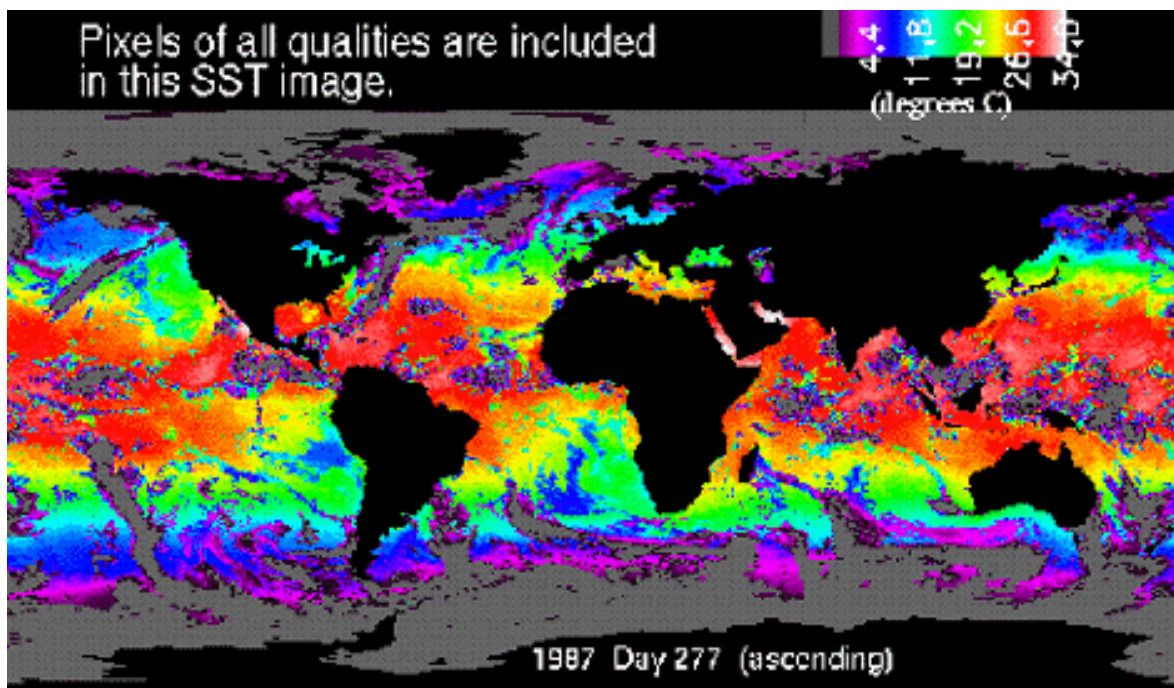


Le correnti oceaniche come quella del Golfo nella costa Est degli U.S. e la corrente Pacifica nella costa Occidentale, sono il risultato della redistribuzione di acque calde accumulate nelle regioni tropicali verso zone più fredde ad alte latitudini. Un rendering a colori di parte dell'immagine diurna termica [HCMM](#) mostra la corrente del Golfo della costa della Carolina-Virginia Nord. Confrontata con questa immagine ce n'è qui una della costa Est che mostra le temperature superficiali calcolate dagli algoritmi di elaborazione dei dati multispettrali ottenuti, come in questo caso, da [NOAA AVHRR](#).

