



Alma Mater Studiorum
Il Facoltà di Ingegneria

Radiazione solare ed efficienza energetica in ambiente urbano

docente: Vittorio Degli Esposti

Informazioni sulla lezione

- Lucidi disponibili al sito:
<http://www.elettra2000.it/vdegliespsti>
- Si consiglia comunque di prendere appunti

Contenuto

0 INTRODUZIONE - PANORAMICA GENERALE

I ONDE ELETTROMAGNETICHE E RADIAZIONE SOLARE

II INTERAZIONE CON LA MATERIA

III RADIAZIONE SOLARE E AMBIENTE URBANO

**IV UN METODO PER LA VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA
ENERGETICA DI UN' AREA URBANA - ESEMPI**

Introduzione - Panoramica generale

Definizioni: potenza ed energia

I consumi energetici

Fonti energetiche: la radiazione solare

Energia e aree urbane

Problematiche ambientali, effetto serra, riscaldamento globale, isola di calore

Potenza ed energia

- **Forza:** Newton [N] ~ forza di gravità di una massa di un etto
- **Energia:** Joule [J] $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$ (=lavoro)
 $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$
- **Energia (II):** Tonnellata Equivalente di Petrolio [TEP] ~ 42 GJ
(energia rilasciata dalla combustione di una tonnellata di greggio)
- **Energia termica** Caloria [Cal] ~ 4.2 J
(energia x scaldare 1 g di acqua di 1 ° C)
- **E. termica (II)** [BTU] ~ 1 055 J (252 Cal)
(energia x scaldare 1 pound (0.454 kg) di acqua di 1 F)
- **Potenza:** Watt [W]
- 1 kilo Watt-ora [kW-h] è l'energia corrispondente ad 1 kW per la durata di 1 ora = 3.6 MJ (Mega Joules)

Come riferimento

Una **TEP** corrisponde all'incirca al consumo elettrico di una famiglia italiana in un anno

Una Tonnellata di CO₂ [**TCO₂**] è la misura delle emissioni di anidride carbonica

In genere bruciando 1 TEP si producono 2-3 TCO₂

Una TCO₂ corrisponde all'incirca alle emissioni di un'automobile di medie dimensioni per una percorrenza di 7000 km

Una TCO₂ corrisponde all'incirca all'assorbimento di 1300 m² di foresta in un anno

Energia solare e consumi

Potenza irradiata sulla terra: 174 PW (PetaWatt, $10^{15}W$) di cui il 30% riflesso indietro

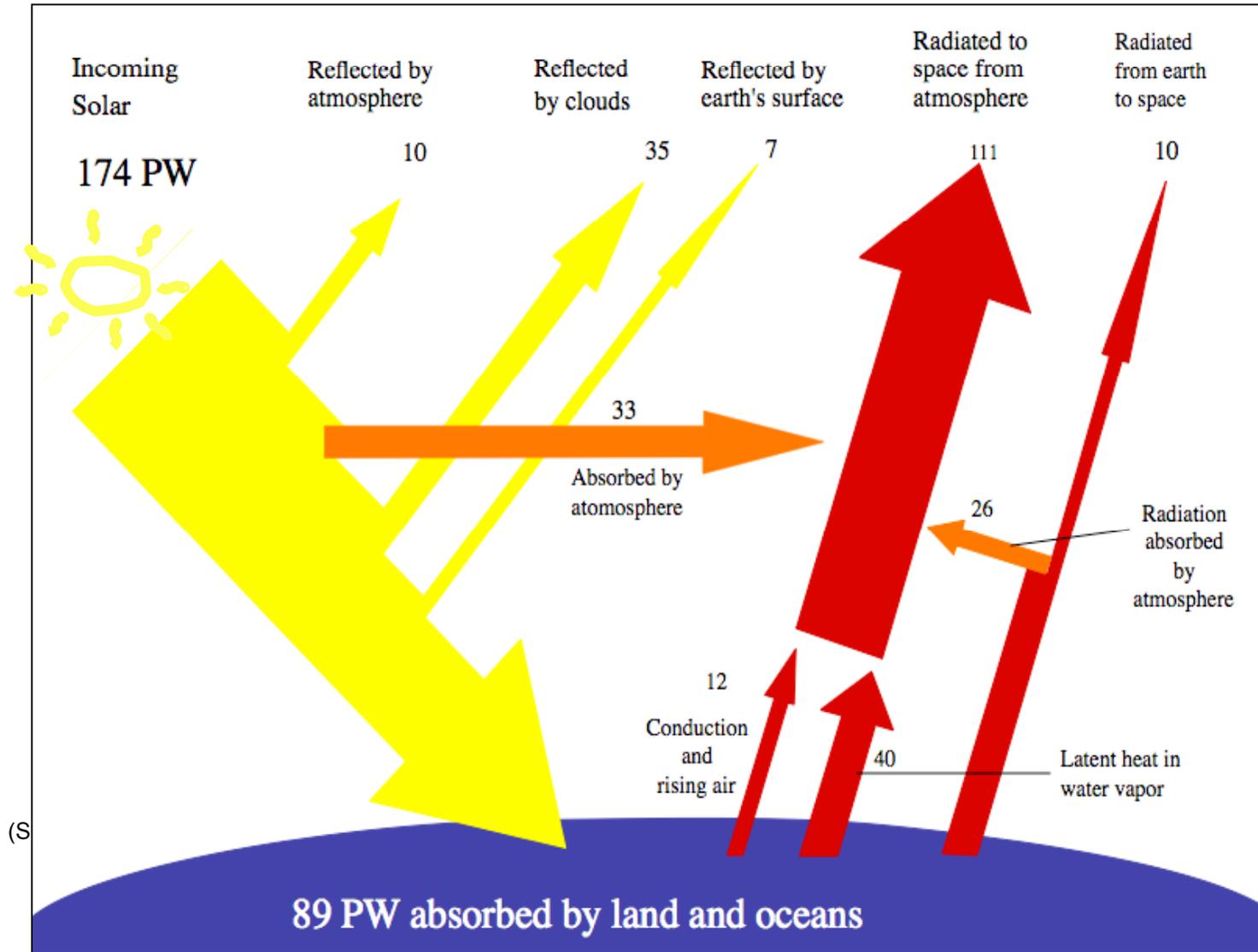
Energia in un anno: 5.5×10^{24} J

Consumi mondo 4.7×10^{20} J in 2008 (80-90% da combustibili fossili)

Quindi il sole irradia sulla terra 11000 volte l'energia necessaria all'uomo

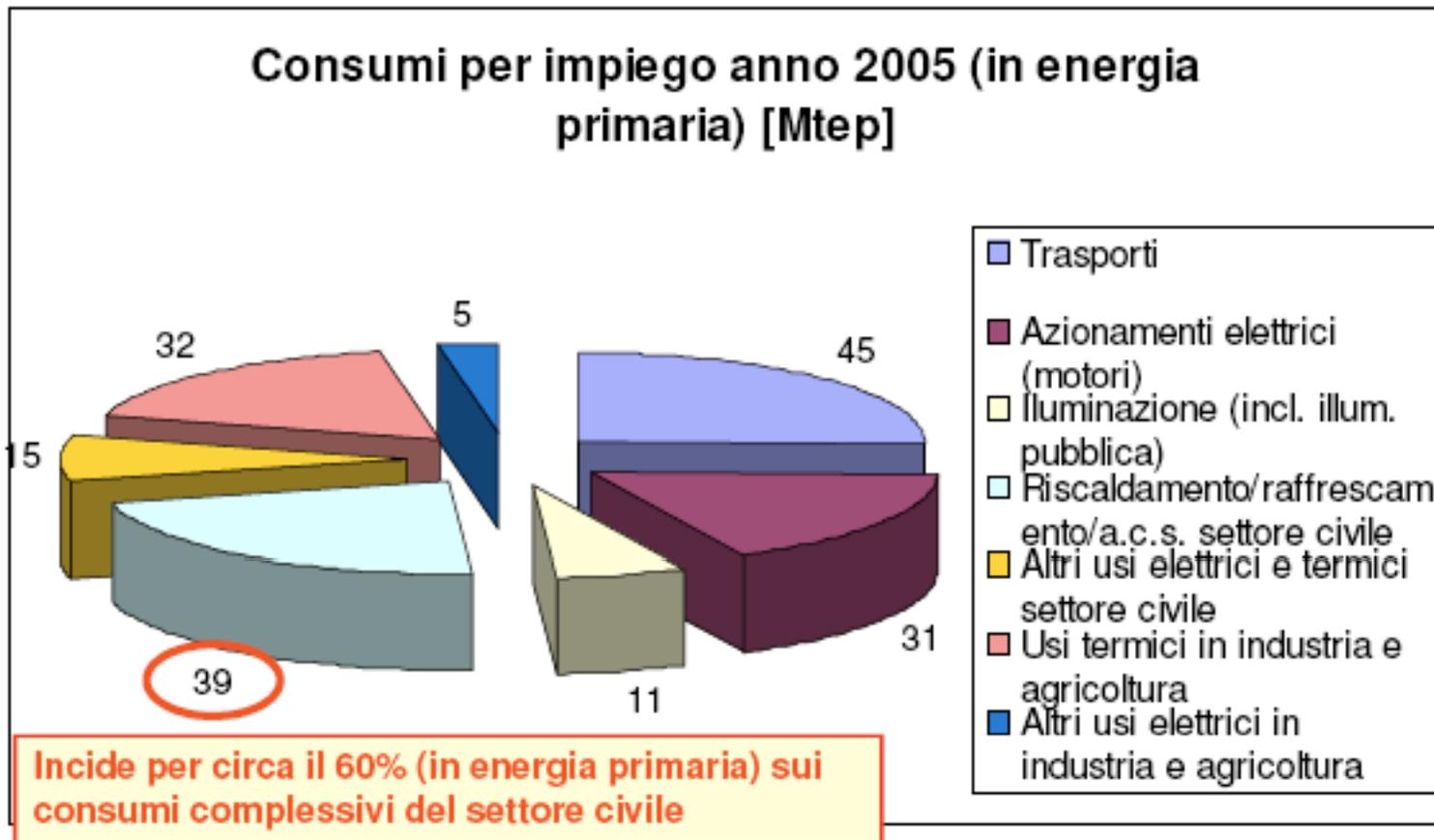
Non tutta è sfruttabile...

