

Campo lontano

La regione di campo lontano è la regione di spazio nella quale il campo elettromagnetico si propaga per onde sferiche.

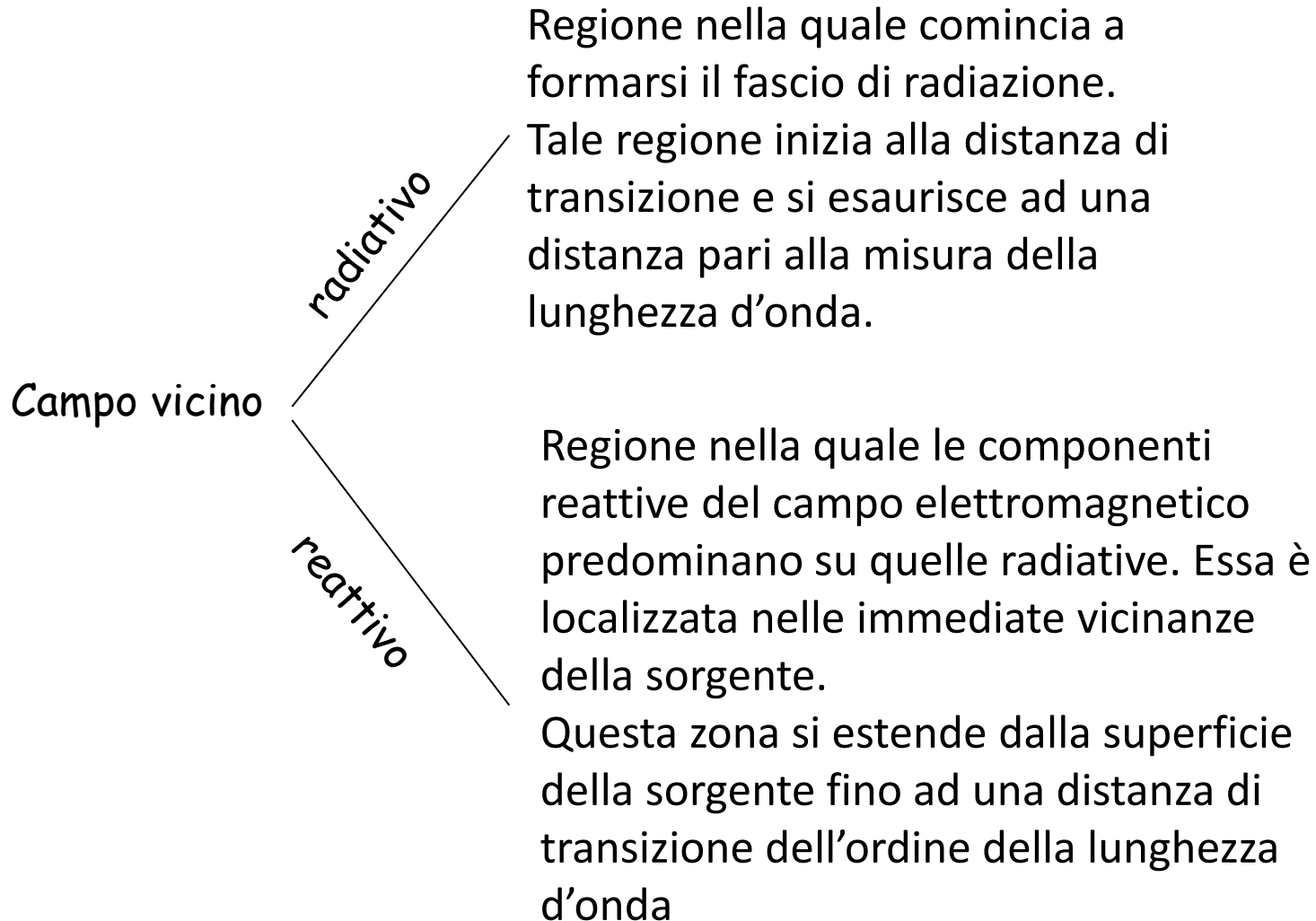
Localmente è sempre possibile approssimare un'onda sferica mediante un'onda piana.

Per un'onda piana il campo elettromagnetico è composto da distribuzioni uniformi delle intensità di campo elettrico e magnetico nello spazio, su piani che sono a 90° l'uno rispetto all'altro ed ortogonali rispetto alla direzione di propagazione dell'onda elettromagnetica.

I campi elettrici e magnetici sono in fase, e le ampiezze sono legate da una relazione costante.

La zona di campo lontano si estende da una distanza dalla sorgente pari alla misura della sua lunghezza d'onda.

