



Università degli Studi di Napoli "Parthenope"
Dipartimento di Scienze e Tecnologie

Corso di Telerilevamento

Lezione 1

Introduzione al Corso

Alcuni principi fisici del telerilevamento

Claudio Parente

Finalità del Corso

Il corso è finalizzato all'apprendimento dei fondamenti teorici e pratici del telerilevamento, cioè del rilevamento eseguito a distanza.

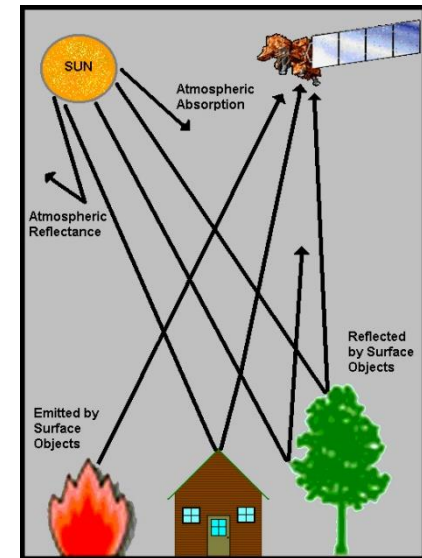
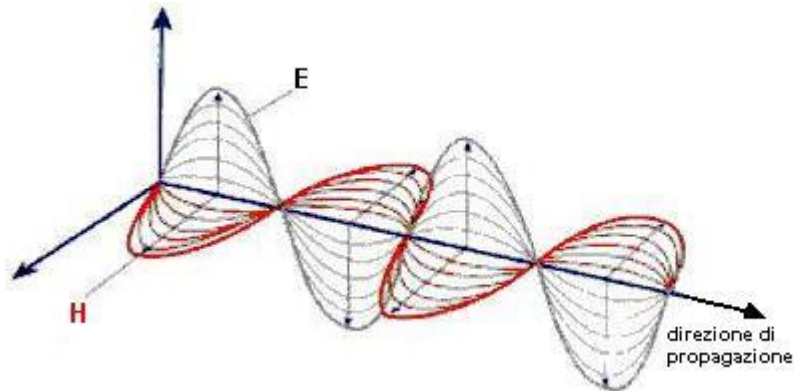
È previsto l'utilizzo di software GIS per l'elaborazione di dati telerilevati concernenti il mare e il territorio.

Pre-requisiti (per allievi di laurea triennale): È utile aver già assimilato le conoscenze fornite dai Corsi di Analisi Matematica e Fisica.

.

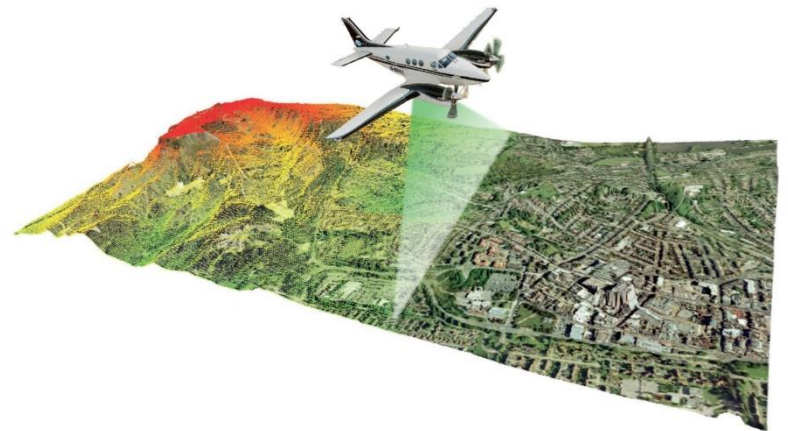
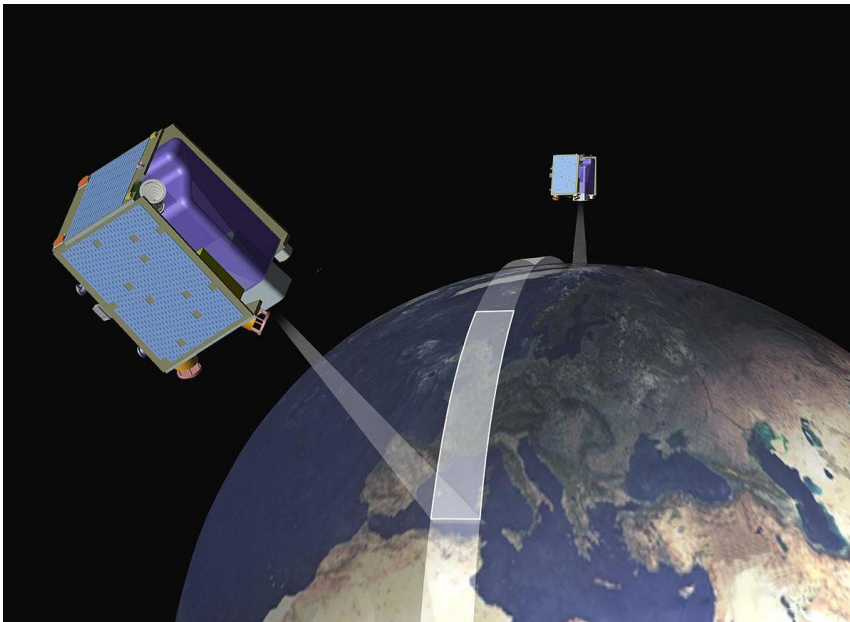
Contenuti del Corso

Principi fisici del telerilevamento - Radiazione e spettro elettromagnetico. Interazione delle onde elettromagnetiche con la materia: leggi di Kirchhoff, Planck, Stefan-Boltzmann, Wien. Interazioni delle onde elettromagnetiche con l'atmosfera. Firme spettrali: materiali geologici e biologici.



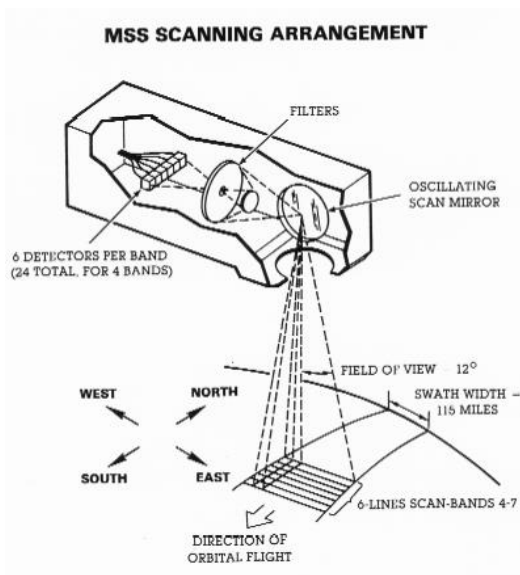
Contenuti del Corso

Le piattaforme per il telerilevamento - Satelliti artificiali: satelliti geostazionari e satelliti eliosincroni. Principali missioni spaziali per l'osservazione della Terra a media e alta risoluzione: Landsat; SPOT; IKONOS; Quickbird; GeoEye; WorldView.



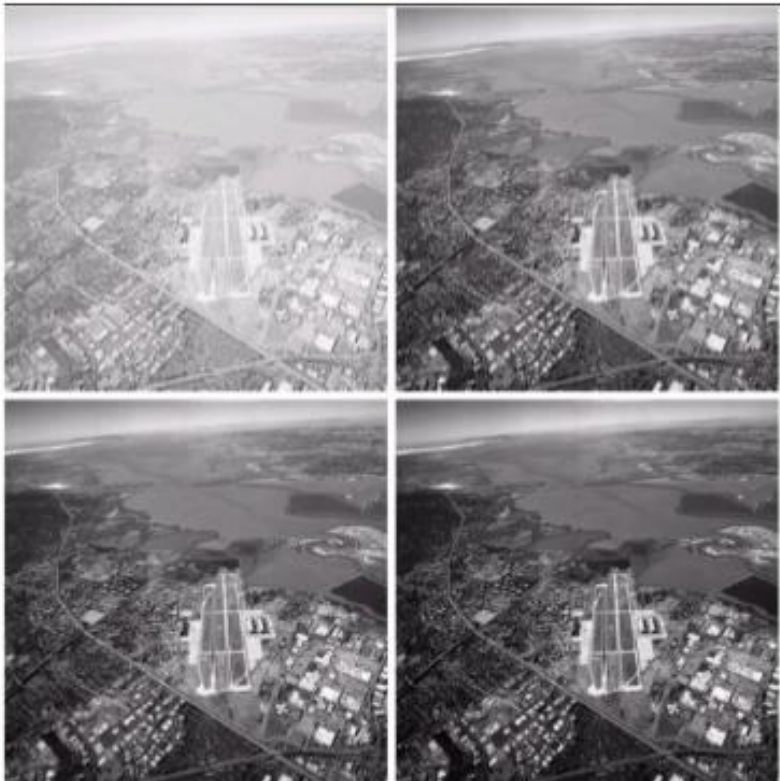
Contenuti del Corso

I sensori per il telerilevamento - Sensori attivi e sensori passivi. Sensori ottici di immagini: sensori fotografici e sensori a scansione. Sensori misuratori: laser. Sensori a microonde: il radar da immagine.



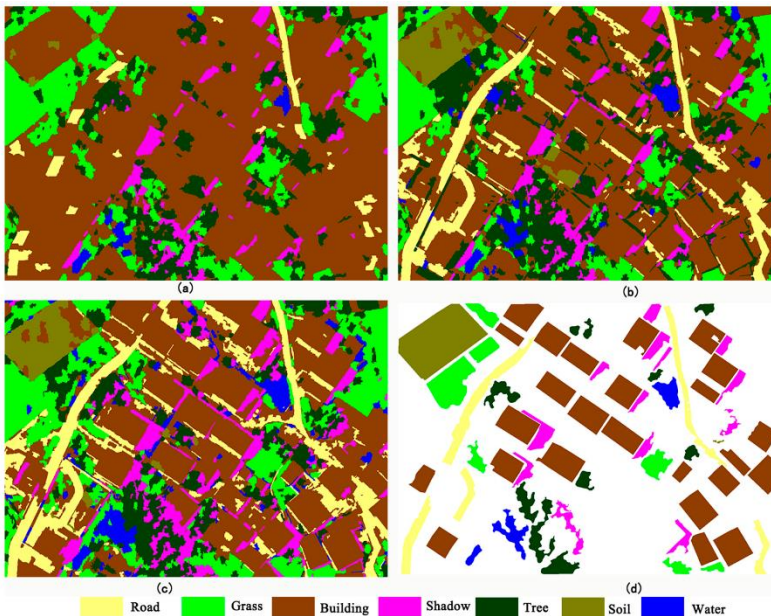
Contenuti del Corso

Elaborazione di dati telerilevati - Formati di dati digitali. La statistica applicata alle immagini. Correzione dei dati telerilevati: errori interni ed errori esterni; correzioni radiometriche; correzioni geometriche mediante funzioni polinomiali semplici e razionali. Miglioramento delle immagini: utilizzo di filtri.