Energia solare (II)



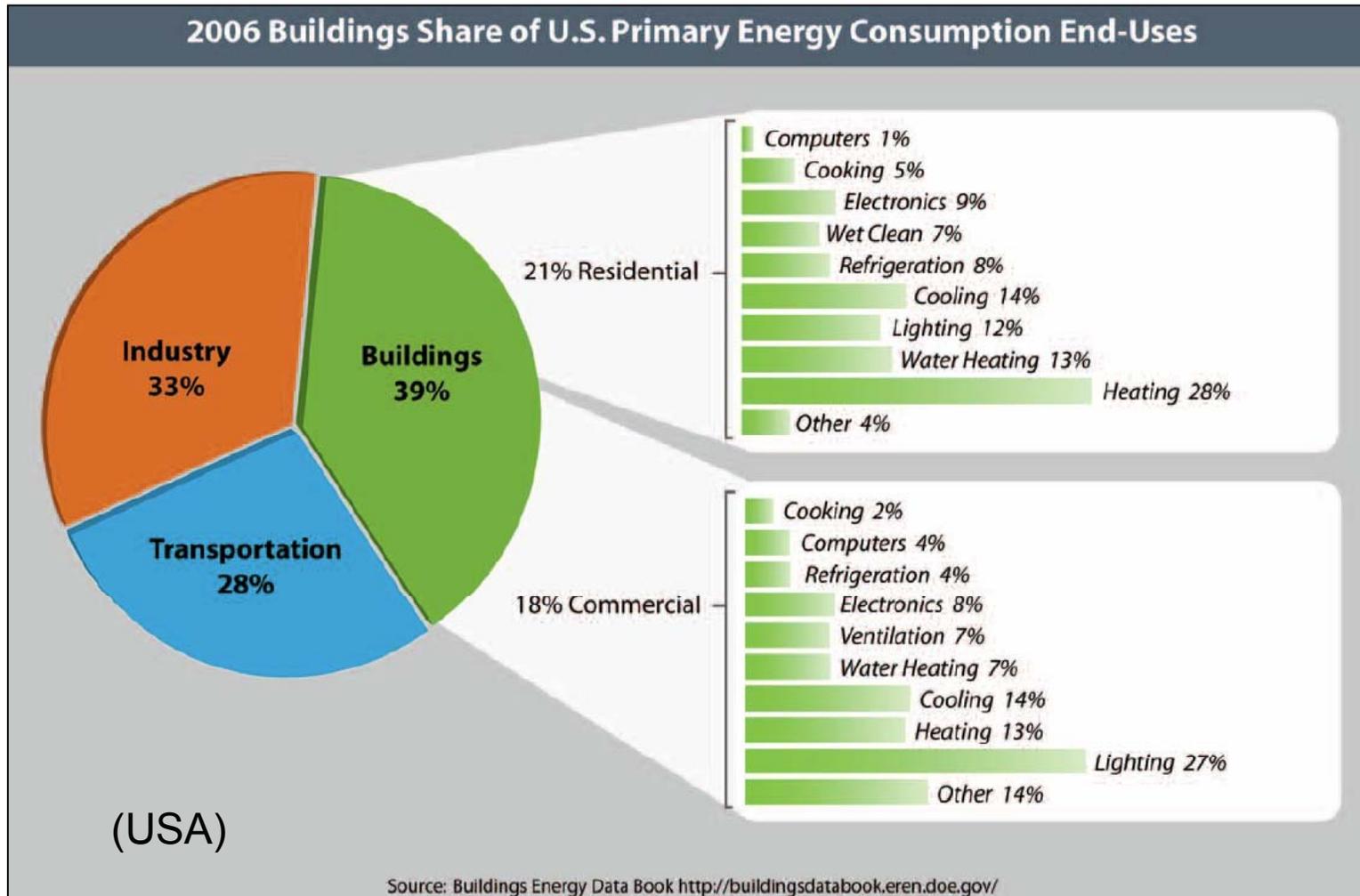
Pero' anche solo sfruttando i deserti senza antartide e polo ($\sim 26 \times 10^6 \text{ km}^2$) si avrebbe:
 $\sim 10 \times 10^{12} \text{ W}$,
 quindi in un anno $4 \times 10^{23} \text{ J}$,
centinaia di volte il fabbisogno!

Consumi energetici (I)



(Italia)

Consumi energetici (II)



Negli USA il 10% circa dell' energia primaria (il 20% di quella elettrica) è impiegata nel condizionamento (raffrescamento) !

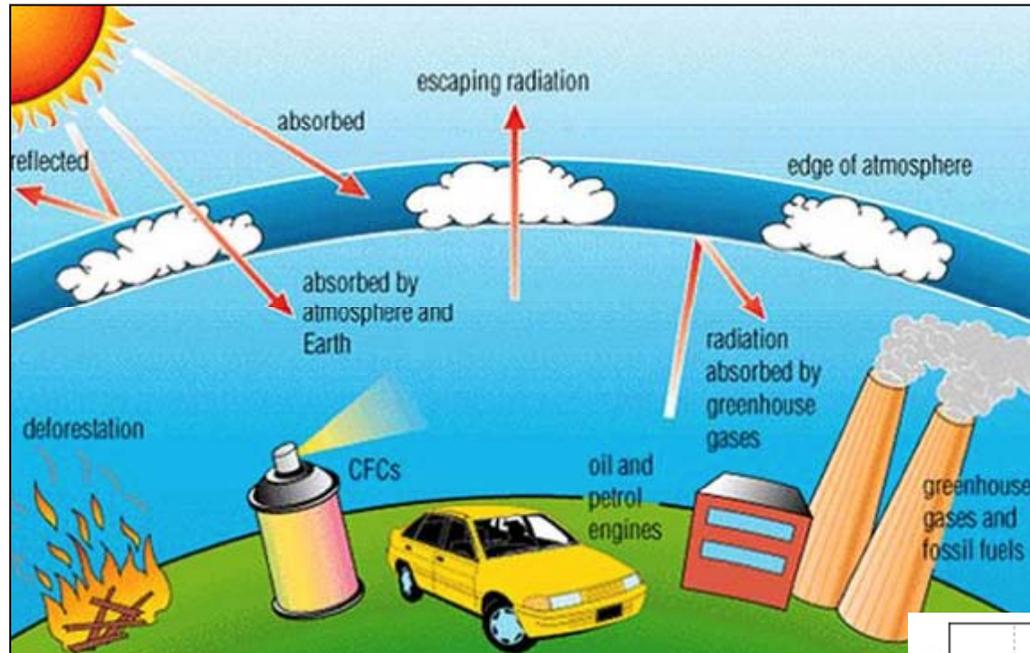
Consumi energetici ed aree urbane

- Ormai più del 50% della popolazione mondiale vive nelle aree urbane, il 75% in Europa !
- Le aree urbane occupano ormai il 2.5% di tutte le terre emerse e il 10% del suolo utile in Europa
- In Lombardia: 13,7% del suolo totale e si ha una crescita di 10,2 ha al giorno! (prevalentemente a scapito di aree agricole ad elevato valore agronomico)
- Nelle aree urbane si consuma il 75% dell' energia complessiva

San Paolo, Brasile: 25 milioni di abitanti

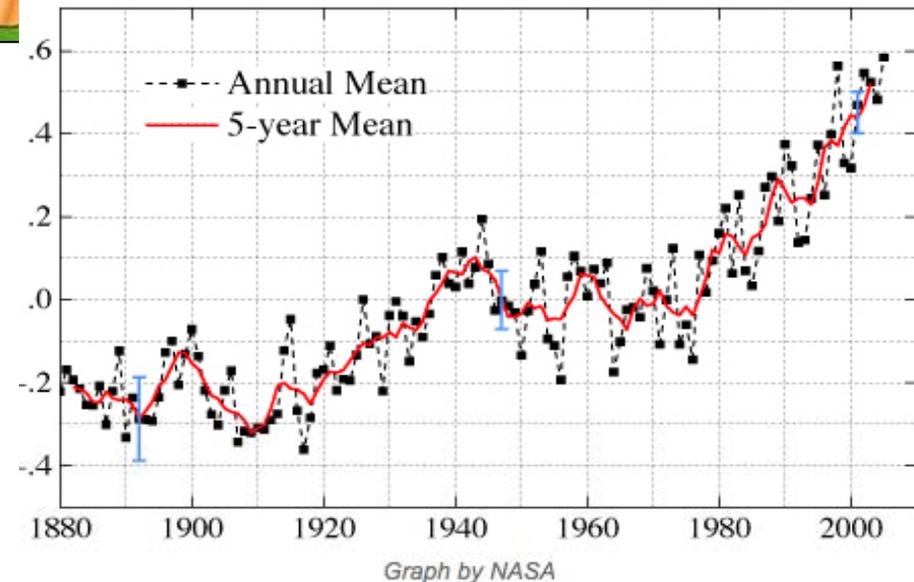


Consumi energetici ed effetto serra (I)



- La produzione di energia da combustibili fossili (combustione) produce CO₂, cioè gas serra
- Il contrario della combustione è la fotosintesi in cui la pianta “fissa” il CO₂ nelle fibre vegetali e nel legno

- L'effetto serra sta portando ad un aumento relativamente veloce della temperatura globale



Composizione dell' atmosfera

ppmv: parts per million by volume

Composition of dry standard atmosphere, by volume (sea level)