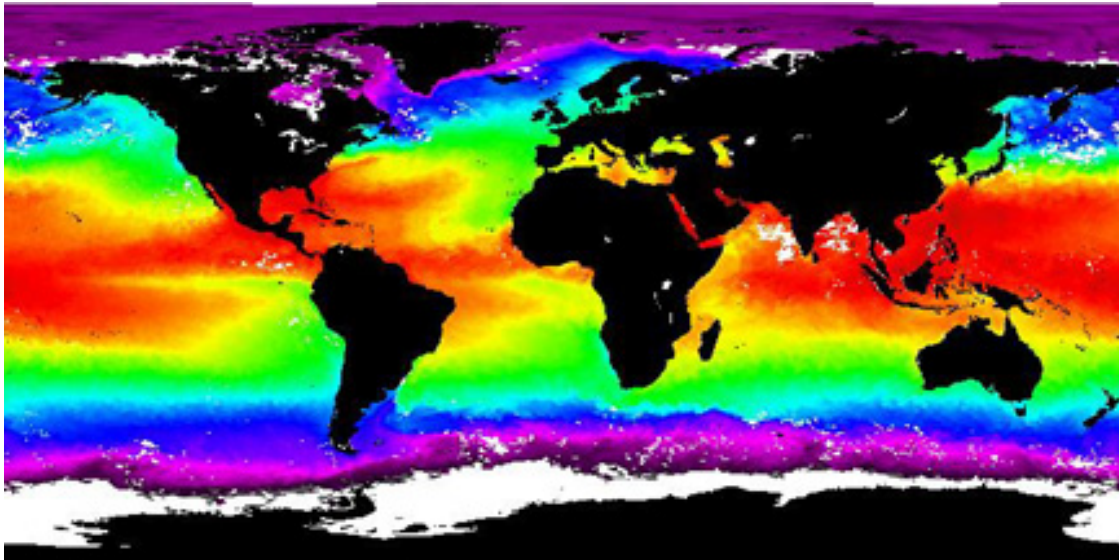
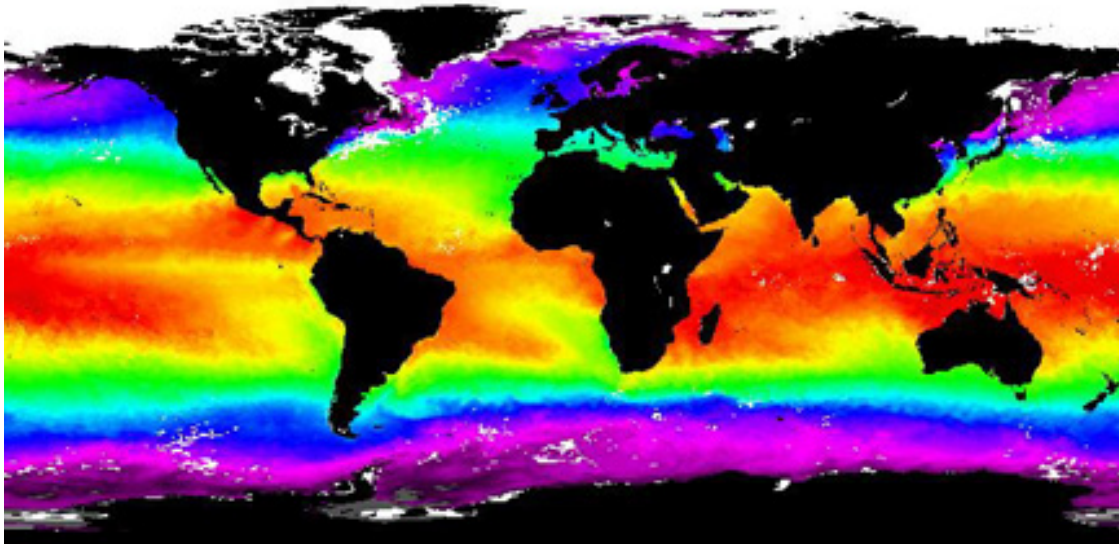


Anche quest'immagine mostra la corrente del Golfo, che in alcune zone si divide in aree circolari con la parte centrale calda. I valori di temperatura per i diversi colori sono: arancio=25-28° C; giallo = 23° C; verde 14° C; blu 5° C.

Le osservazioni globali da satellite sulle temperature dell'acqua marina (conosciuta come SST Sea Surface Temperature) vengono ora fatte ogni giorno principalmente attraverso i satelliti meteorologici. Questo è un esempio di mappa di SST fatta alla fine di Settembre del 1987.