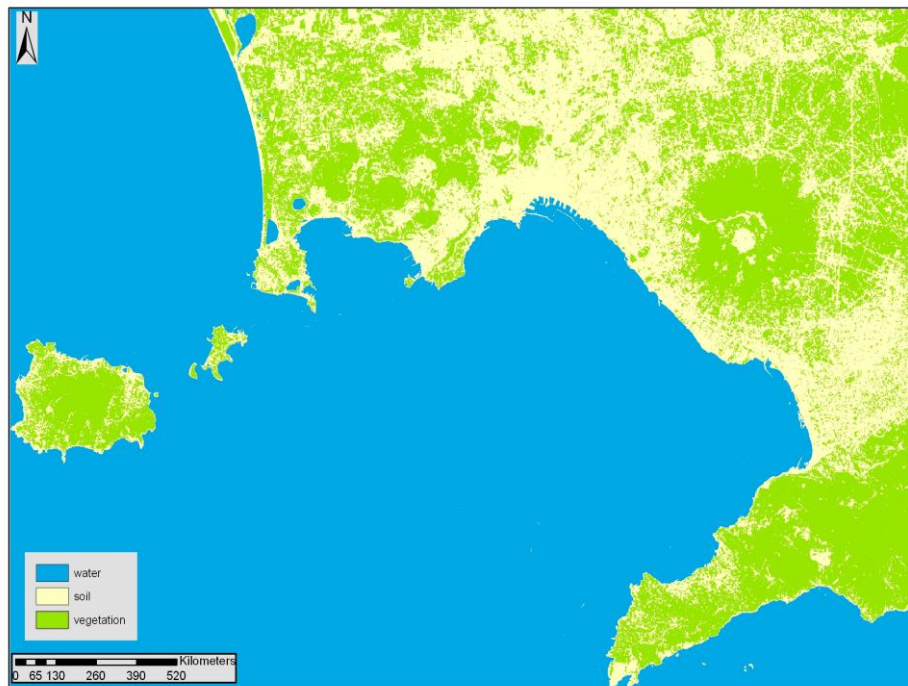
Contenuti del Corso

Tecniche di classificazione dei dati telerilevati – Indici di vegetazione: Ratio, NDVI, Tasseled Cap. Classificazione non supervisionata: metodo K-means. Classificazione supervisionata: classificatori per immagini monocromatiche e multispettrali; classificatore della minima distanza; classificatore della massima verosimiglianza.



Contenuti del Corso

Applicazioni ed esercitazioni: utilizzo di software GIS free ed open source per elaborare immagini telerilevate; applicazioni sulla classificazione supervisionata e non; costruzione di carte tematiche concernenti il mare e il territorio a partire da dati telerilevati.



Le modalità di esame

La prova d'esame consiste nel verificare il livello di raggiungimento degli obiettivi formativi precedentemente indicati.

L'esame consta di una prova orale con discussione anche degli esercizi svolti durante le esercitazioni e riguardanti l'utilizzo di software GIS free ed open source per elaborare immagini telerilevate.

Materiale didattico

Materiale didattico fornito agli allievi costituito da dispense in formato pdf a cura del docente.

Testi di riferimento

Brivio, P. A., Zilioli, E., & Lechi, G. L. (2006). Principi e metodi di telerilevamento. CittaStudi.

Joseph, G. Fundamentals of Remote Sensing. Universities Press. 2005

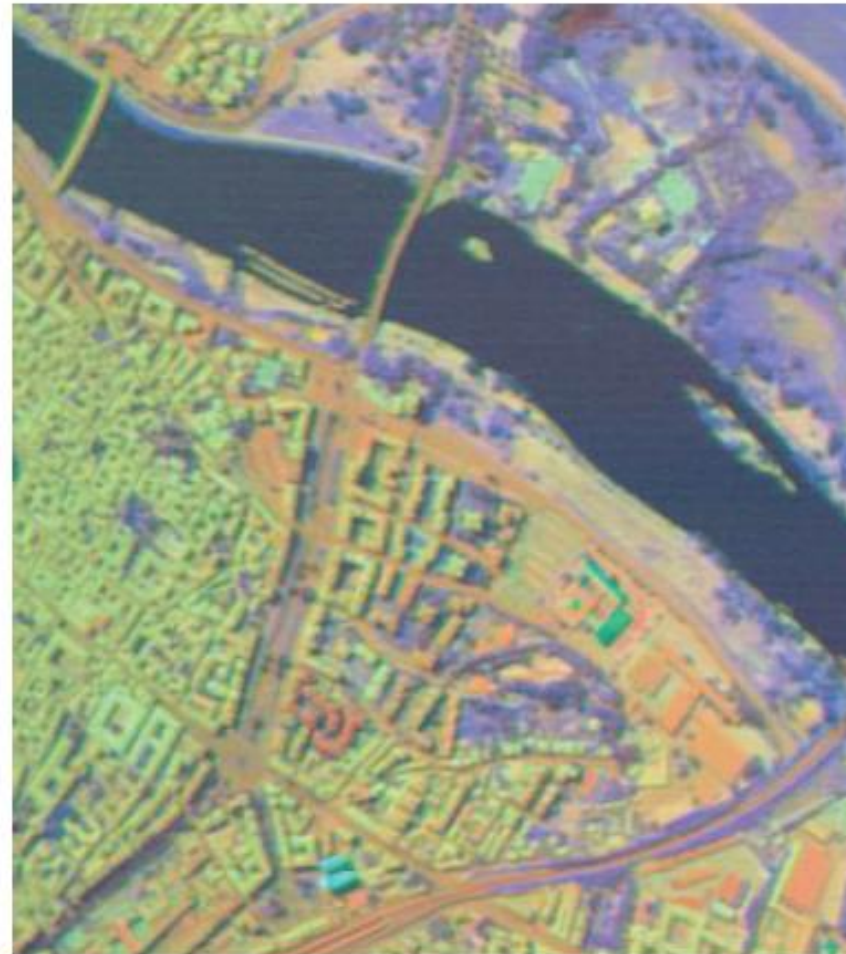
Cosa facciamo?

Partiamo da immagini aeree o satellitari della superficie terrestre o dell'atmosfera ...



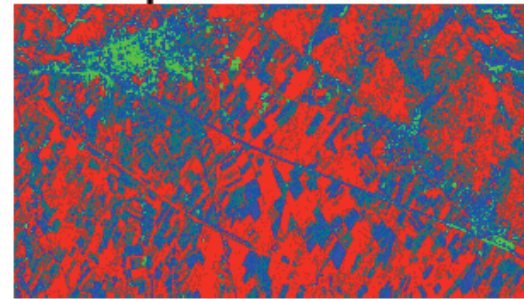
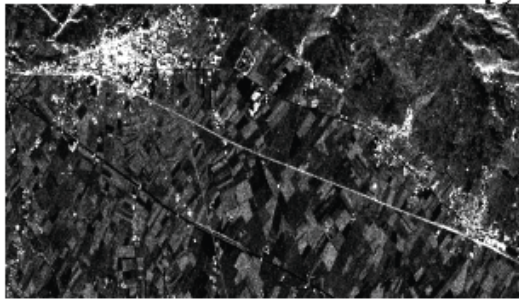
... e ne estraiamo ...

Informazioni

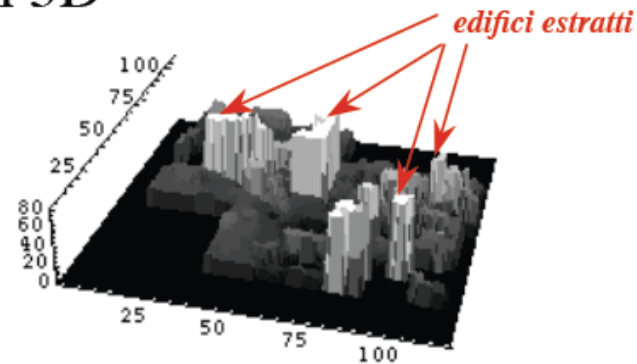
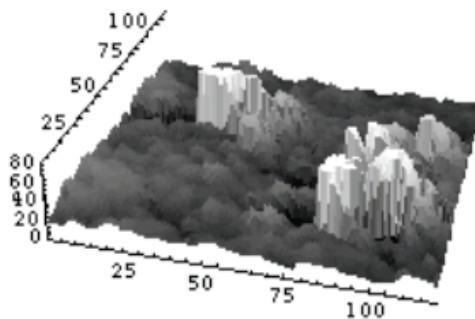


Analisi di dati telerilevati in ambito urbano

- Classificazione di immagini radar o multispettrali



- Estrazione di edifici da superfici 3D



- Integrazione di dati provenienti da diversi sensori

Generalità sul telerilevamento

- Il telerilevamento o remote sensing è un termine atto ad indicare il rilevamento di informazioni senza contatto fisico con la sorgente
- Si parla di Telerilevamento attraverso immagini per indicare quell'insieme di tecniche volte ad analizzare oggetti sulla superficie terrestre e fenomeni ambientali attraverso misure radiometriche registrate a distanza da sensori posti su piattaforme terrestri, aeree o spaziali.

Generalità sul telerilevamento

- Il principio su cui si basa il telerilevamento consiste nella captazione da parte di apparecchiature di tipo ottico-meccanico od elettriche, e nella registrazione, analogica o digitale del segnale elettromagnetico riflesso od emesso dalla superficie di indagine al fine di tradurre tali segnali, provenienti dalla scena rilevata, in un immagine bidimensionale facilmente analizzabile (es.fotografia, immagine digitale)

Limiti del telerilevamento

- Accuratezza dei dati dopo campagna di validazione sul terreno.
- I dati analizzati si riferiscono sempre alle superfici degli oggetti studiati (roccia, suolo, alterazione, etc..).
- Le condizioni di acquisizione condizionano la qualità del dato (illuminazione, rilievo, pendenza e giacitura superfici, condizioni meteo, ombreggiatura).