Gas	Volume
<u>Nitrogen</u> (N ₂)	780,840 ppmv (78.084%)
<u>Oxygen</u> (O ₂)	209,460 ppmv (20.946%)
<u>Argon</u> (Ar)	9,340 ppmv (0.9340%)
<u>Carbon dioxide</u> (CO ₂)	383 ppmv (0.0383%)
<u>Neon</u> (Ne)	18.18 ppmv
<u>Helium</u> (He)	5.24 ppmv
<u>Methane</u> (CH ₄)	1.745 ppmv
<u>Krypton</u> (Kr)	1.14 ppmv
<u>Hydrogen</u> (H ₂)	0.55 ppmv
Not included in above dry atmosphere:	
<u>Water vapor</u> (H ₂ O)	typically 1% to 4% (highly variable)

Standard atmosphere

Pressure: 1013 hPa

Temperature: 15 ° C

Humidity: 7.5 g/m³ (1%)

Consumi energetici ed effetto serra (II)

- La concentrazione di CO₂ è cresciuta da 280 fino a 384 ppmv (0.038% in vol.), quasi 40 % in più rispetto al 1800 !!
- La concentrazione di ossigeno è leggermente calata in percentuale (ma su valori assoluti molto maggiori) rispetto ai valori pre-industriali
- Ormai è chiaro che queste variazioni sono dovute all' attività umana post-industriale
- I consumi energetici, e quindi le emissioni di CO₂, sono in crescita quasi ovunque e soprattutto nei paesi emergenti
- Il riscaldamento globale rischia di scongelare ampie fasce di permafrost in Siberia e Canada, liberando metano ed innescando un circolo vizioso

Come ridurre i consumi (metodi tradizionali)

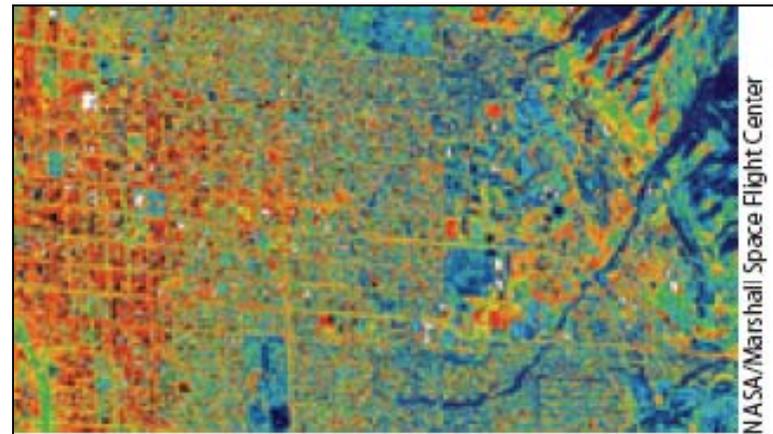
- Protocollo 20-20-20 del 2008: ridurre del 20% le emissioni di CO₂, aumentare del 20% l'efficienza energetica e incrementare del 20% la quota di energie rinnovabili entro il 2020
- Principali metodi proposti:
 - Miglioramento efficienza macchine (automobili, motori elettrici, macchine termiche ecc.)
 - Cogenerazione
 - Efficienza energetica degli edifici
 - Energie rinnovabili (solare, eolico, ecc.)
 - Valorizzazione rifiuti e biomasse
 - Ottimizzazione trasporti
 - Aumento delle aree verdi

Come ridurre i consumi (metodi innovativi)

- L' ambiente è un *organismo unitario* (non compartimenti stagni!)
- Si hanno interazioni fra diversi fattori o elementi che hanno forte impatto sulla efficienza energetica complessiva
- Si è definito lo studio interdisciplinare di tali interazioni **GEO-INGEGNERIA**, che comprende anche tecniche per intervenire
- A volte le interazioni creano cicli a retroazione positiva che creano picchi fortissimi di consumo energetico o di emissioni serra.

Esempio:

Isola di calore urbana
(Urban heat island)



Isola di calore urbana



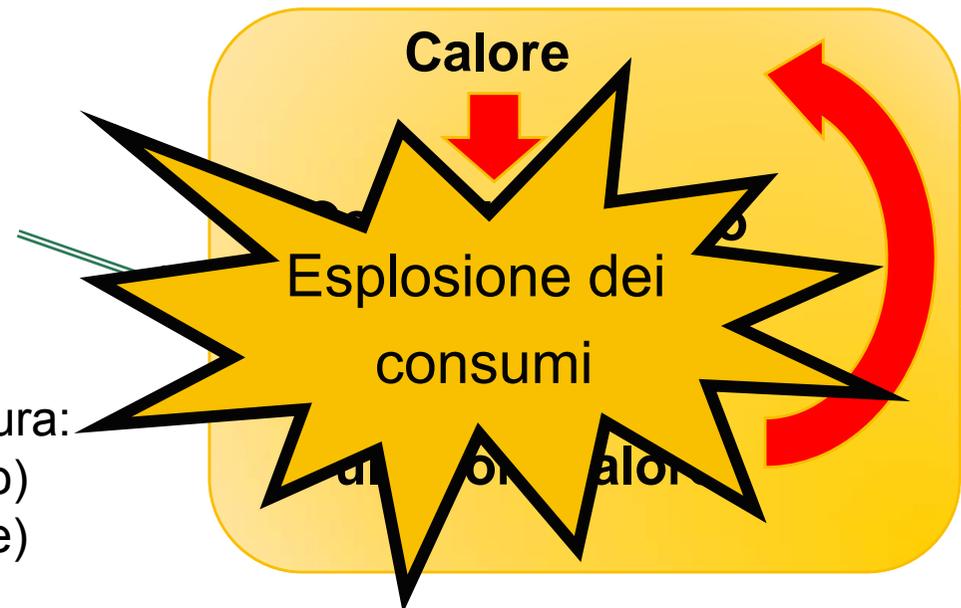
Cambiamento del paesaggio:

- Strade ed edifici
- Automobili
- Impermeabilizzazione delle superfici
- Condizionatori → Retroazione Positiva



Fenomeno di innalzamento della temperatura:

- +1-3° C rispetto alle zone rurali (di giorno)
- +7-12° C rispetto alle zone rurali (di notte)



Nel seguito....

- Elementi di base su onde elettromagnetiche e radiazione solare
- Breve approfondimento dei fenomeni di interazione fra radiazione solare e ambiente urbano
- Breve approfondimento dell' Isola di Calore Urbana
- Cenni su come valutare l' efficienza energetica di un' area urbana e su come intervenire per migliorarla