I valori di SST possono essere integrati in intervalli di tempo predefiniti e quindi confrontati mese per mese o tra periodi equivalenti in nel corso degli anni. Qui sotto vi sono le SST per i mesi di Gennaio (in alto) e Luglio (in basso) nel 1993,ottenuti dai dati [NOAA AVHRR](#).



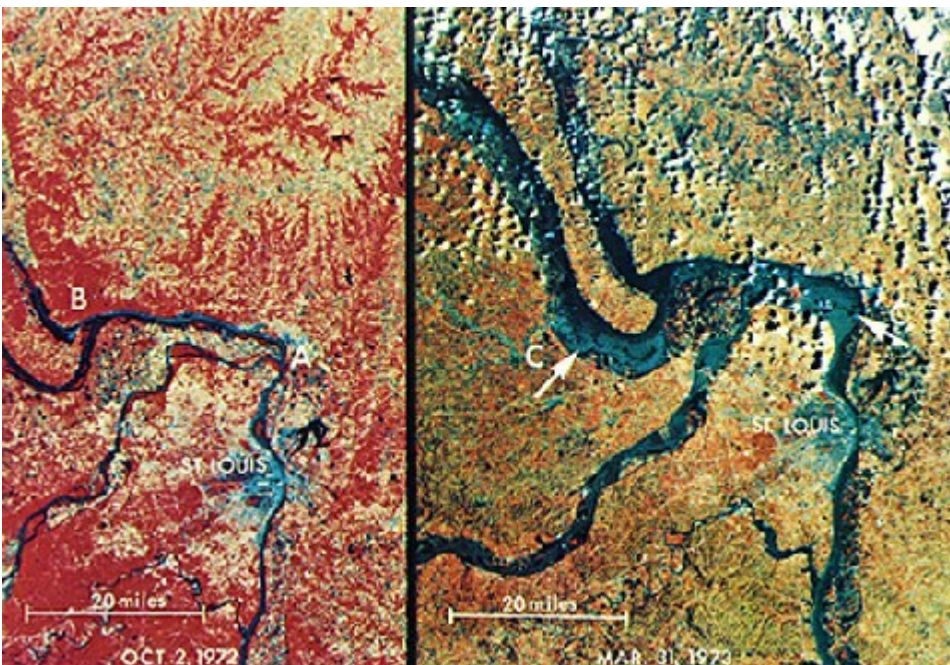
Rosso e giallo indicano temperature più elevate, blu e porpora più fredde. A prima vista non sembra esserci grossa variazione stagionale sebbene una visione più attenta denota differenze sostanziali, tenendo conto che, in generale, gli oceani tendono a mantenere le loro temperature medie con variazioni meno evidenti rispetto all'atmosfera.

7.6 - Idrologia: le alluvioni

L'immagine presentata mostra le grandi alluvioni del Fiume Rosso in Nord Dakota e Manitoba (Canada) che inondò Grand Forks, Fargo e altre città. L'alluvione del 27 Aprile venne ripresa dal [NOAA](#) AVHRR, con l'acqua rappresentata in grigio chiaro e le nuvole in arancio:

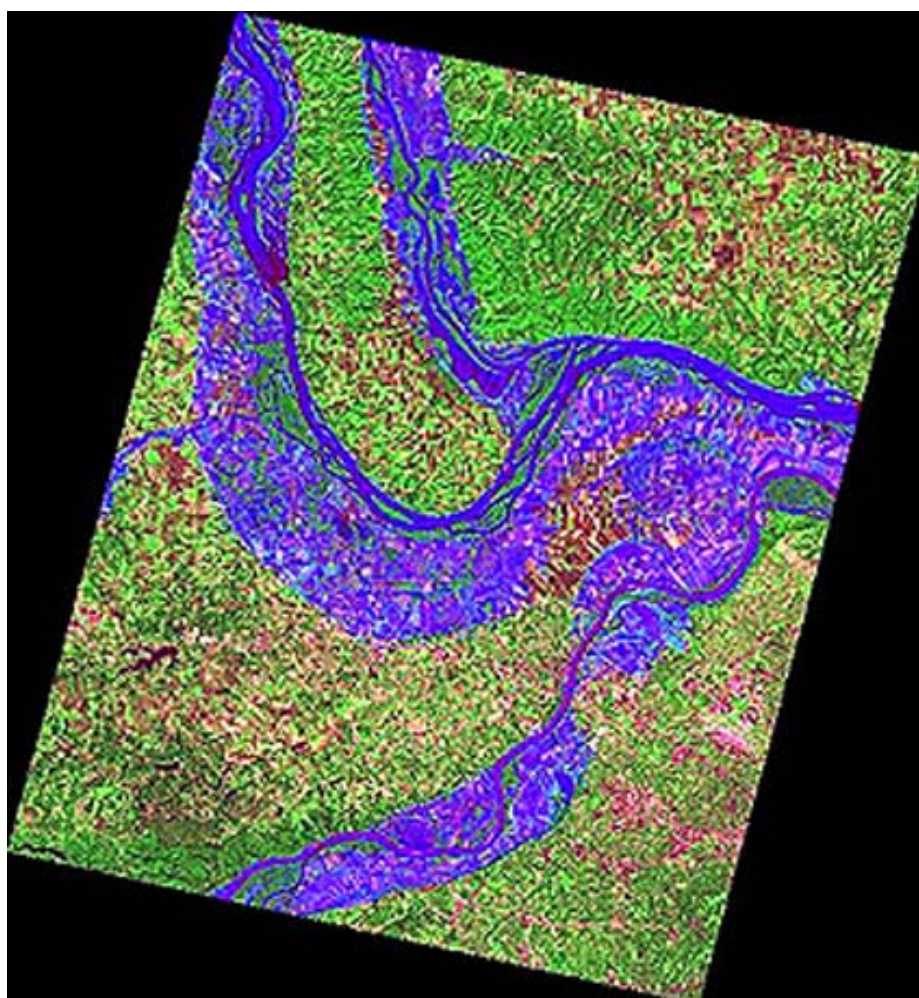
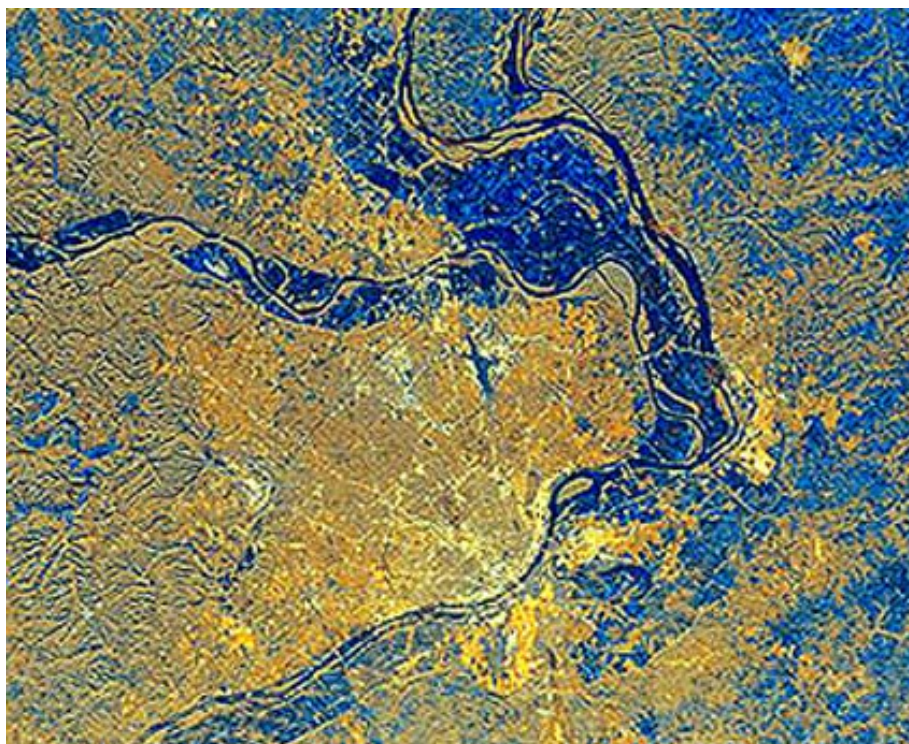