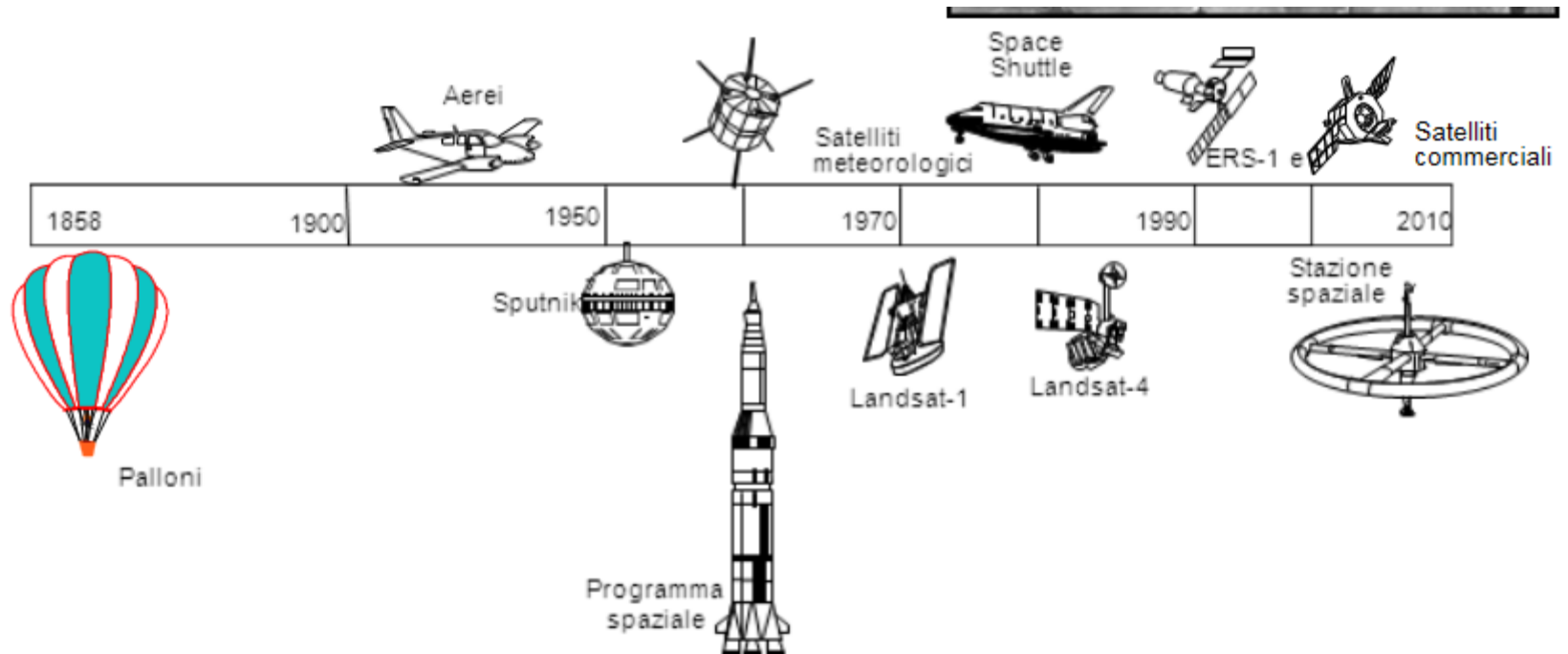
Il Telerilevamento è la sintesi di due campi applicativi e di indagine

- **TECNOLOGIA** progettazione e messa in opera di attrezzature capaci di acquisire dati
- **ANALISI ED INTERPRETAZIONE DEI DATI** estrarre informazioni sulle caratteristiche fisiche dell'oggetto studiato

Storia del Telerilevamento

- Inizia nel 1840 quando le mongolfiere acquisirono le prime immagini del territorio con la macchina fotografica appena inventata.
- 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

Storia evolutiva del telerilevamento



- 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 (1-7) (1973); Seasat (1978); (1978); (Francia) (1-3) (1986); RESURS (Russia) (1985); (1A-1D) (India) (1986); (1-2) (1991); (1-2) (Giappone) (1992); Radarsat (Canada) (1995); ADEOS (Giappone) (1996) (Note: -A (1981), -B (1984), e -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 (g) (Europa) (1978); serie TIROS-N (1978); Bhaskara (India) (1979); (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).
- **Un dato**: 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 impennate sulla gestione delle risorse naturali e ambientali.

Campi di applicazione

- Agronomia
- Archeologia
- Climatologia
- Militare
- Monitoraggio ambientale e valutazione di rischio
- Meteorologia
- Oceanografia
- Pedologia
- Scienze forestali
- Scienze dell'atmosfera
- Topografia
- Urbanistica
- Geologia
 - Geomorfologia (aste fluviali, dinamica dei versanti, analisi linee di costa)
 - Tettonica e geologia strutturale
 - Sismotettonica
 - Cartografia in aree con difficoltà di accesso e desertiche
 - Ricerca mineraria e petrolifera
 - Idrogeologia (acquiferi in roccia)
 - Vulcanologia
 - Analisi del rischio geologico

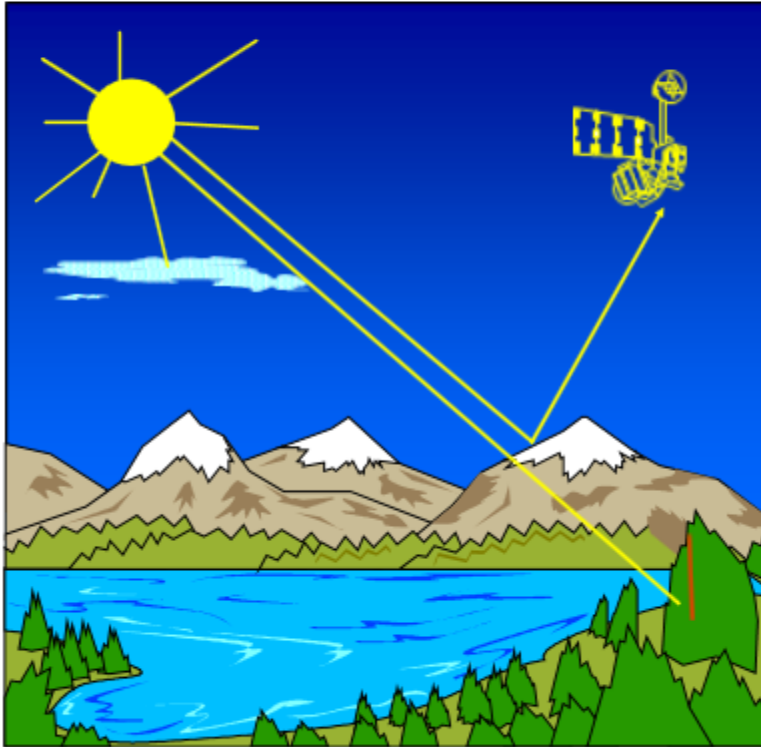
Principi fondamentali

- Cos'è il telerilevamento

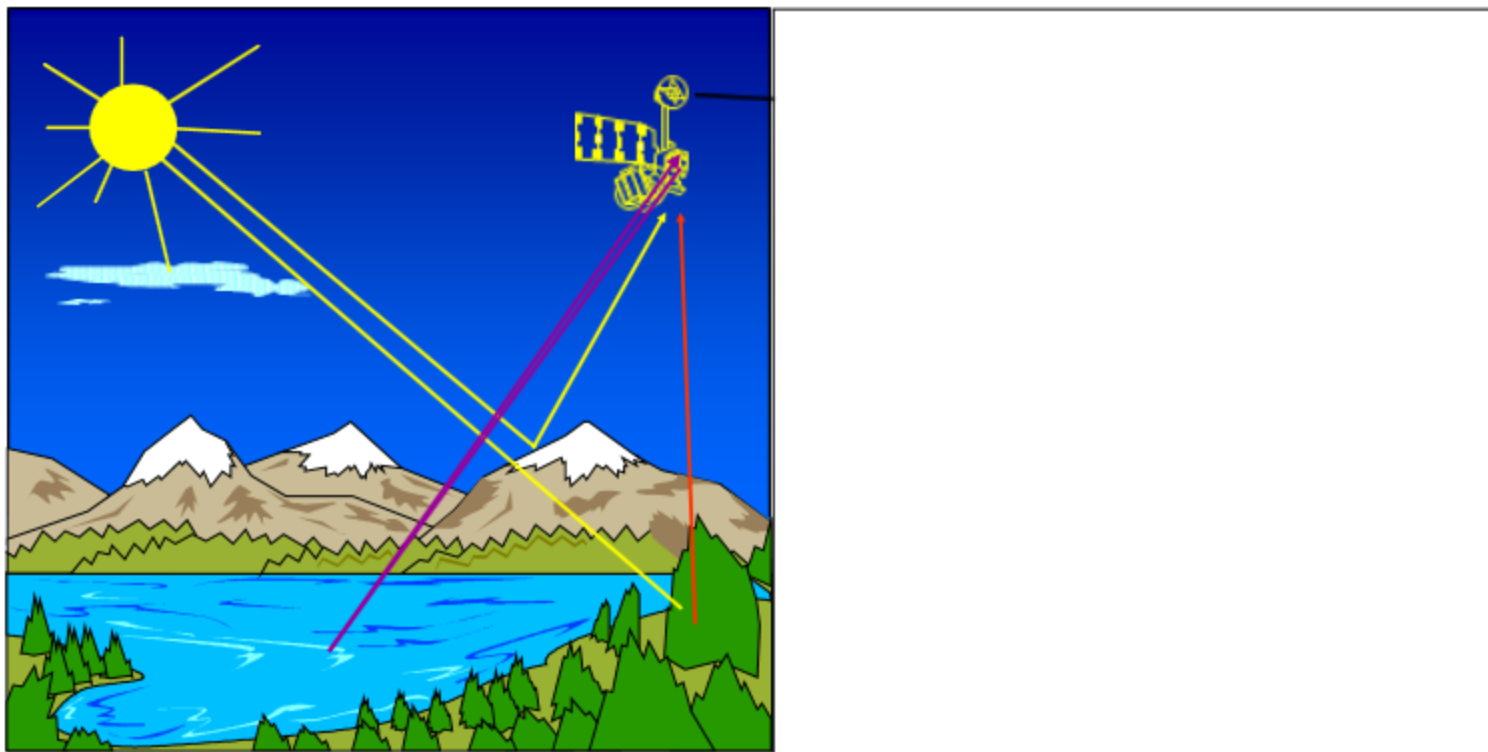
Definizione formale e completa del telerilevamento

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.