Onde Elettromagnetiche e Radiazione Solare

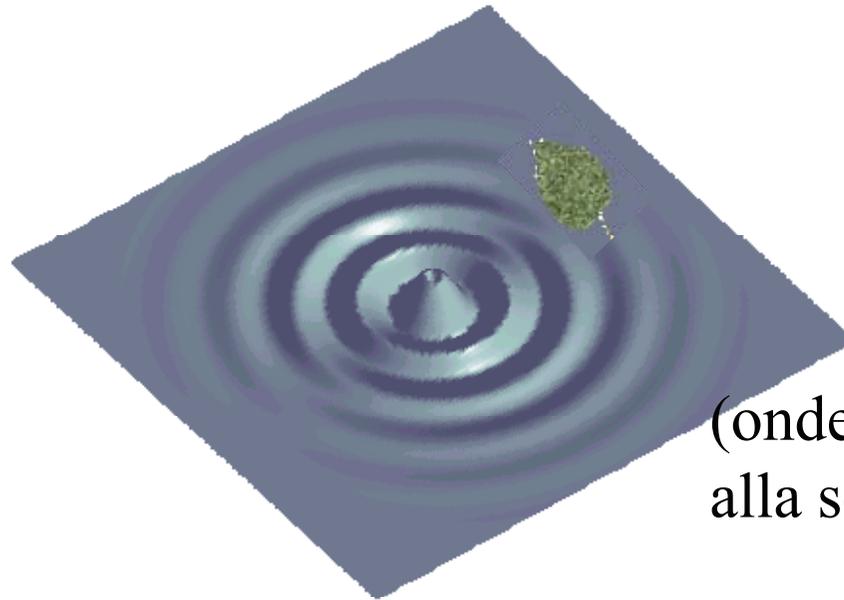
Cos' è un' onda elettromagnetica

Definizioni di base

Proprietà della radiazione solare

Insolazione, potenzialità di sfruttamento

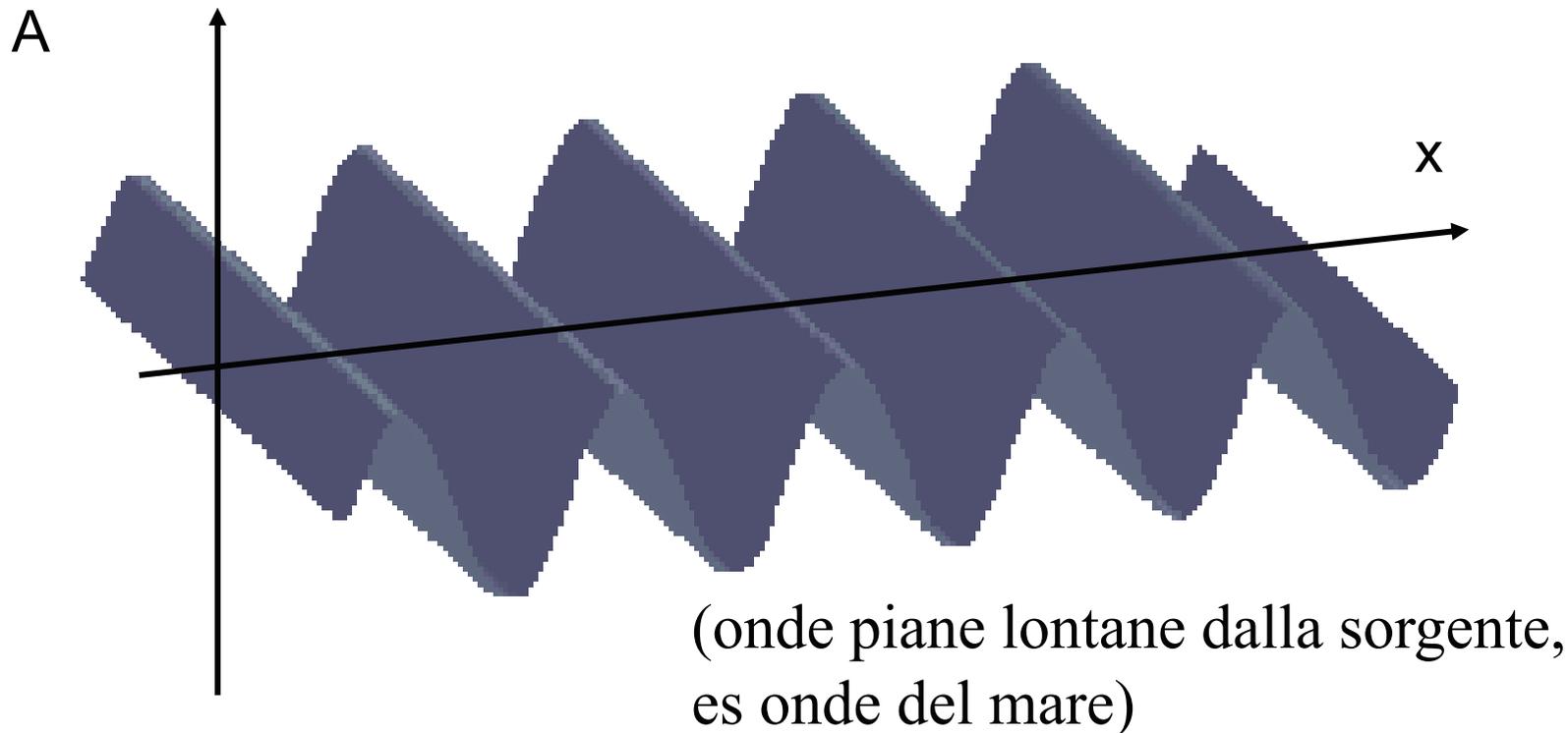
Le onde



(onde sferiche vicine
alla sorgente)

Avendo una foglia sull' acqua, se lanciassimo un sassolino, si creerebbero oscillazioni ma la foglia resterebbe sempre nello stesso punto. Ciò significa che le onde trasportano energia e non materia.

Le onde (II)

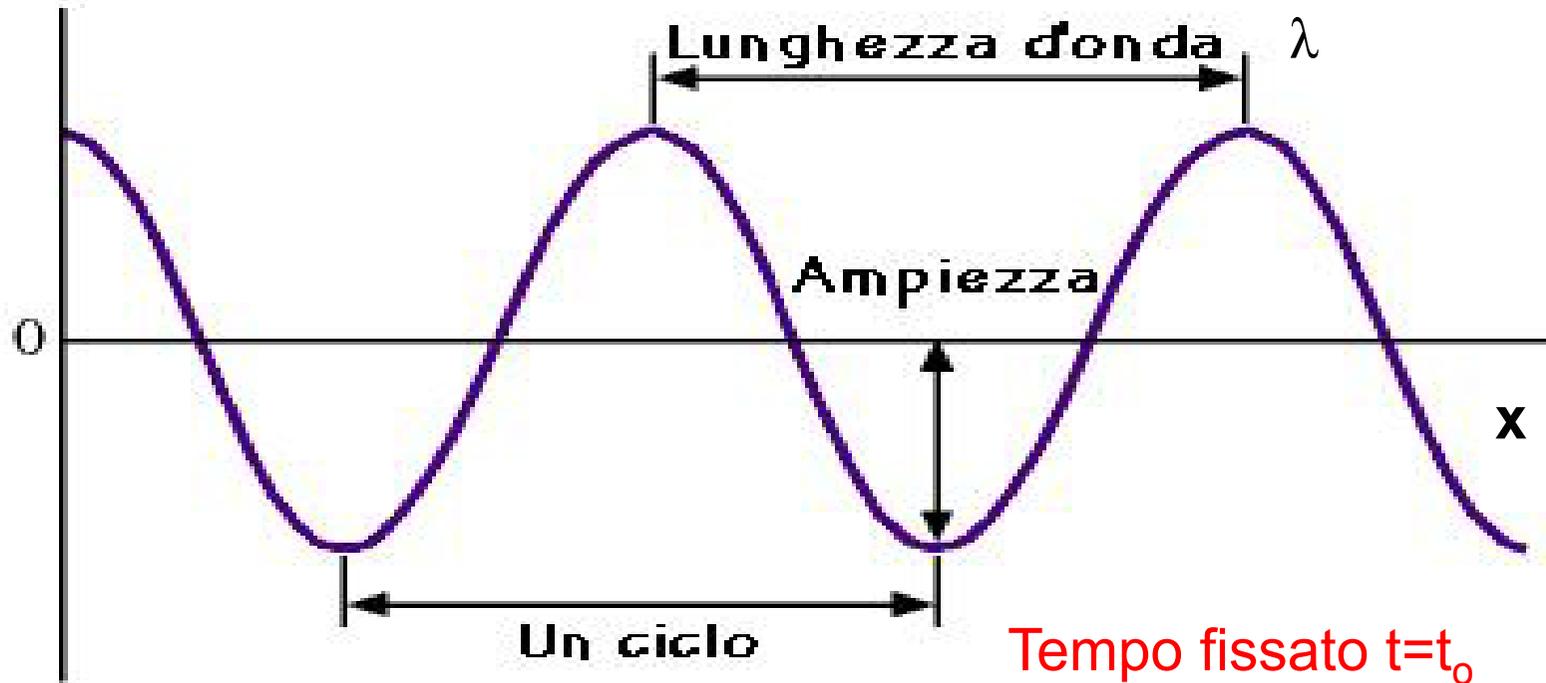


Oscillazioni di una grandezza fisica A che si ripetono periodicamente nel tempo e nello spazio secondo l'espressione

$$A=F(x-vt)$$

Onda monocromatica

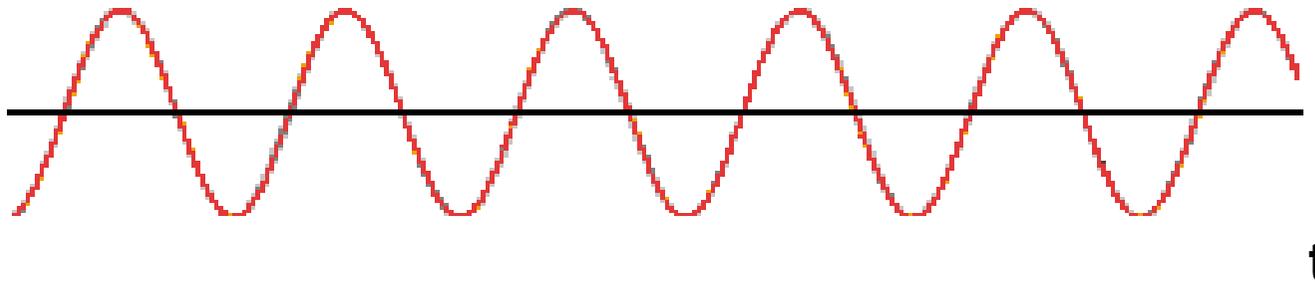
A



A è la grandezza che oscilla sinusoidalmente, λ è la lunghezza d'onda (distanza tra due creste o due gole, tra due massimi e due minimi).

$$A = k \cos(x - vt)$$

Onda monocromatica (II)



Spazio fissato $x=x_0$

100 MHz= la grandezza varia 100 milioni di volte al secondo

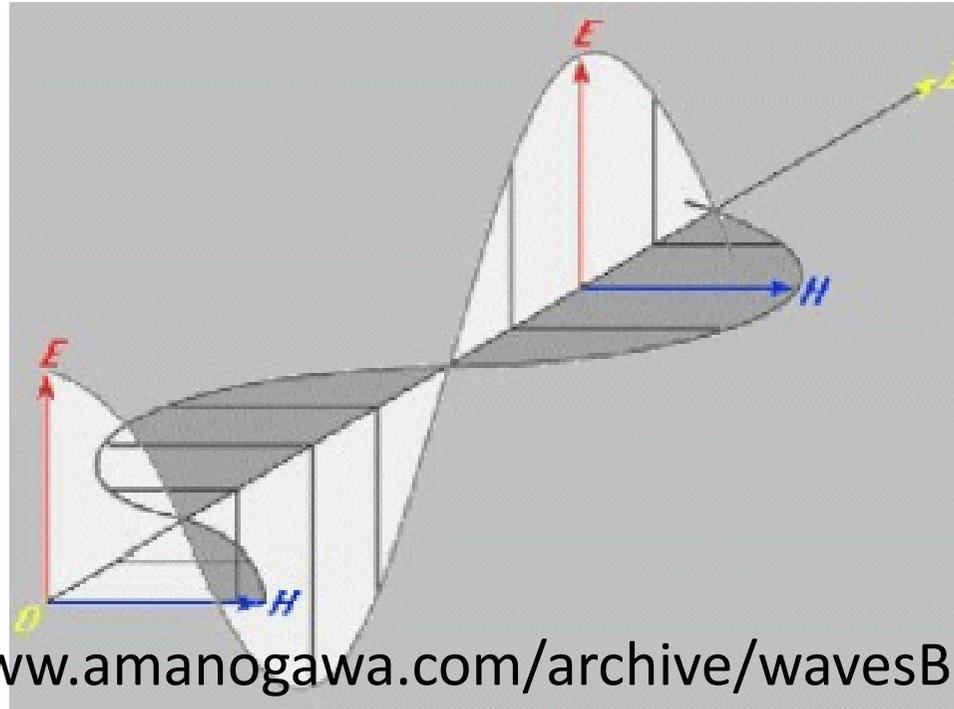
$$v = \lambda \cdot f$$

v = velocità dell' onda [m/s], λ = lunghezza d' onda [m]

f = frequenza [Hz]