Le alluvioni sono molto frequenti in primavera nelle zone del bacino del Mississippi. Un alluvione, fra i più devastanti avvenuti negli ultimi cento anni, fu causato dallo scioglimento delle nevi e dalle piogge alla fine di Marzo 1973. L'evento ripreso in questa scena [Landsat](#) (confrontata con una precedente all'alluvione) in un giorno privo di copertura nuvolosa, mostra St.Louis, Missouri e le pianure alluvionali del Mississippi, Missouri (che si unisce in A), e il fiume Illinois(B):



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. Esaminiamo ancora una volta le pianure a nord-ovest di St.Louis. In alto appare un'immagine presa dagli astronauti dello Shuttle utilizzando il SIR-C. In basso è invece un'immagine ricavata da fusione di dati [JERS-1](#) e [SPOT](#) 3 da cui si evidenzia un buon dettaglio (notate come appaiono le coltivazioni attraverso l'acqua)



L'ultima immagine è una scena Landsat-1 (6 Febbraio 1974) del fiume Barcoo nel Queensland (Sud Australia) straripato a causa delle piogge d'Autunno con inondando le piane circostanti per oltre 50 Km.



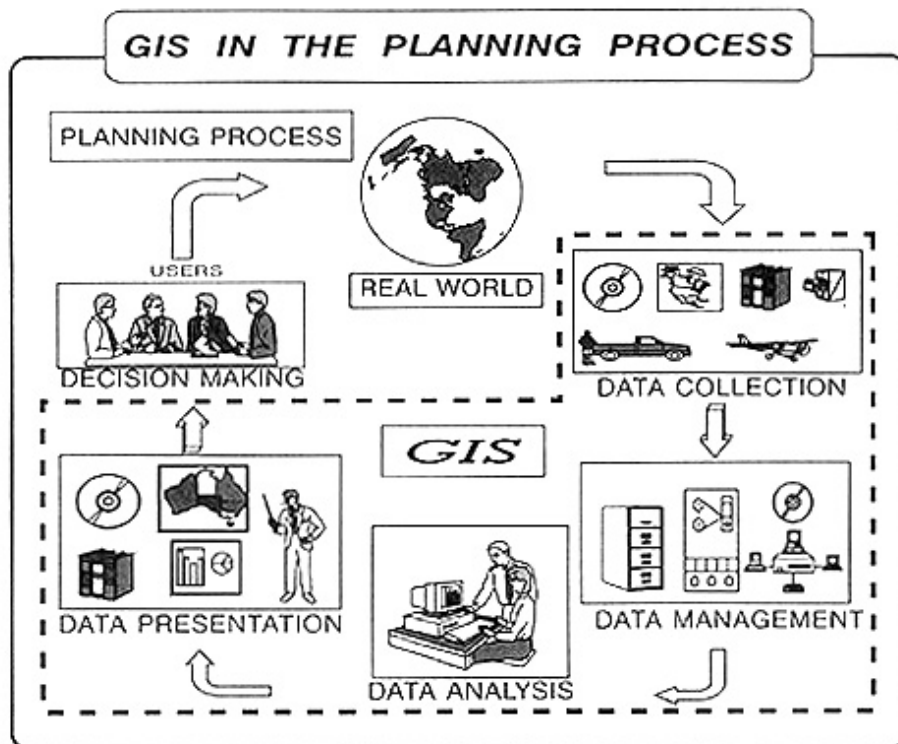
7.7 - Integrazione del telerilevamento nei Sistemi Informativi Geografici

Il telerilevamento da satellite rappresenta un'importante fonte informativa per un Sistema Informativo Geografico (conosciuto anche con il suo acronimo GIS), un potente strumento nato negli anni 70.