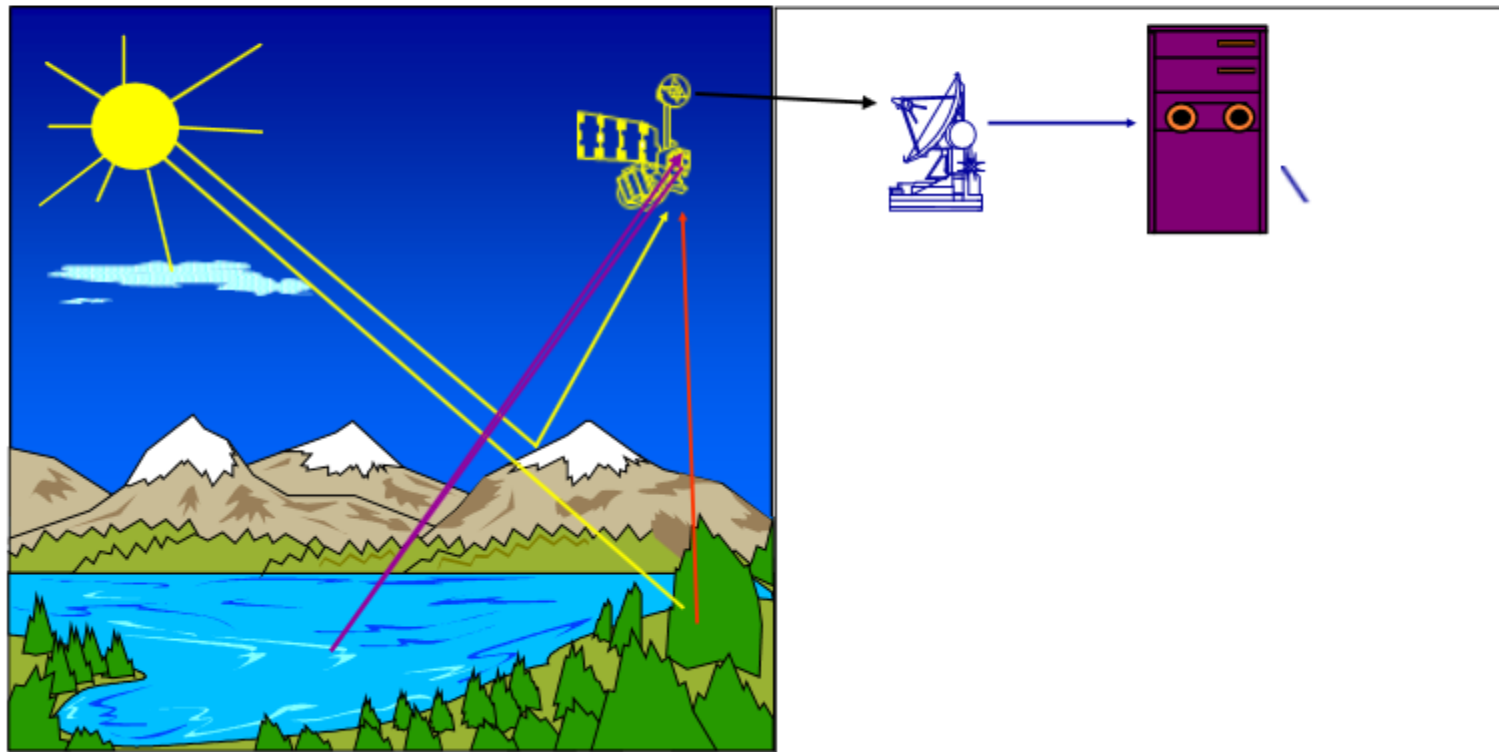
Principi fondamentali



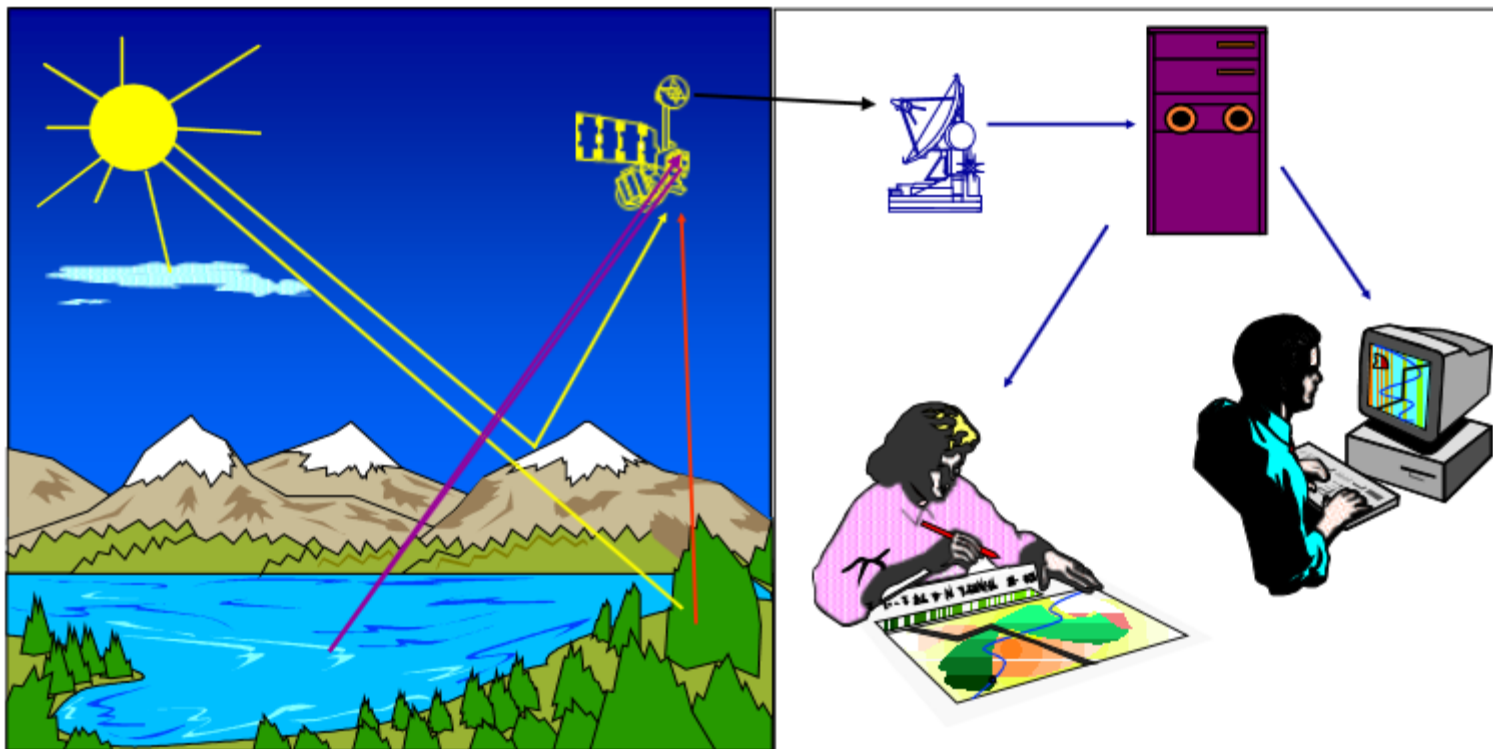
Principi fondamentali



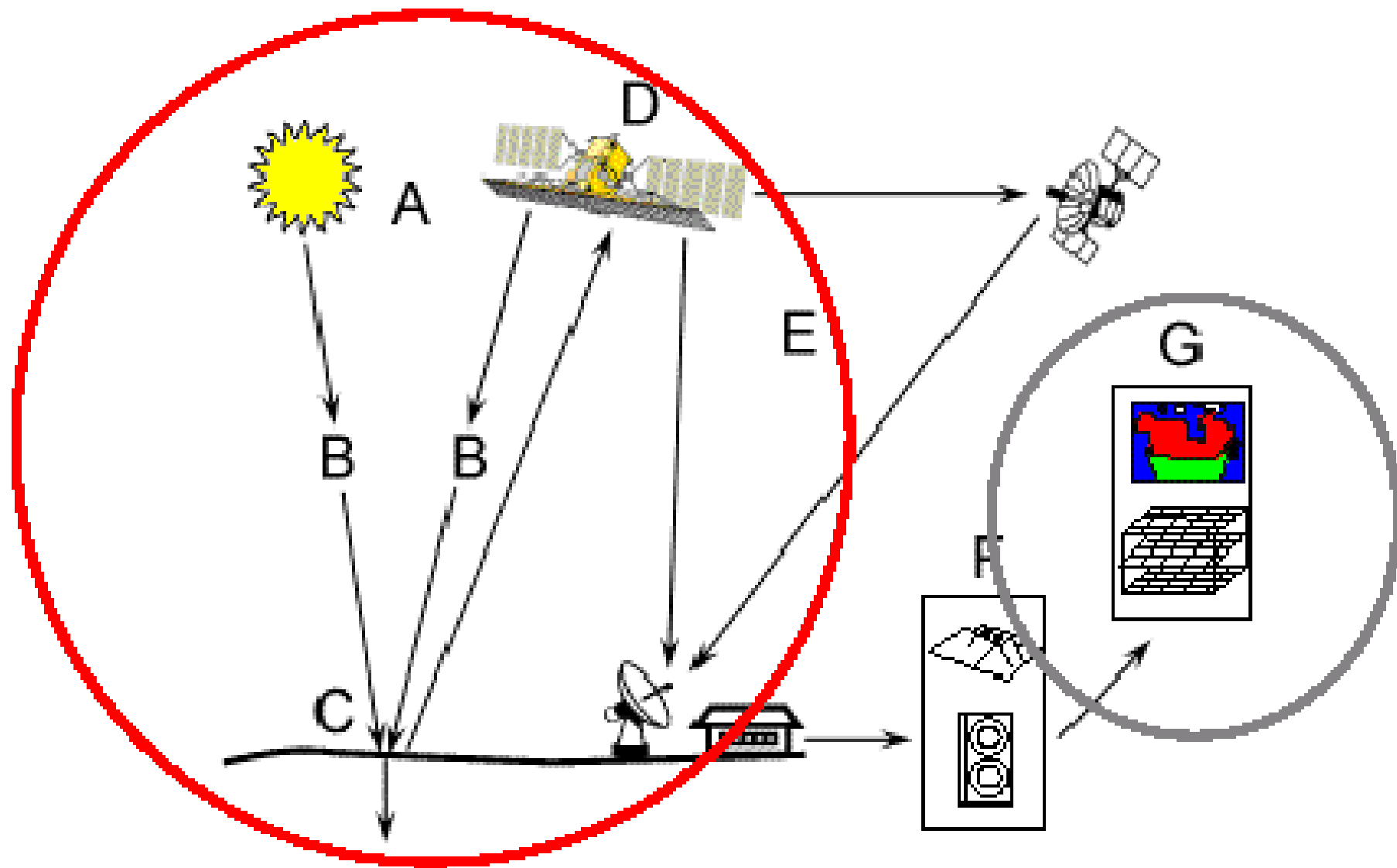
Principi fondamentali



Principi fondamentali



PROCESSO DEL TELERILEVAMENTO



La radiazione elettromagnetica

La **radiazione elettromagnetica** (Electromagnetic Radiation, EMR) è l'energia elettromagnetica in movimento che può essere intercettata solo quando interagisce con la materia. Essa viaggia in linea retta alla velocità della luce nel vuoto (299.292,8 Km/s) e a velocità lievemente inferiori nell'atmosfera.

Alla radiazione elettromagnetica può essere associata una doppia natura, risultando possibile descrivere la stessa in maniera indipendente come un'**onda** o una **particella** .