Per onde radio a 100 MHz, λ è pari a 3 metri

Onde elettromagnetiche

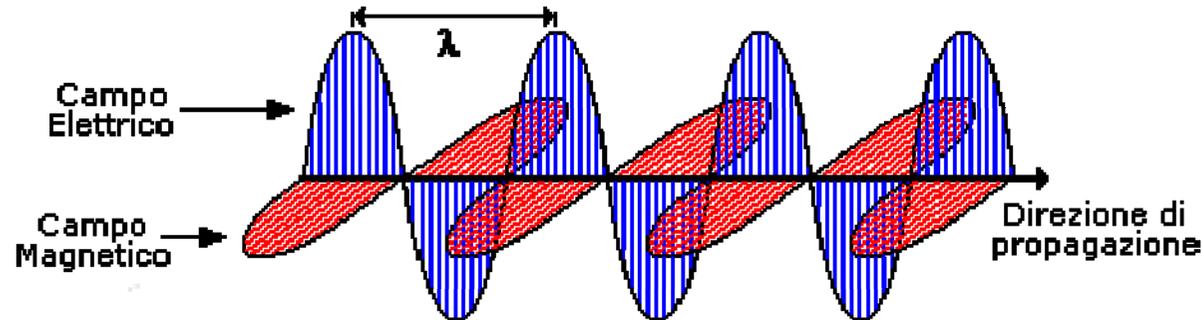


<http://www.amanogawa.com/archive/wavesB.html>

Nelle onde elettromagnetiche la grandezza è una combinazione di campo elettrico **E** e campo magnetico **H**.

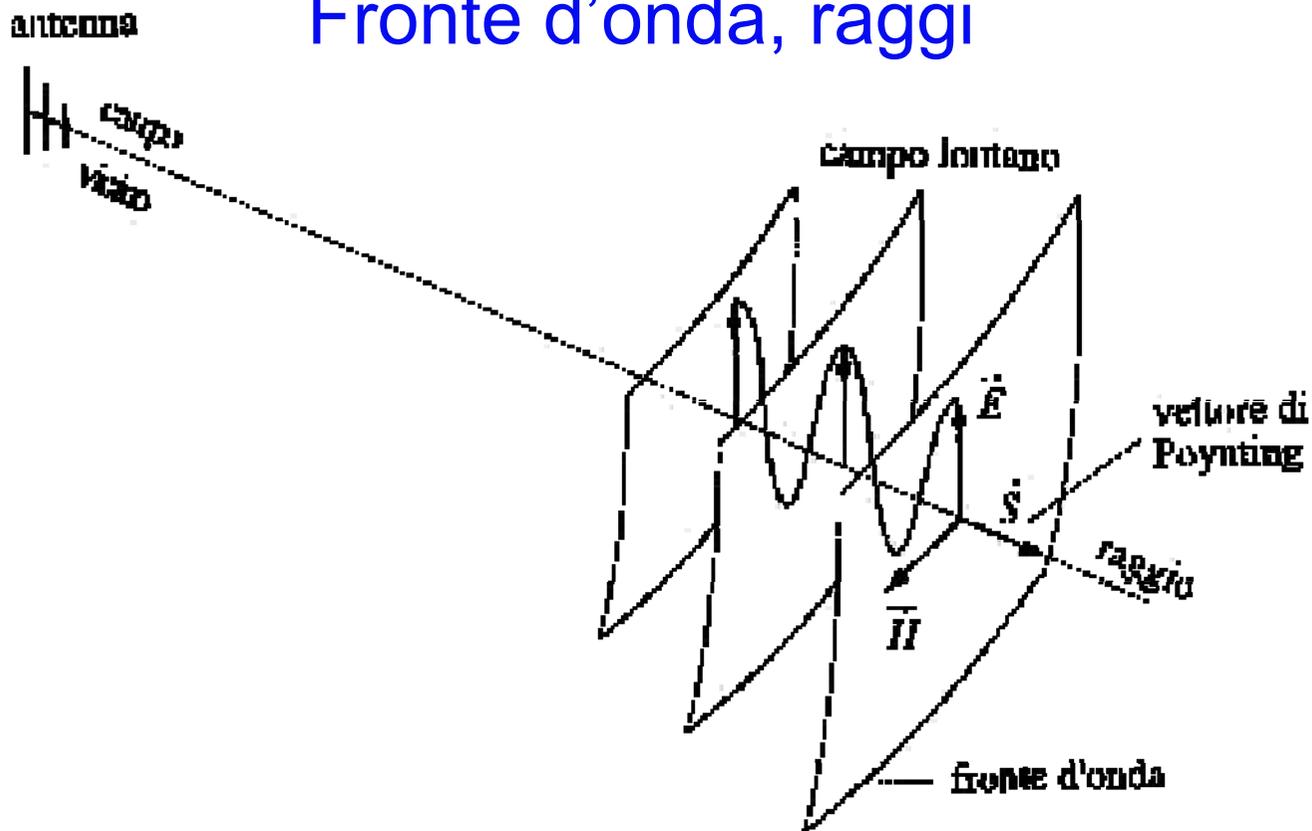
E ed **H** sono grandezze vettoriali cioè hanno 3 componenti ciascuna.

Cosa caratterizza le onde elettromagnetiche?



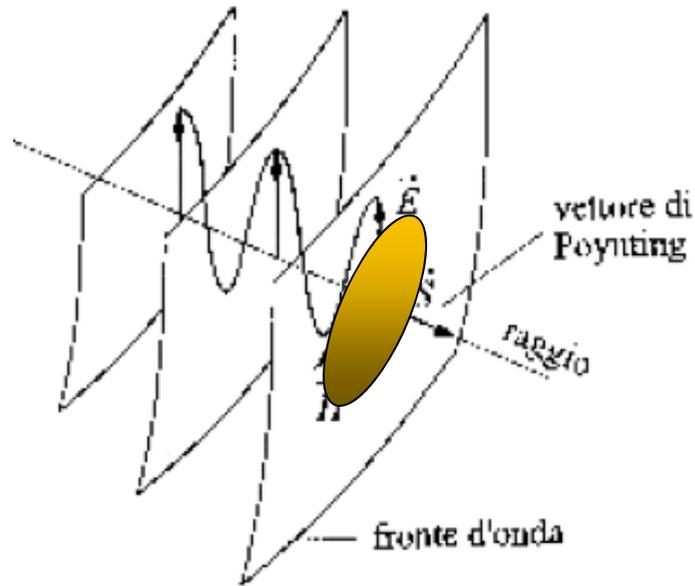
- La lunghezza d'onda λ : la distanza tra una cresta e la successiva
- L'ampiezza: il valore massimo assunto dal campo elettrico e da quello magnetico
- La perpendicolarità dei campi: campo elettrico e campo magnetico sono sempre perpendicolari tra loro
- La direzione di propagazione: è sempre perpendicolare sia al campo magnetico che al campo elettrico: sono onde trasversali
- La velocità v : nel vuoto è sempre 3×10^8 m/s

Fronte d'onda, raggi



Così come nelle onde del mare il frontera d'onda è rettilineo, nelle onde elettromagnetiche è una superficie perché si propagano nello spazio 3D. Il raggio dà la direzione di propagazione ed è perpendicolare al fronte d'onda.

Potenza



Le onde trasportano potenza nella direzione di propagazione. Si parla di densità di potenza, cioè potenza per unità di superficie parallela al fronte d'onda

densità di potenza, o Intensità I dell'onda [W/m²]

$$I = \frac{|\mathbf{E}|^2}{2\eta}$$

\mathbf{E} vettore campo elettrico

η impedenza del mezzo (nel vuoto: 377 Ohm)