Campo vicino

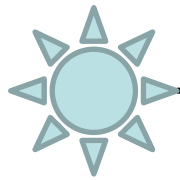


Regioni di campo

Regione di
campo vicino
reattivo

Regione di
campo vicino
radiativo

Regione di
campo
lontano



dimensione

D

$$\cong \lambda$$
$$\text{da } \frac{\lambda}{2\pi} \text{ a } 3\lambda$$

$$\cong \lambda$$
$$\max\left(\lambda, \frac{2D^2}{\lambda}\right)$$

Fondo naturale di campo em

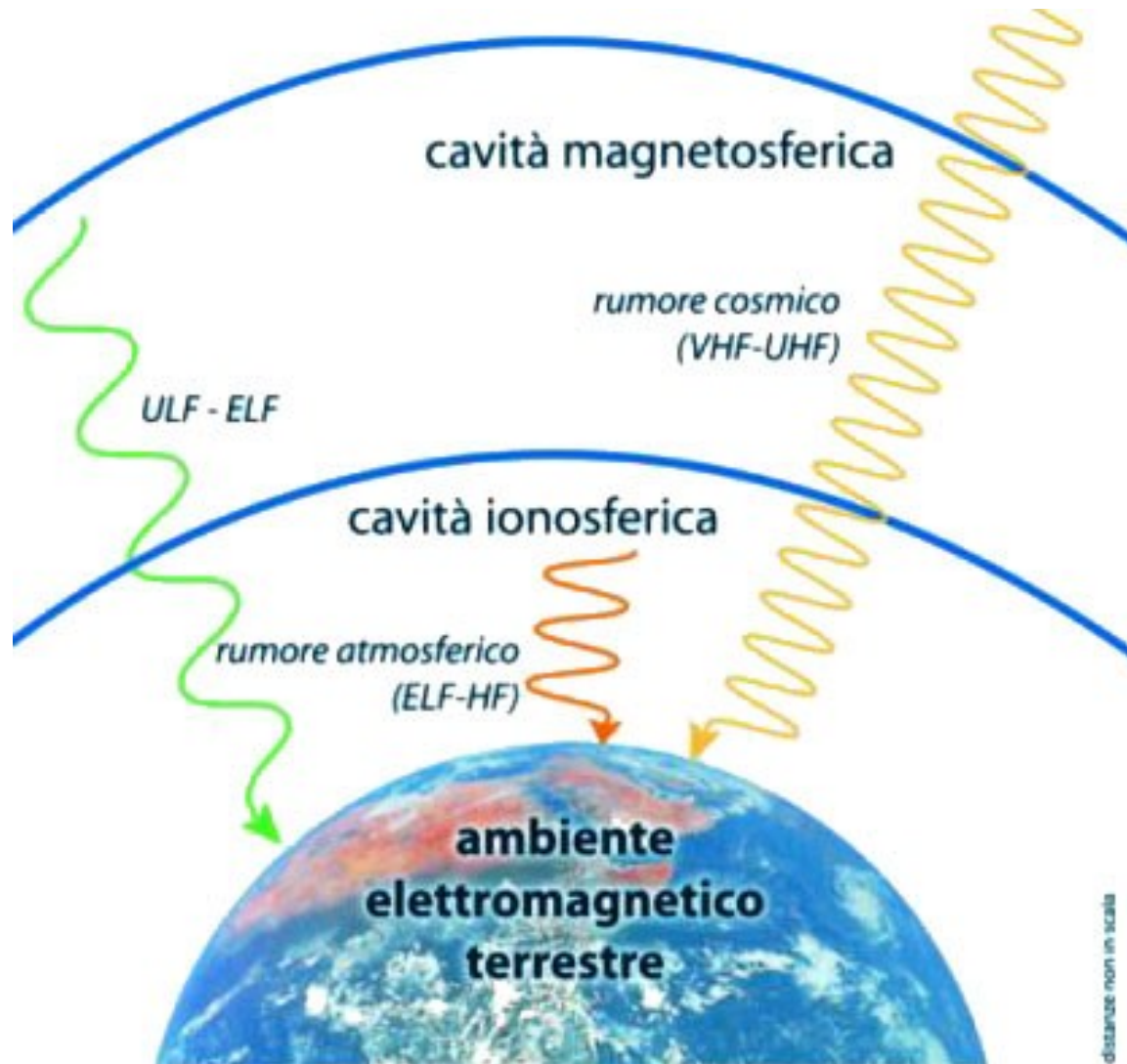
Livello di fondo di campo em provocato da vari fenomeni naturali che intervengono nell'atmosfera, sulla superficie terrestre e nel sottosuolo e dalle sorgenti cosmiche tra cui la più importante è il Sole, il quale contribuisce con una componente permanente e con una variabile (macchie solari).