La radiazione elettromagnetica

Per la radiazione elettromagnetica si può definire una **lunghezza d'onda** λ , che è la distanza lineare tra due massimi successivi dell'onda, e una **frequenza** ν , che è data dal numero di massimi (o cicli) che passano per un fissato punto nell'unità di tempo (numero di cicli al secondo). Le due grandezze in questione sono legate alla velocità della luce c dalla relazione:

$$c = \nu\lambda$$

La radiazione come particella

Secondo l'altro modello interpretativo, l'EMR è costituita da particolari particelle denominate fotoni, in grado di trasferire energia alla velocità della luce ma, a differenza di protoni ed elettroni, privi di massa.

L'intensità della radiazione elettromagnetica è direttamente proporzionale al numero di fotoni presenti e il contenuto di energia in un fotone è legato alla frequenza e alla lunghezza d'onda dalla costante di Planck (h) con la relazione:

$$E = h\nu = hc/\lambda$$

dove risulta:

E = energia di un fotone in Joules

h = costante di Planck = $6,626 \times 10^{-34}$ J • s

Radiazione Elettromagnetica (EMR)

Onde elettromagnetiche

$$c = v\lambda$$

λ = lunghezza d'onda

v = frequenza

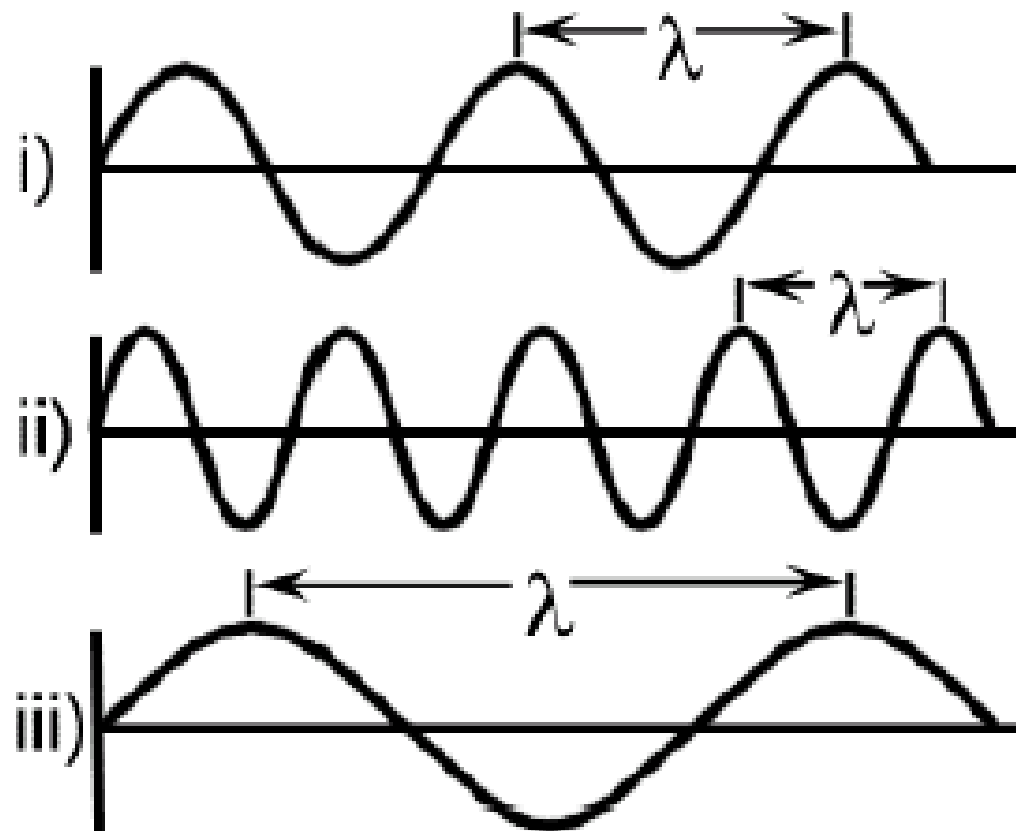
c = velocità della luce nel vuoto

Precisazioni

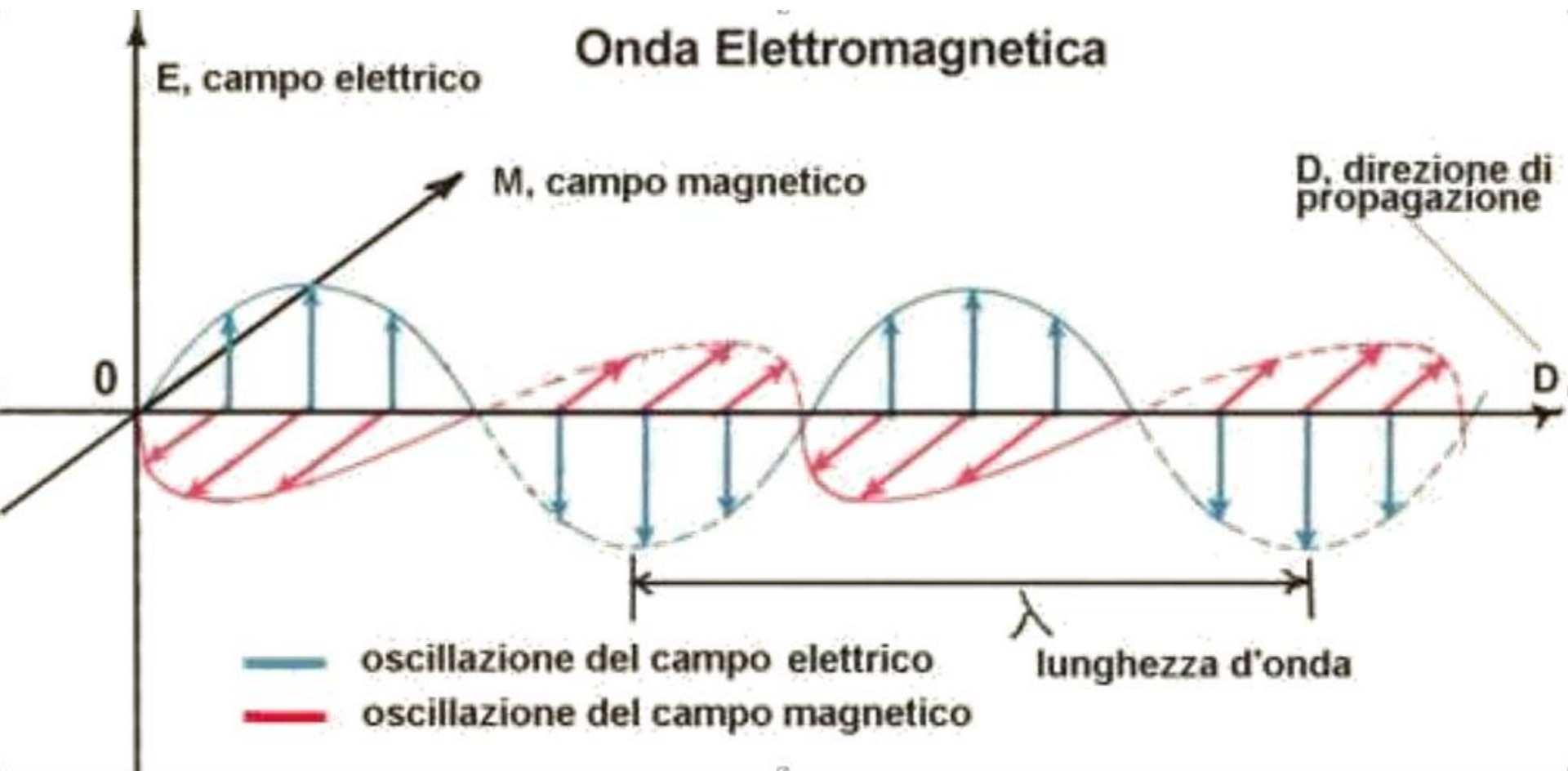
Il telerilevamento riguarda proprio l'utilizzo della radiazione elettromagnetica che proviene dalla superficie terrestre avendo quest'ultima ricevuto energia dal sole e da sorgenti artificiali, quali ad esempio i trasmettitori radar.

Poiché da oggetti differenti provengono differenti tipi e quantità di EMR, l'obiettivo che si persegue con il telerilevamento è l'individuazione di tali differenze con strumenti appropriati, così da permettere l'identificazione di un'ampia gamma di configurazioni e situazioni possibili.

Relazioni tra lunghezza d'onda (λ) e frequenza (ν)