Spettro elettromagnetico

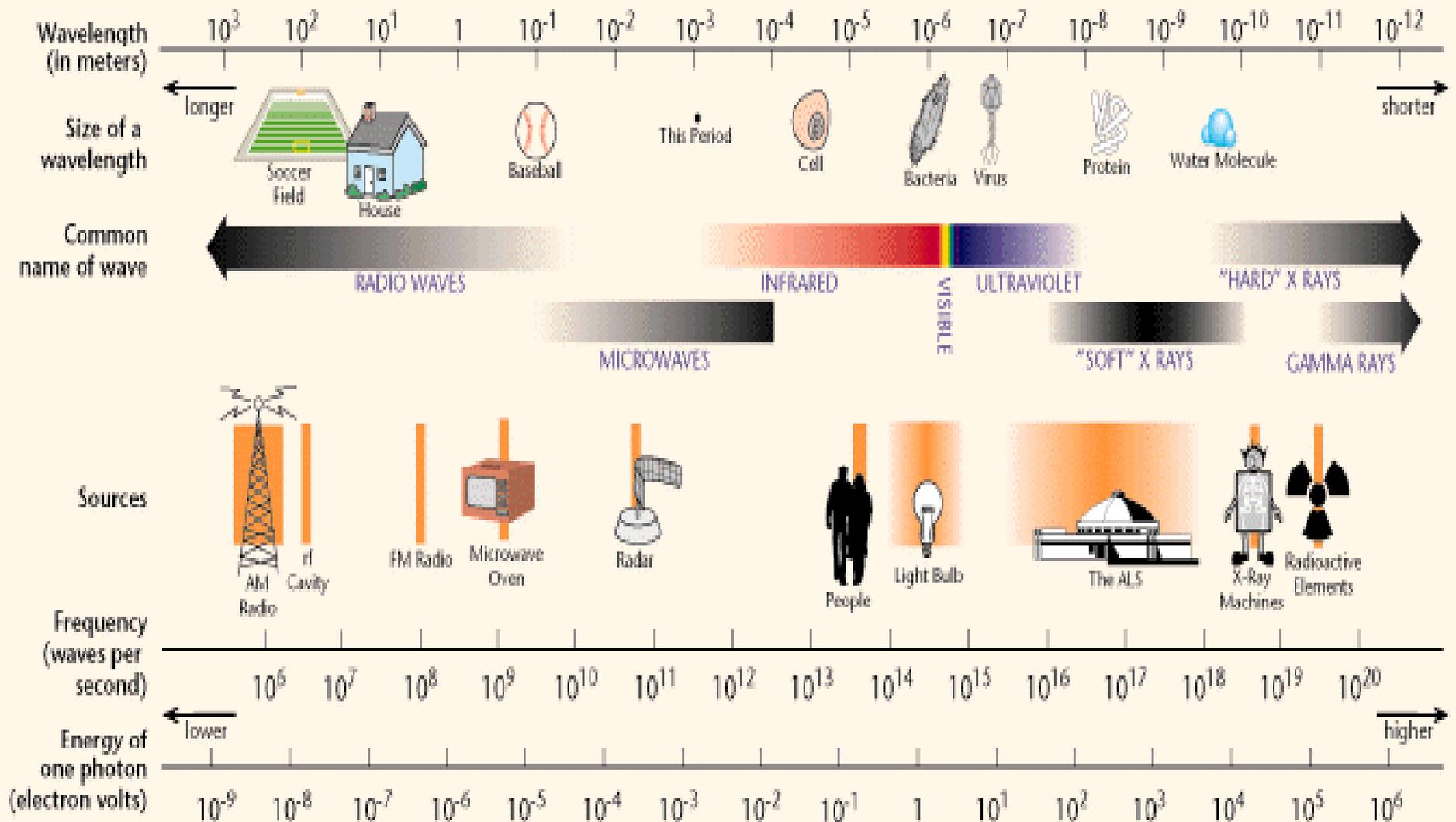
Le onde elettromagnetiche, a seconda della loro frequenza, comprendono moltissimi tipi di onde apparentemente diverse

Nel visibile, la frequenza determina il colore ai nostri occhi

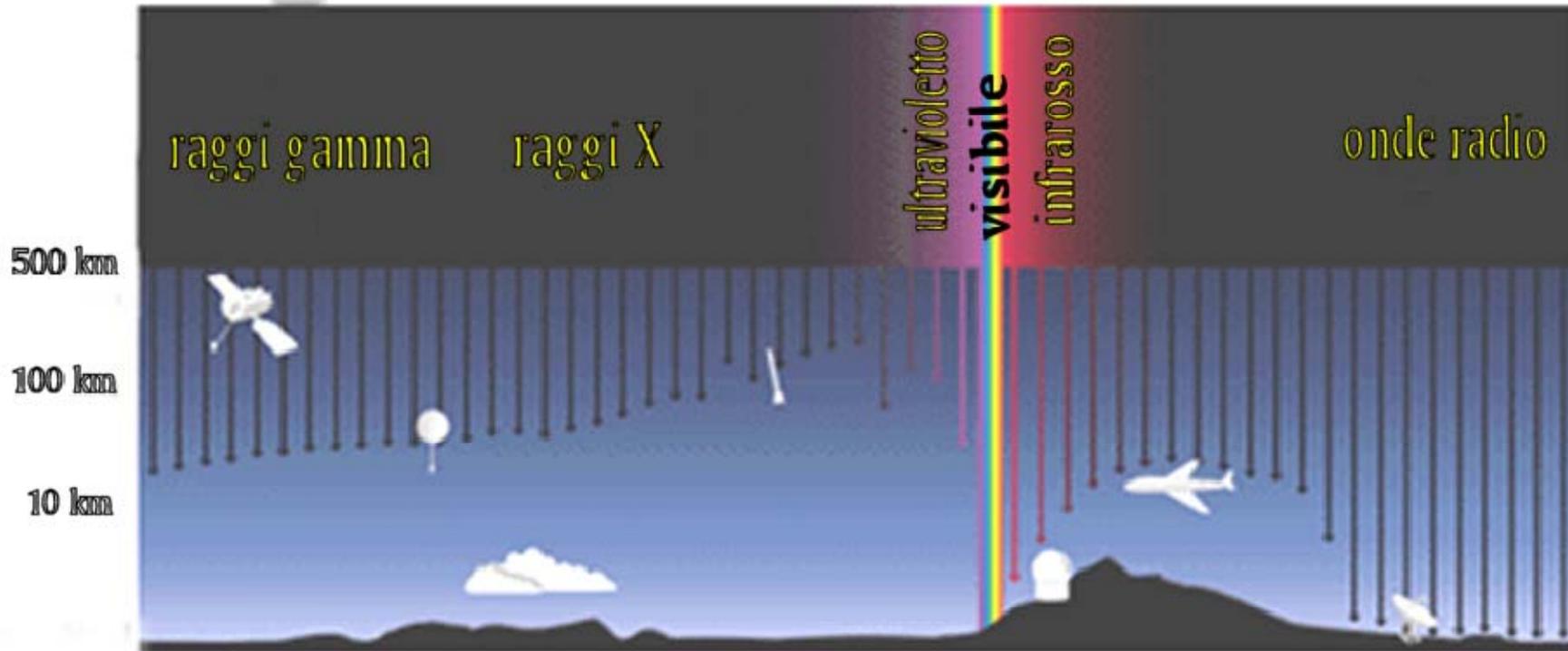


1	1×10^{-3}	1×10^{-6}	1×10^{-9}	1×10^{-12}	1×10^{-15}	1×10^{-18}	λ (m)
2×10^8	2×10^{11}	2×10^{14}	2×10^{17}	2×10^{20}	2×10^{23}	2×10^{26}	f (Hz)

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



fortunatamente l'atmosfera...



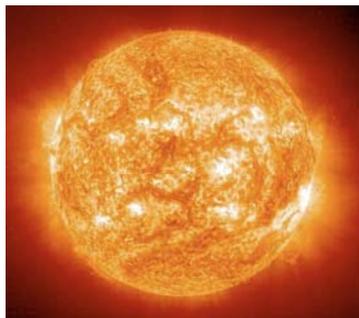
Lascia passare solo la radiazione visibile, le onde radio e una parte delle radiazioni infrarosse..

...per osservare le emissioni gamma, X ed ultraviolette degli astri dobbiamo andare nello spazio

Onde non monocromatiche

- Gran parte delle onde presenti in natura non sono monocromatiche (sinusoidali)
- Onde non monocromatiche sono la sovrapposizione di una moltitudine di onde monocromatiche, le componenti spettrali
- Es. i suoni sono composti da molte componenti spettrali
- La luce del sole non è monocromatica, infatti ci appare bianca