Il **GIS** è stato definito dall'Associazione per l'Informazione Geografica come: **un sistema per acquisire, conservare, verificare, integrare, manipolare, analizzare e visualizzare dati relativi al territorio.**

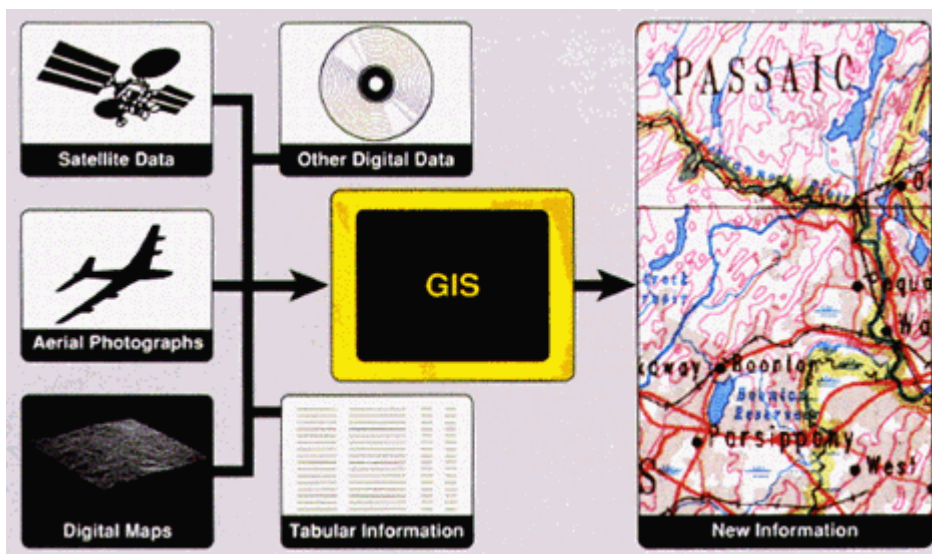
Una più semplice definizione è: un approccio per interpretare mappe e immagini ed utilizzarle per risolvere problemi. La crescita dell'informatica ha enormemente cambiato la maniera in cui più mappe e altri set di dati possono essere integrati, comparati e manipolati.

Il ruolo dei **GIS** nel processo di pianificazione, ad esempio, per la selezione di un sito, per la gestione dell'ambiente e per altre applicazioni geografiche, è schematizzato nel seguente diagramma:



Da B. Davis, *GIS: A Visual Approach*, ©1996. Reproduced by permission of Onword Press, Santa Fe, NM.

Un [GIS](#) consente di collegare o integrare informazioni che normalmente sono difficili da associare attraverso altri mezzi. Quindi un [GIS](#) permette di usare combinazioni di dati per creare nuova informazione.



Agli albori del telerilevamento, la capacità di integrare dati provenienti da differenti sorgenti era limitata. Oggi, con la maggior parte dei dati disponibili in formato digitale, l'integrazione dei dati è diventato un metodo comune usato per l'interpretazione e l'analisi.

L'integrazione dei dati fondamentale comporta la combinazione di dati provenienti da differenti fonti con l'obiettivo di estrarre migliori e/o più informazioni. In un sistema digitale, dove tutte le fonti di dati sono geometricamente registrate ad una comune base geografica, la potenzialità di estrazione di informazioni è estremamente ampia. Questo è il concetto su cui si basa un Sistema Informativo Geografico. Ogni dato che può essere riferito al territorio, può essere usato in questo tipo di sistema. Esempi possono includere mappe digitali ilometres , classi di copertura del suolo, specie forestali, rete stradale e molti altri che possono variare in funzione dell'applicazione. I risultati di una classificazione di dati telerilevati, ad esempio, possono essere usati all'interno di un [GIS](#) come un'altra fonte di dati per aggiornare mappe esistenti. In conclusione, analizzando diversi set di dati insieme, è possibile estrarre migliori e più accurate informazioni di quelle ricavabili utilizzando una singola fonte di dati.