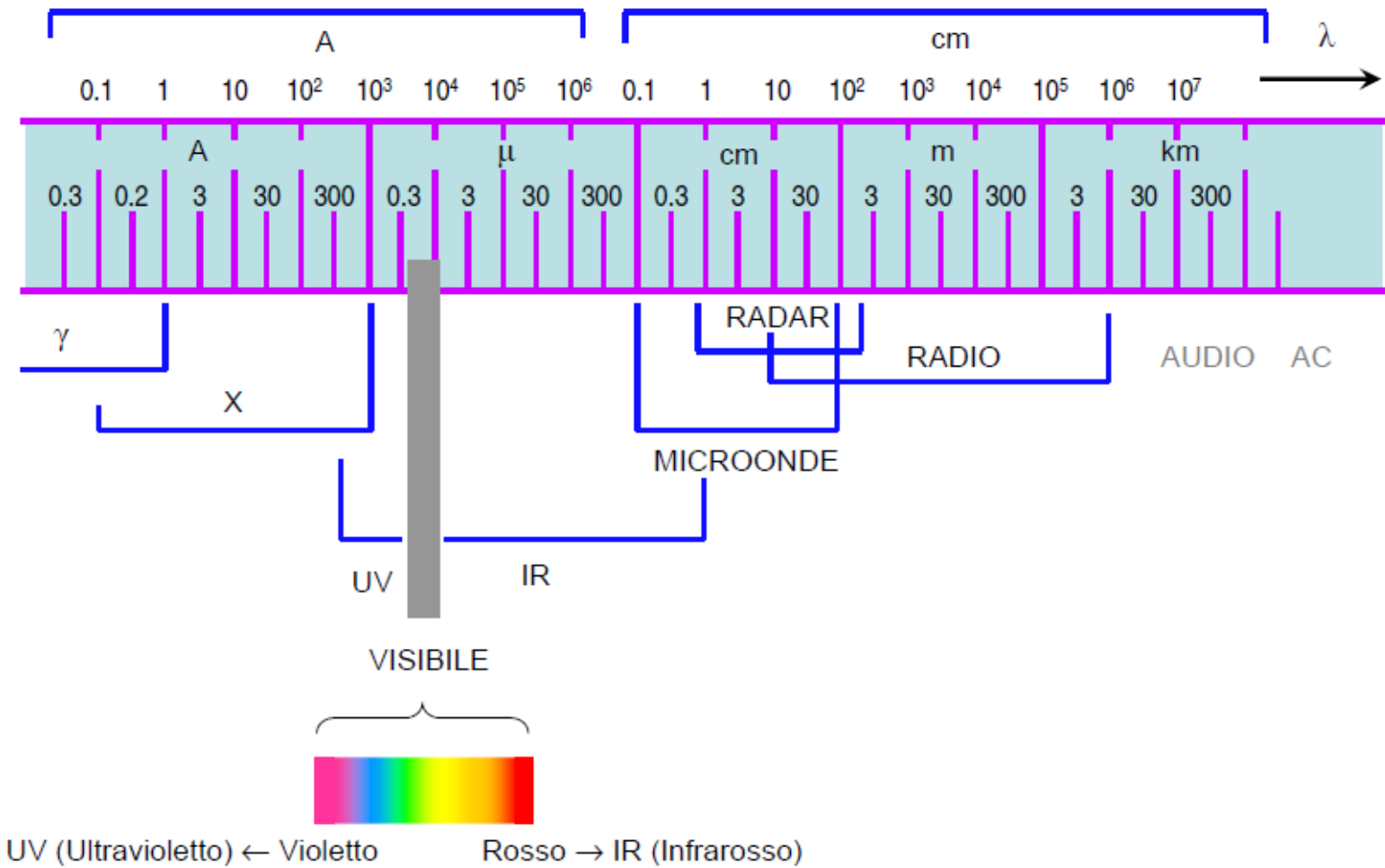
Onda Elettromagnetica



Spettro elettromagnetico

L'intera gamma delle radiazioni elettromagnetiche costituisce lo **spettro elettromagnetico**: tale spettro rappresenta un ***continuum***, ovvero un insieme ordinato di radiazioni in relazione alla lunghezza d'onda, alla frequenza o all'energia dei fotoni. Per il sole, lo spettro elettromagnetico va dai **raggi gamma** (basse lunghezze d'onda, alte frequenze ed alto contenuto di energia) alle **onde radio** (alte lunghezze d'onda, basse frequenze e basso contenuto d'energia). L'esatto confine di tale spettro (sia per le basse che per le alte lunghezze d'onda) non risulta determinato con precisione.

Lo spettro elettromagnetico



Spettro elettromagnetico

Al fine di ottenere un valido riferimento, il continuum dello spettro viene suddiviso in più parti chiamate **bande spettrali**, che possiedono caratteristiche simili. Una banda spettrale è a sua volta costituita da alcuni gruppi di linee spettrali, dove una linea rappresenta una singola lunghezza d'onda o frequenza.

Spettro elettromagnetico

Indicazioni sulle lunghezze d'onda e sulle frequenze vengono solitamente usati per definire le diverse bande dello spettro. Le lunghezze d'onda delle EMR variano dall'ordine dei chilometri per onde radio lunghe ai miliardesimi di centimetro per i raggi gamma.

L'intera gamma delle frequenze può essere espressa in **cicli per secondo** o hertz (Hz): in questa unità di misura si va dagli oltre 10^{20} Hz per i raggi gamma ai 10^{-25} Hz per le onde radio. Solitamente per le basse frequenze si fa riferimento ai megahertz (Mhz) ($1 \text{ Mhz} = 10^6 \text{ Hz}$) e per le alte frequenze ai gigahertz (GHz) ($1 \text{ Ghz} = 10^9 \text{ Hz}$)

Spettro Elettromagnetico

raggi γ	$\lambda < 10^{-4} \mu\text{m}$
raggi x	$10^{-4} < \lambda < 10^{-2} \mu\text{m}$
ultravioletto	$10^{-2} < \lambda < 0.4 \mu\text{m}$
visibile	$0.4 < \lambda < 0.7 \mu\text{m}$
infrarosso	$0.7 \mu\text{m} < \lambda < 1 \text{ mm}$
micro onde	$1 \text{ mm} < \lambda < 0.8 \text{ m}$
onde radio	$\lambda > 0.8 \text{ m}$

Banda del visibile

Tradizionalmente le regioni dello spettro elettromagnetico più comunemente usate per il telerilevamento sono quelle relative alla banda del **visibile** (o spettro visibile). Il campo delle lunghezze d'onda va da 0,4 a 0,7 μ m, limiti stabiliti in base alla sensibilità dell'occhio umano.

Una larga parte dell'energia solare raggiunge la parte superiore dell'atmosfera come “luce bianca”, termine che indica l'intera banda del visibile che non è stata ancora separata nelle sue componenti spettrali

Banda del visibile 2

Lo spettro visibile è anche considerato come la composizione di tre segmenti di uguale estensione che rappresentano i **colori primari**: blu ($0,4-0,5\mu\text{m}$), verde ($0,5-0,6\mu\text{m}$) e rosso ($0,6-0,7\mu\text{m}$). Un colore primario è l'unico che non può essere ottenuto da altri colori: tutti i colori percepiti dall'occhio umano possono essere prodotti dalla combinazione opportuna della luce rappresentante i tre primari.

Il colore

Il COLORE è l'effetto visivo che crea la EMR incidente sulla retina dell'occhio. L'uomo è sensibile al range spettrale compreso tra 0.4 e 0.7 μ (Visibile).

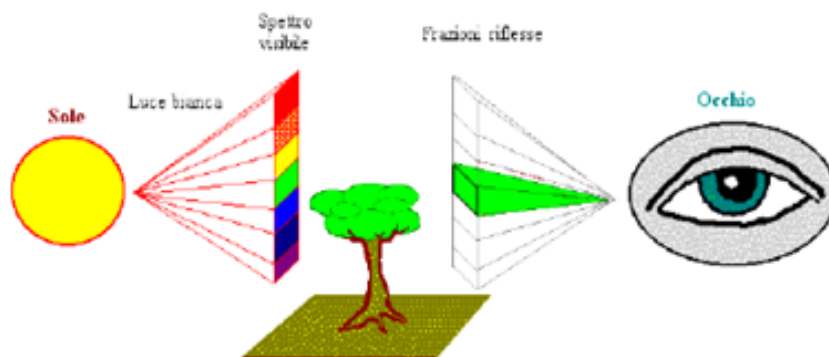
Processo acromatico:

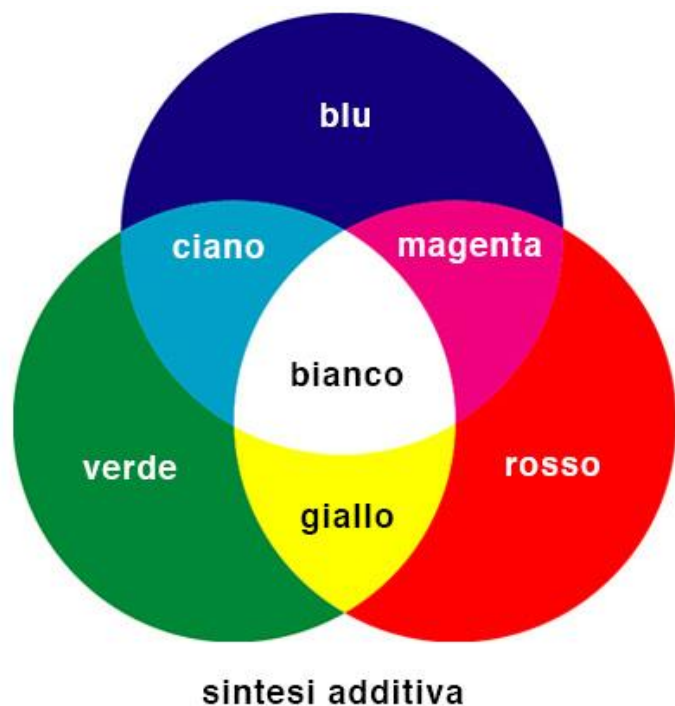
solo la luminosità cumulativa dell'oggetto o le variazioni di intensità luminosa vengono percepite (immagini b/n o a toni di grigio).

Processo cromatico:

le relative intensità di differenti lunghezze d'onda vengono composte e percepite (visione a colori).

Riflessione dei colori





L'occhio umano, così come i monitor del PC o il televisore operano in sintesi additiva: l'immagine a colori è la composizione di minuscoli punti (o linee) luminosi formati dai colori primari, mescolati secondo il principio della sintesi additiva.

Nella sintesi additiva i colori blu, verde e rosso sono chiamati additivi primari, e quando i tre colori sono sovrapposti l'effetto visivo è il bianco. Le diverse combinazioni dei tre colori primari possono essere utilizzate per produrre gli altri colori. Il giallo, il ciano ed il magenta sono chiamati colori complementari del blu, verde e rosso.



Sintesi additiva

Valore del pixel			Colore visualizzato
Red	Green	Blue	
255	000	000	<i>Rosso</i>
000	255	000	<i>Verde</i>
000	000	255	<i>Blu</i>
255	255	000	<i>Giallo</i>
255	127	000	<i>Arancione</i>
127	000	127	<i>Viola</i>
255	255	255	<i>Bianco</i>
127	127	127	<i>Grigio medio</i>
000	000	000	<i>Nero</i>

Interazione onde-superficie

Legge o principio di Kirchhoff

Legge conservazione dell'energia

$$E_i(\lambda) = E_t(\lambda) + E_r(\lambda) + E_a(\lambda)$$

$E_i(\lambda)$ = energia incidente

$E_t(\lambda)$ = energia trasmessa

$E_r(\lambda)$ = energia riflessa

$E_a(\lambda)$ = energia assorbita

Interazione energia-superficie

En. incidente = En. riflessa + En. assorbita + En. trasmessa

Le diverse quantità di energia dipendono da λ e consentono di discriminare le diverse superfici.