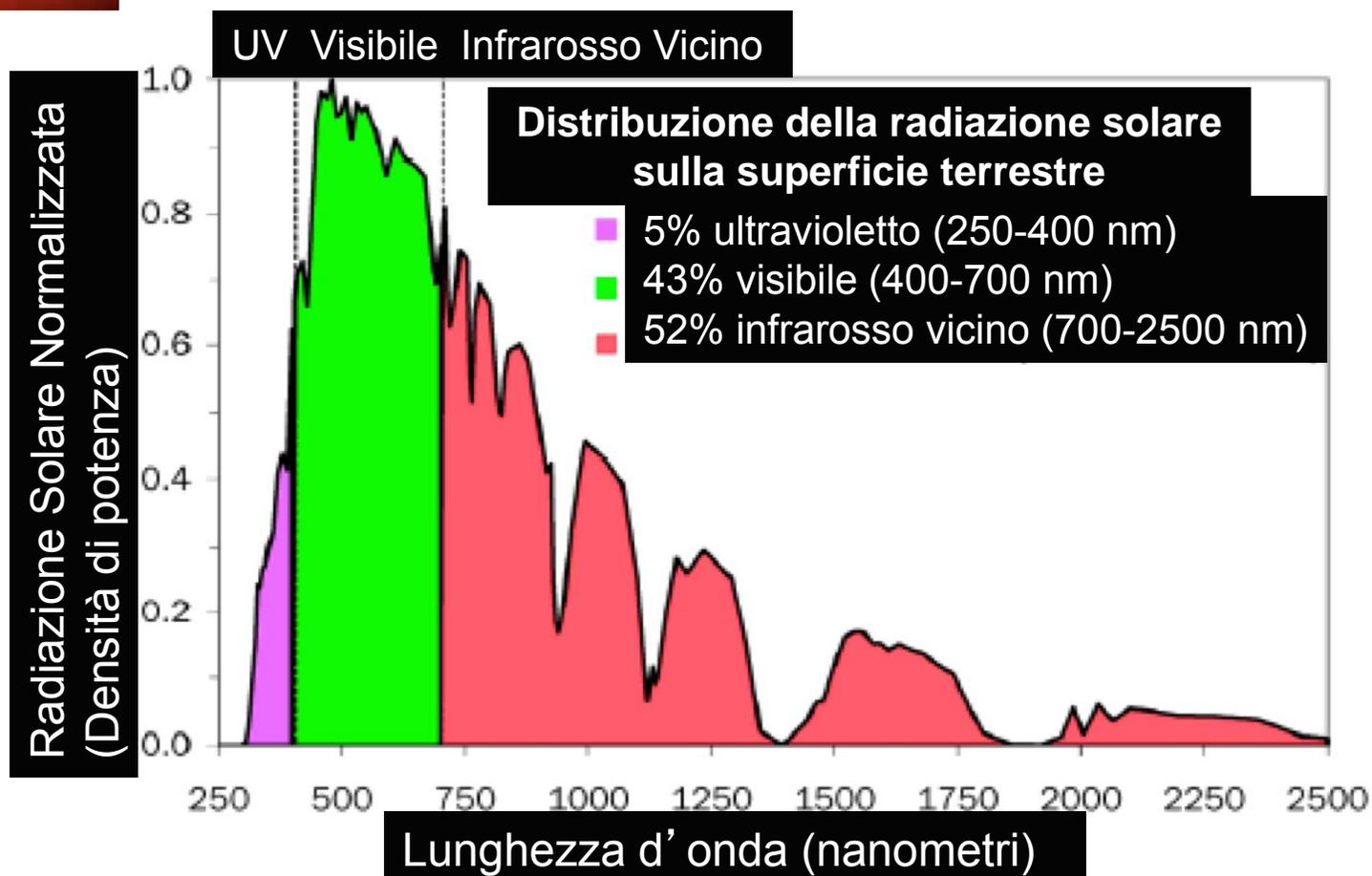
Radiazione Solare



Reazioni
termonucleari
di fusione



onde
elettromagnetiche

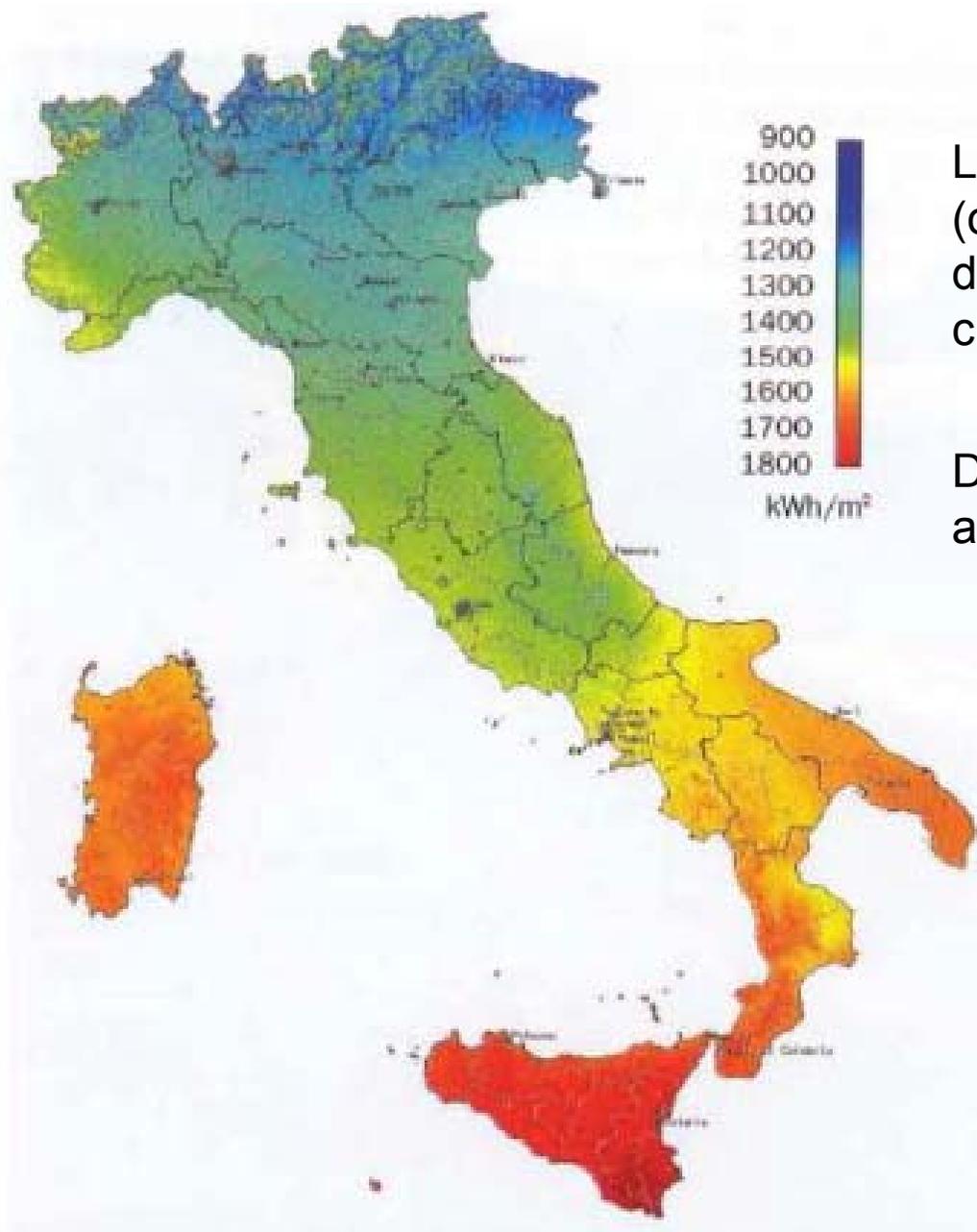


Radiazione Solare (II)

- Ha una densità di potenza (condizioni di cielo chiaro) di circa **1 kW/m²** !
- La densità di potenza effettiva è minore causa nuvole, particelle, ed alternarsi notte/giorno

		Condizioni atmosferiche						
Radiazione solare	Cielo sereno	Nebbia	Nuvoloso	Disco solare giallo	Disco solare bianco	Sole appena percettibile	Nebbia fitta	Cielo coperto
								
globale	1000 W/m ²	600 W/m ²	500 W/m ²	400 W/m ²	300 W/m ²	200 W/m ²	100 W/m ²	50 W/m ²
diretta	90%	50%	70%	50%	40%	0%	0%	0%
diffusa	10%	50%	30%	50%	60%	100%	100%	100%

Insolazione



La densità di energia in un anno (o in un mese) [kWh/m²] fornita dalla radiazione solare viene chiamata anche insolazione

Dipende dalla latitudine ma anche dal clima

Considerazioni (I)

Volete una prova della potenza della radiazione solare?

Lasciate la macchina per due ore al sole ...

Per ottenere la stessa temperatura (60-70 °C !) con la macchina in garage ci vorrebbe una stufa da 2 kW !



Considerazioni (II)

- L' energia fornita dal sole si può sfruttare in positivo tramite
 - Pannelli fotovoltaici
 - Pannelli solari termici
 - Sistemi a concentrazione
- Ma è anche importante prevenire gli effetti negativi dell' energia solare
 - Eccessivo riscaldamento locale (isola di calore, effetto serra negli edifici e nei veicoli, ecc.)
 - Desertificazione
 - Riscaldamento globale
- **Purtroppo noi spesso non solo non sfruttiamo l' energia solare in positivo, e non ne preveniamo gli effetti negativi, ma addirittura controbattiamo gli effetti negativi locali con grande dispendio di energia e ulteriore generazione di calore !!**

Onde Elettromagnetiche e Interazione con la materia

Materiali con perdite e privi di perdite

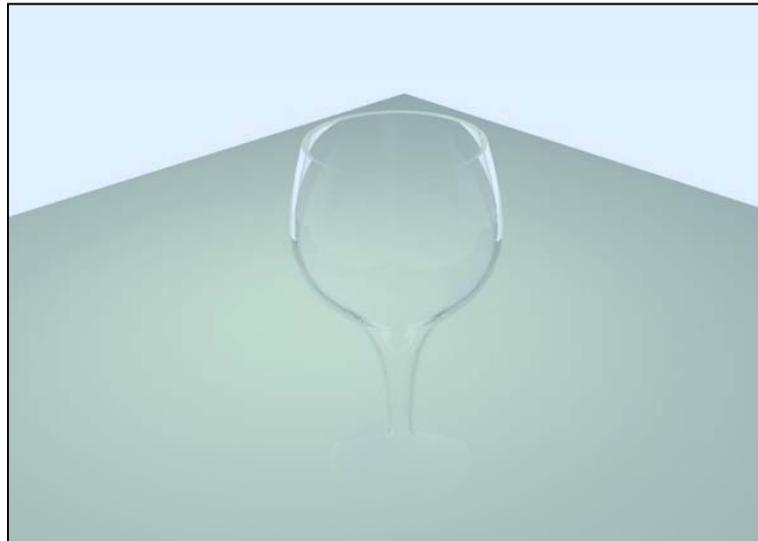
Bilancio di potenza alla superficie di un materiale: riflessione, trasmissione

Calore ed emissione termica

Proprietà di alcuni materiali

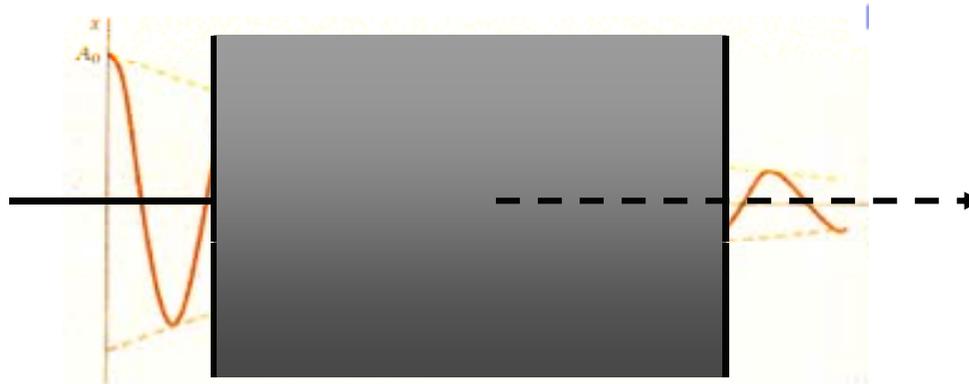
Onde e.m. e materiali privi di perdite

- Le onde e.m. (e quindi la luce) si propagano senza attenuarsi (o attenuandosi poco) nei materiali privi di perdite
- Tali materiali vengono detti anche “trasparenti”
- La proprietà di trasparenza dipende dalla lunghezza d'onda: per esempio i vetri sono trasparenti alla luce visibile ma non agli UV
I muri sono trasparenti alle onde radio ma non alla luce

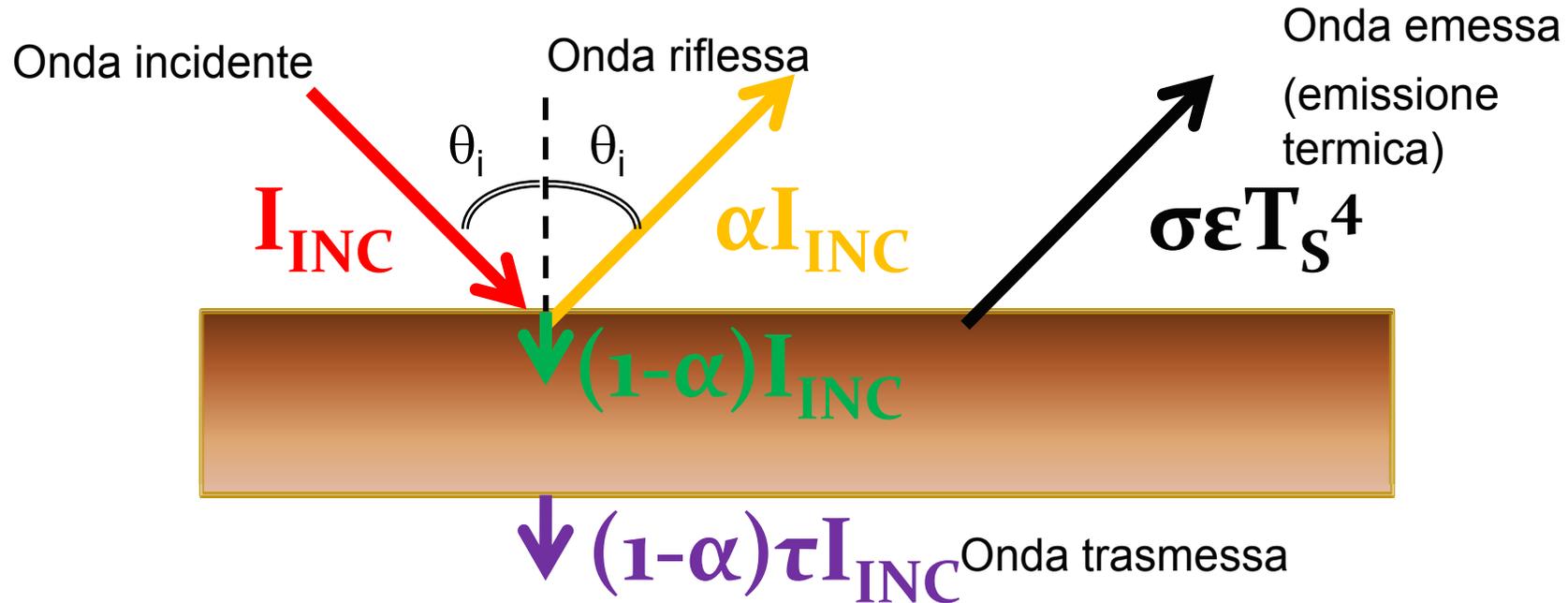


Onde e.m. e materiali con perdite

- Le onde e.m. (e quindi la luce) si propagano attenuandosi (più o meno velocemente) nei materiali con perdite
- Tali materiali vengono detti anche “opachi”
- A frequenze radio sono opachi i materiali che hanno conducibilità elettrica non nulla
- A frequenze più alte sono opachi i materiali in cui le onde e.m. fanno in qualche modo “vibrare” le particelle
- In entrambi i casi l'onda perde potenza e si ha dissipazione di potenza in calore



Bilancio alla superficie di un materiale

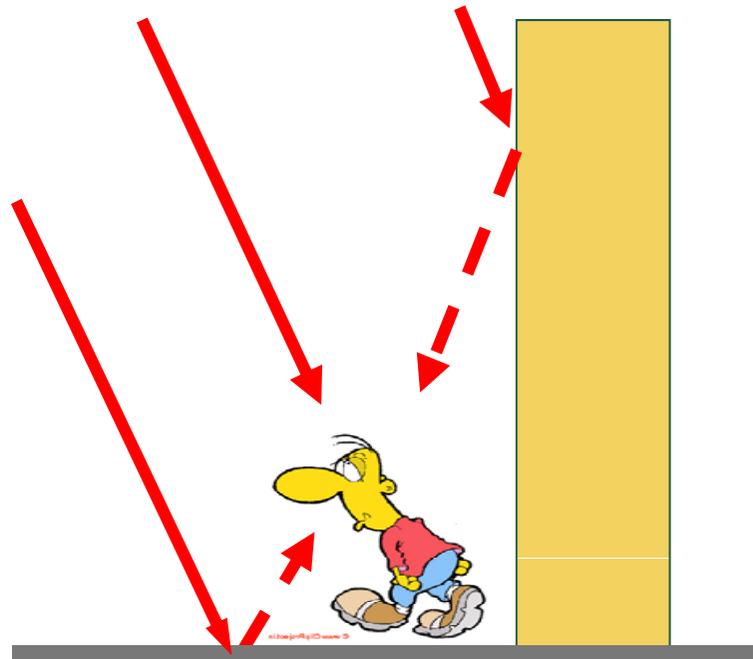


I parametri che influenzano direttamente l'interazione della radiazione con il materiale sono:

- Albedo o riflettività α**
 - Sono tutti parametri in potenza
- Trasmittanza τ**
 - Dipendono dalla frequenza: spesso si danno valori medi per una certa banda
- Emissività ϵ**
 - Es: banda della luce solare, infrarosso, ecc.

Multiple riflessioni

- In presenza di più ostacoli (es in un ambiente urbano) si possono allora avere multiple riflessioni, come in una stanza di specchi
- L' intensità incidente può perciò risultare molto superiore a causa del sommarsi dell' onda diretta e di multiple onde riflesse

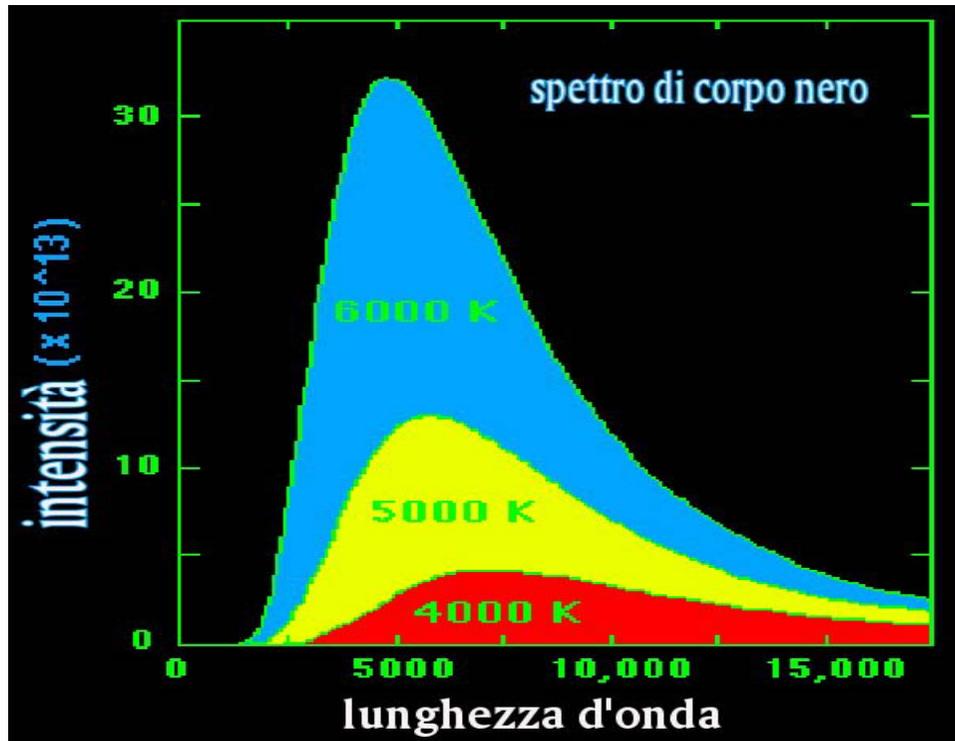


Emissione termica

- Qualsiasi corpo avente una temperatura superiore allo zero assoluto ($-273,37\text{ }^{\circ}\text{C}$) emette radiazione elettromagnetica a largo spettro, questa radiazione prende il nome di radiazione termica
- Il corpo di riferimento è il “corpo nero“
- Più il corpo è caldo e maggiore è l'intensità emessa
- Più il corpo è caldo e più il massimo di emissione cadrà alle lunghezze d'onda più brevi o alle maggiori frequenze
- Si ha:
 - Energia totale = costante di Stefan x temperatura⁴
 - lunghezza d' onda x temperatura = costante di Wien

$$E = \sigma T^4 \quad \lambda T = w$$

Spettro d'emissione del corpo nero



L'intensità della radiazione emessa da un corpo generico è:

$$I = I_0 \varepsilon$$

ove I_0 è l'intensità del corpo nero ed ε è l'emissività del corpo considerato

I materiali assorbono energia dalla radiazione solare a frequenze ottiche, si scaldano e riemettono energia per emissione termica a frequenze molto più basse, dipendentemente dalla loro temperatura

Albedo di alcuni materiali

(per la banda della luce solare)

Material surface	Solar Reflectance
Black acrylic paint	0.05
New asphalt	0.05
Aged asphalt	0.1
“White” asphalt shingle	0.2
Aged concrete	0.2 to 0.3
New concrete (traditional)	0.4 to 0.5
New concrete with white portland cement	0.7 to 0.8
White acrylic paint	0.8