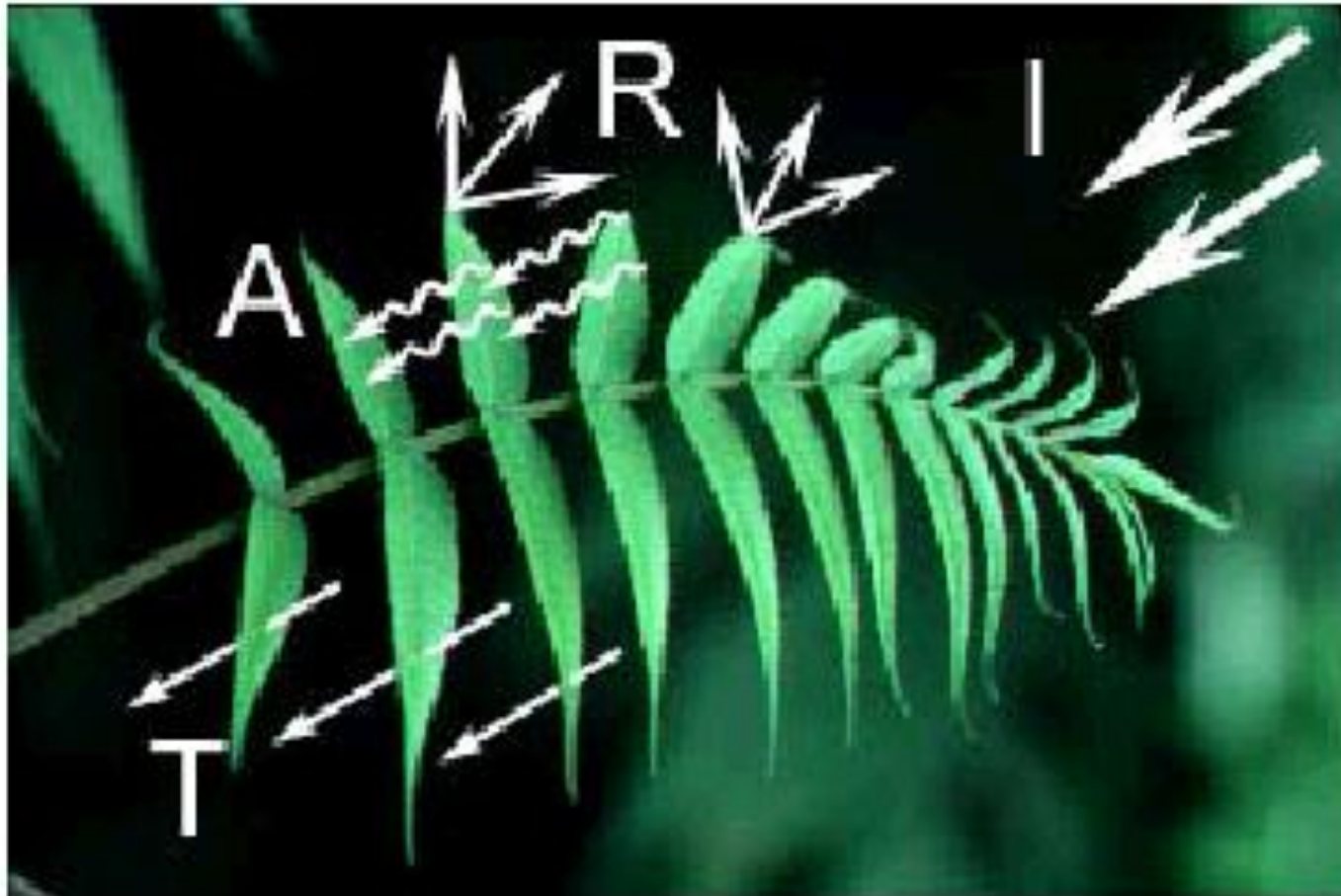
Coeff. di riflessione: $\rho(\lambda) = \frac{en.riflessa(\lambda)}{en.incidente(\lambda)} \quad 0 \leq \rho(\lambda) \leq 1$

Coeff. di assorbimento: $\alpha(\lambda) = \frac{en.assorbita(\lambda)}{en.incidente(\lambda)} \quad 0 \leq \alpha(\lambda) \leq 1$

Coeff. di trasmissione: $\tau(\lambda) = \frac{en.trasmessa(\lambda)}{en.incidente(\lambda)} \quad 0 \leq \tau(\lambda) \leq 1$

Per il principio di conservazione dell'energia: $\rho(\lambda) + \alpha(\lambda) + \tau(\lambda) = 1$

Interazione EMR con Materia



A= energia assorbita e/o emessa

R= energia riflessa

T= energia trasmessa

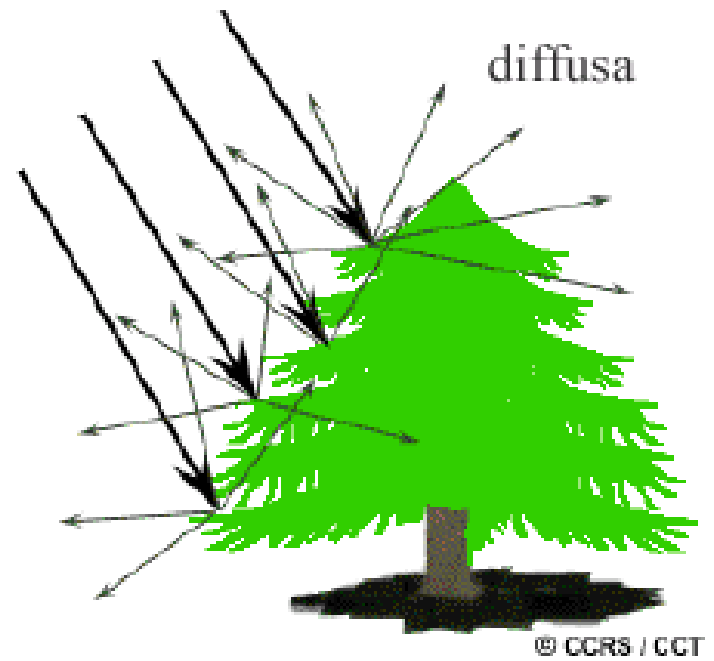
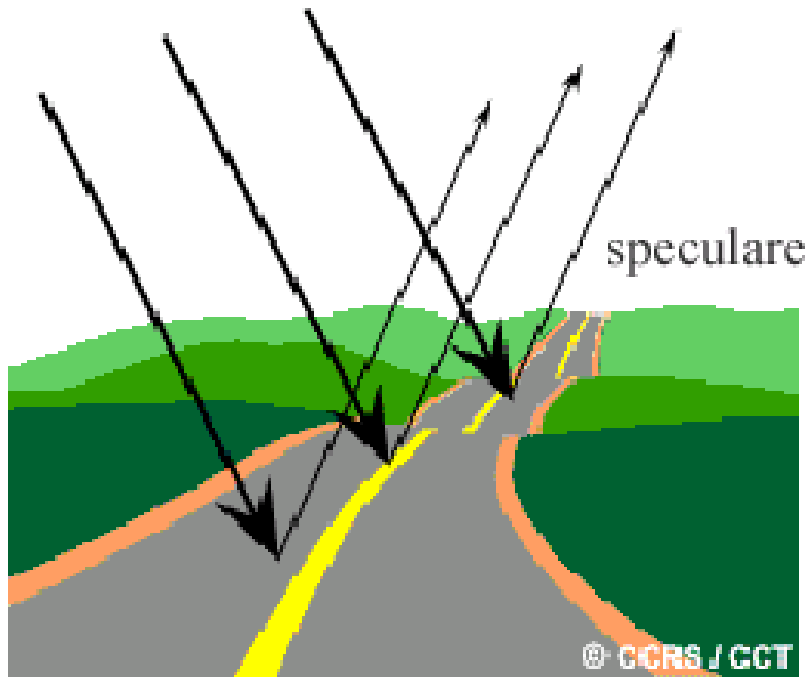
I= energia incidente

Riflessione

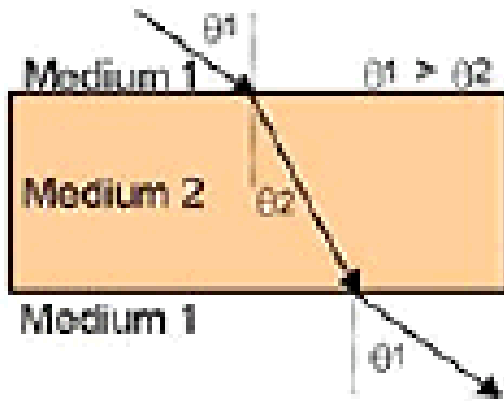
speculare

diffusa (scattering)

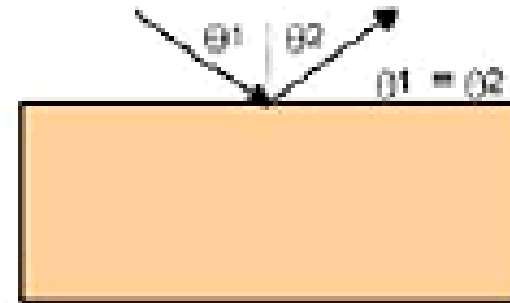
quando una superficie riflette nello stesso modo in tutte le direzioni è definita *superficie Lambertiana*



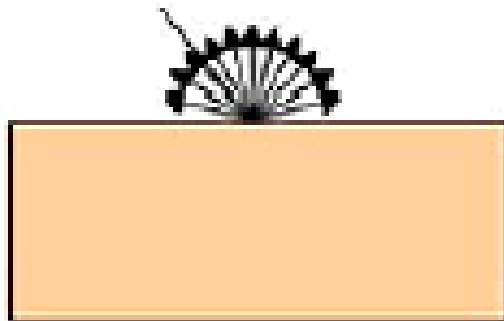
Transmission



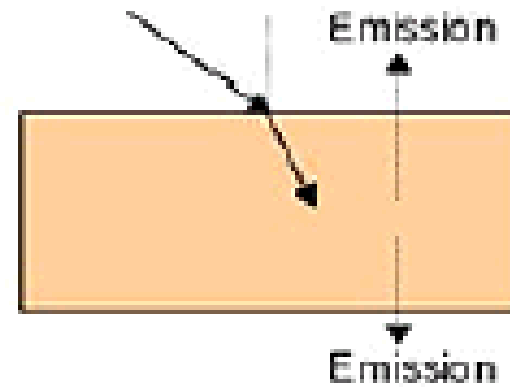
Reflection



Scattering



Absorption



PARAMETRI FISICI

$$\rho = \text{riflettanza} = E_r/E_i$$

$$\tau = \text{trasmittanza} = E_t/E_i$$

$$\alpha = \text{assorbanza} = E_a/E_i$$

Albedo - rapporto tra energia solare riflessa rispetto a quella incidente integrata su tutto lo spettro.

E_i = en. incidente, E_r = en. riflessa, E_t = en. trasmessa, E_a = en. assorbita,

ALBEDO di alcune superfici

Terra		Albedo (%)
	<i>spettro totale</i>	35
	<i>spettro visibile</i>	39
Nubi (strati)		
	<i><200 m spesse</i>	5 - 65
	<i>200-1000 m spesse</i>	30 - 85
Neve		
	<i>fresca</i>	75 - 90
	<i>vecchia</i>	45 - 70
Sabbia		
	<i>chiara</i>	35 - 40
Suolo		
	<i>chiaro, desertico</i>	25 - 30
	<i>scuro, agricolo</i>	5 - 15
Vegetazione		
	<i>prato</i>	5 - 30
	<i>cespugli</i>	5 - 15
	<i>foresta</i>	5 - 10
Rocce		
	<i>calcare</i>	36
	<i>granito</i>	31
	<i>Lava Etna</i>	16
Acqua		
	<i>sun el. 90°</i>	2
	<i>sun el. 60°</i>	2.2
	<i>sun el. 30°</i>	6
	<i>sun el. 10°</i>	35.8
	<i>sun el. 05°</i>	60
	<i>sun el. < 3°</i>	> 90
Edificato		
	<i>riflettanza</i>	6 - 20

da Gupta 1991

CORPO NERO

corpo che assorbe ed emette tutte le lunghezze d'onda dello spettro EMR senza riflessione.

Si parla Emissività (ϵ) di un corpo per indicare il rapporto fra la radianza effettivamente emessa dal corpo e quella che, a pari temperatura, emetterebbe un corpo nero.

$$\epsilon = \text{emissività} = E_e(T^\circ) / E_{bb}(T^\circ)$$

$E_e(T^\circ)$ = en. emessa a temp. T° , $E_{bb}(T^\circ)$ = en. emessa a temp. T° da corpo nero

Un oggetto che assorbe bene emette bene (legge di Kirchoff $a_\lambda = \epsilon_\lambda$)

definiamo

a_λ assorbanza spettrale e ϵ_λ emissività spettrale

corpo nero $a_\lambda = \epsilon_\lambda = 1$

corpi naturali $a_\lambda = \epsilon_\lambda < 1$

Si dice corpo grigio un corpo con $\epsilon_\lambda < 1$ ma costante per tutte le lunghezze d'onda, i corpi naturali non si comportano come corpi grigi.

		emissività (ϵ)
		8 - 14 μm
Dolomite	<i>s. ruvida</i>	0.96
	<i>s. liscia</i>	0.93
Basalto	<i>s. ruvida</i>	0.95
	<i>s. liscia</i>	0.92
Granito		0.9
Dunite		0.89
Ossidiana		0.86
Cemento		0.94
Asfalto		0.90 - 0.98
Acqua	<i>distillata</i>	0.99
	<i>naturale</i>	0.92 - 0.96
Olio	<i>film</i>	0.97
Ghiaccio		0.96 - 0.98
Neve		0.83 - 0.85
Suolo		0.92 - 0.96
Sabbia		0.9
Erba		0.97
Conifere		0.97
V. decidua		0.95
Vernice	<i>scura</i>	0.98
	<i>chiara</i>	0.9
Vetro		0.90 - 0.95

da Avery and Berlin 1985

Legge di Planck

radianza (o eccitanza) spettrale, cioè la quantità di energia emessa per unità di superficie e per unità di intervallo di lunghezza d'onda da un corpo nero che si trovi ad una temperatura assoluta T è data da:

$$E(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} W * m^{-2} * \mu m^{-1}$$

Legge di Planck

$$C_1 = 2\pi^5 h c^2 = 3.7415 \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^4$$

$$C_2 = hc/K$$

Essendo K la costante universale di Boltzmann definita dalla relazione

$$E_c = \frac{3}{2} K T$$

tra l'energia cinetica media di un singolo atomo e la sua temperatura assoluta T , e pari a $1,381 \cdot 10^{-23}$ joule/°K.

Pertanto sostituendo h e K in C_2 , si ha:

$$C_2 = 1.4383 \cdot 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{°K}$$

Legge di Planck

La costante h , detta proprio costante di Planck, è universale e vale:

$$h = 6,62517 \cdot 10^{-34} \text{ joule} \cdot \text{sec} = 6,62517 \cdot 10^{-34} \text{ W} \cdot \text{sec}^2$$

La legge di Stefan – Boltzmann

Per conoscere l'energia totale emessa da un corpo nero a temperatura T , è necessario integrare la radianza ricavata da Planck in funzione di λ :

$$E(T) = \int_0^{\infty} E(\lambda, T) d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} d\lambda = \frac{C_1}{15} \left(\frac{\pi}{C_2} \right) T^4 = \sigma T^4$$

in cui σ è la cosiddetta costante universale di Stefan-Boltzmann pari a $5.669 \cdot 10^{-8} \text{ W cm}^{-2} \text{ K}^{-4}$..

La legge di Stefan – Boltzmann

Secondo tale legge quindi, la quantità totale di energia emessa da un corpo nero che si trovi ad una temperatura T è proporzionale alla quarta potenza della sua temperatura ed è rappresentata proprio dall'area sottesa dalla curva relativa a quella temperatura.

La legge di Wien

Altra legge fondamentale è quella di Wien (1893), per cui la lunghezza d'onda corrispondente al massimo di emissione della legge di Planck decresce al crescere della temperatura delle superfici emittenti.

Il punto di massima emissione λ_{\max} si può ottenere imponendo che si annulli la derivata prima della $E(\lambda, T)$ rispetto a λ . Sviluppando si ottiene:

$$\lambda_{\max} = \frac{a}{T}$$

Legge di Wien

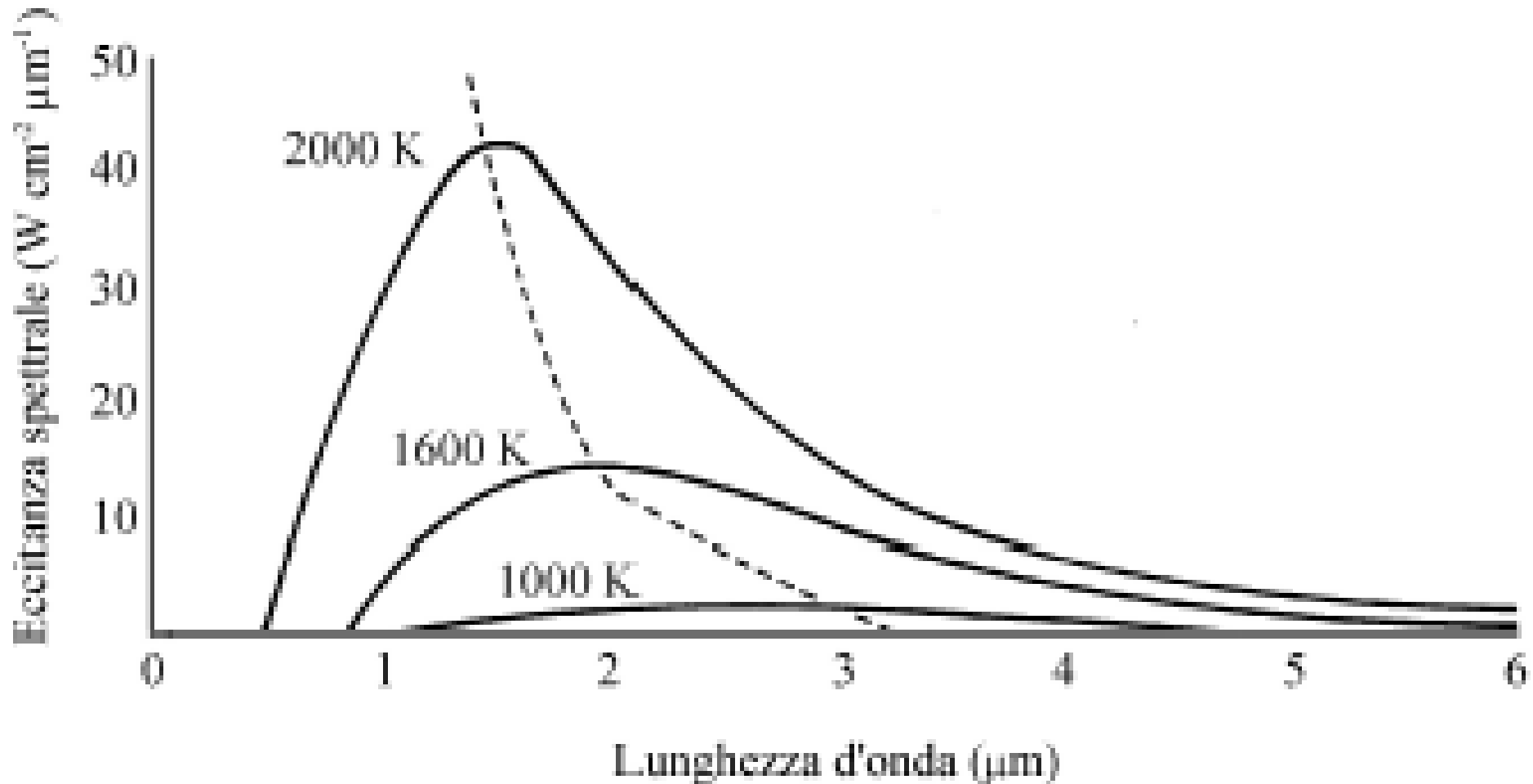
essendo $a = 2898\mu\text{m} \cdot \text{°K}$, avremo:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2898}{T}$$

con λ espresso in micron e T espressa in gradi Kelvin.

Ossia la massima emissione si ha ad una lunghezza d'onda inversamente proporzionale alla temperatura. Perciò la lunghezza d'onda dominante si sposta verso le regioni più corte man mano che cresce la temperatura del corpo nero

Legge di Wien



Eccitanza spettrale e lunghezza d'onda in funzione della temperatura

Legge di Wien

Nel campo del visibile al crescere della temperatura l'emissione si sposta dalle lunghezze d'onda più alte (corrispondenti al rosso) verso quelle più basse (corrispondenti al blu-viola) e l'insieme appare perciò sempre più bianco.

Ad esempio il Sole, che ha una temperatura apparente di corpo nero di circa 6000 K, ha il suo massimo di emissione attorno a 0.5 micron (luce giallo-verde nel visibile), mentre i corpi a temperatura ambiente (attorno a 300 K) emettono intorno ai 10 micron (infrarosso termico).

Corpi reali

Solitamente i corpi con cui si opera non sono neri visto che riescono a riflettere sempre una quantità di energia, seppure minima. Per questo motivo il coefficiente di assorbimento α è sempre minore dell'unità.

In queste condizioni un corpo reale che ha una certa temperatura assoluta T emette radiazioni $E_s(\lambda, T)$ con la medesima distribuzione di energia $E(\lambda, T)$ del corpo nero ma con valori tutti ridotti in un certo rapporto $\varepsilon < 1$:

$$E_s(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda) * E(\lambda, T)$$

Corpi reali

Il coefficiente $\varepsilon(\lambda)$ si chiama **emissività spettrale** e si definisce come il rapporto, per ciascun intervallo dello spettro, fra la radianza $E_s(\lambda, T)$ emessa dal corpo e quella $E(\lambda, T)$ che alla stessa temperatura emetterebbe il corpo nero:

$$\varepsilon(\lambda) = E_s(\lambda, T) / E(\lambda, T) \quad \text{con } \varepsilon(\lambda) < 1$$

Corpi reali

Volendo considerare l'emissività media ε relativa all'intero spettro e riprendendo la legge di Stefan – Boltzmann (eq. (A 8)), avremo che la radianza totale emessa da un qualunque corpo caratterizzato da un'emissività ε sarà data da:

$$E_s(\text{tot}) = \varepsilon * E(T) = \varepsilon * \sigma * T^4$$

Corpi reali

Kirchhof dimostrò (1860) anche che:

$$\alpha = \varepsilon$$

cioè che un buon radiatore è anche un buon assorbitore.

Perciò l'equazione di Kirchhof diventa:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$