Anche la Terra essendo ad una temperatura assoluta superiore a 0 K emette radiazioni elettromagnetiche ($10,3 \text{ mW/cm}^2$ a 20°C e 300 GHz).

Alla radiazione di fondo contribuisce anche il corpo umano ($0,3 \text{ mW/cm}^2$; 10 kHz , 300 GHz).

Complessivamente il fondo naturale em prodotto da scariche elettriche, radioemissioni di origine cosmica, dalla Terra e dal corpo umano è dell'ordine di circa 10 mW/cm^2 , quindi notevolmente inferiore a qualsiasi emissione di tipo artificiale.

Fondo naturale di campo em



Assorbimento specifico (SA)

Rapporto tra l'energia elementare assorbita da una massa elementare, contenuta in un volume elementare di data densità (unità di misura -> J/kg)

Esposizione:

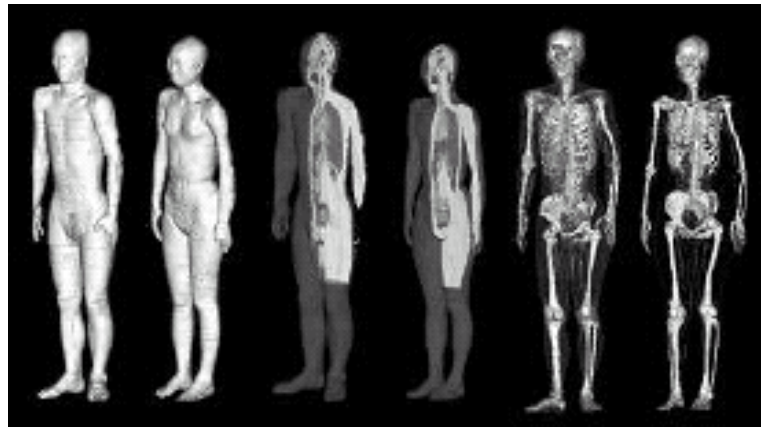
Situazione che si manifesta ovunque una persona è soggetta a campi elettrici, magnetici o em oppure a correnti di contatto, diversi da quelli generati da processi fisiologici corporei o da altri fenomeni naturali.

Tasso di assorbimento specifico (SAR)

Il SAR rappresenta energia depositata nell'unità di tempo nell'unità di massa corporea per effetto Joule (unità di misura \rightarrow W/kg).

Permette di avere una informazione dettagliata sulla distribuzione di energia assorbita dall'organismo esposto.

Si usano **fantocci e modelli teorici**



Tasso di assorbimento specifico (SAR)

Si calcola:

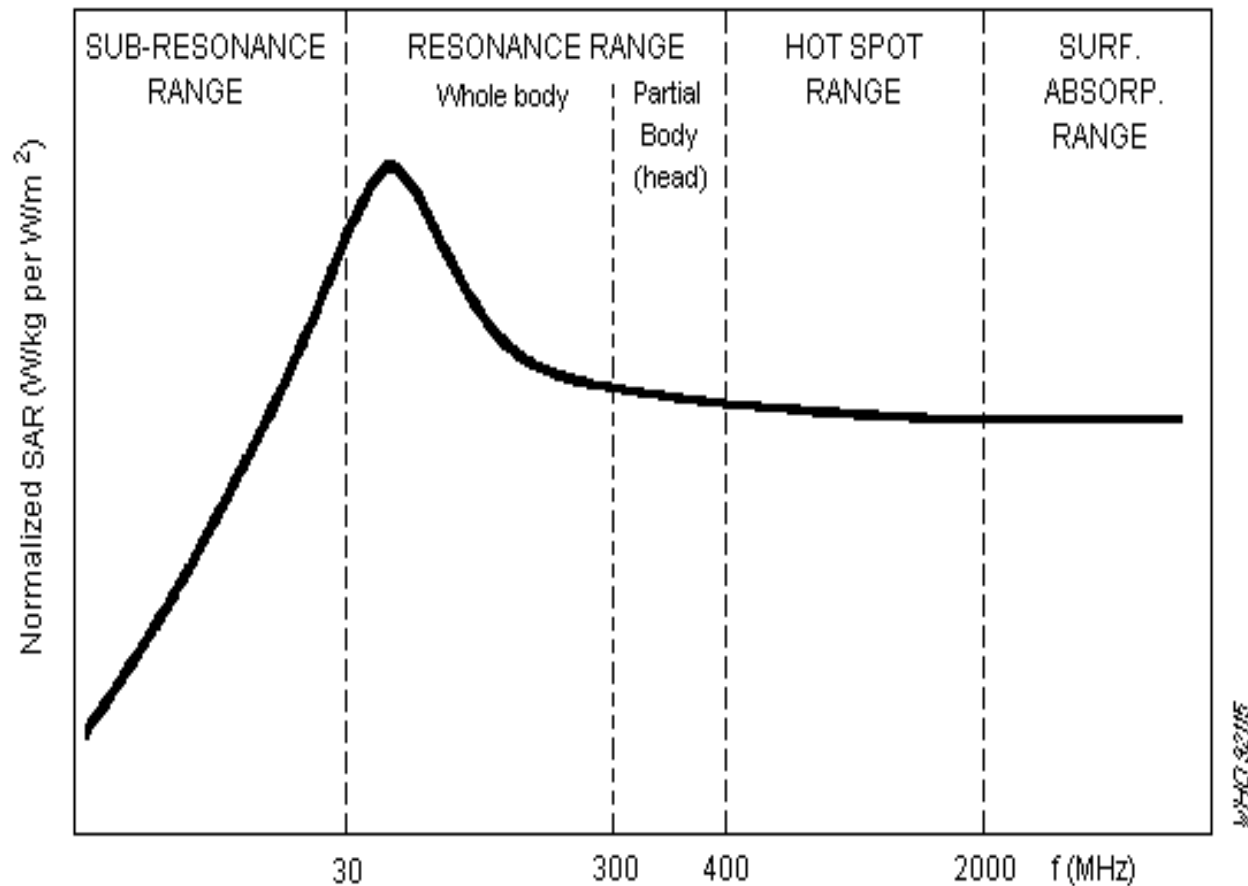
- mediato su tutto il corpo
- su un piccolo volume di tessuto (SAR locale)

in funzione di:

- campo incidente
- conducibilità del corpo esposto
- densità del corpo esposto

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} = \frac{J^2}{\sigma \rho}$$

Andamento del SAR in funzione della frequenza



Esempio

Esempio di campo elettrico all'esterno e all'interno del corpo umano calcolato mediante metodo FDTD (finite difference time domain).



***SAR mediato sul corpo intero (medio)
o circoscritto a specifici distretti
corporei (locale) in relazione
all'induzione di effetti biologici nocivi
nell'animale***

- **100 W/kg (medio):** Ipertermia generalizzata, insufficienza dei meccanismi termoregolatori.
- **100 W/kg (locale):** Rapida induzione di cataratta nell'animale.
- **10 - 100 W/kg (medio):** Ipertermia generalizzata o localizzata, risposta termoregolatoria di grado variabile; inibizione temporanea o permanente della spermatogenesi; induzione di aborto e malformazioni fetali; risposte neuroendocrine ed immunologiche collegate allo stress termico.
- **1 - 4 W/kg (medio):** Soglia di induzione di effetti comportamentali e di risposte fisiologiche collegate a stress nell'animale.

Restrizioni sul SAR

- ✓ La sperimentazione su animale indica come soglia di danno alla salute un innalzamento costante della temperatura di 1°C
- ✓ ciò corrisponde ad un valore di SAR medio di 4 W/kg
- ✓ limite accettato per i lavoratori:
 $0,4 \text{ W/kg}$
- ✓ limite accettato per la popolazione:
 $0,08 \text{ W/kg}$
- ✓ per il SAR locale nella testa e nel tronco si accetta:
 10 W/kg (lavoratori)
- ✓ per il SAR locale negli arti si accetta:
 20 W/kg (lavoratori)

Propagazione del campo em nel tessuto biologico

La permittività di un tessuto biologico è più grande di quella dell'aria e perciò le onde em si propagano nel tessuto con una velocità inferiore a quella della luce.

Poiché la frequenza dell'onda dipende solo dalla sorgente, ne consegue che nei tessuti la lunghezza d'onda è inferiore a quella corrispondente nel vuoto (o aria).

I tessuti biologici non hanno proprietà magnetiche e quindi la permeabilità magnetica è uguale a quella del vuoto, differentemente da quanto accade alla permittività. Le conseguenze di queste proprietà sono molteplici:

- il campo elettrico si attenua all'interno del corpo umano e l'attenuazione cresce all'aumentare della frequenza, l'induzione magnetica invece non cambia sostanzialmente;
- il corpo umano perturba il campo elettrico: per questo motivo le misure di intensità di campo elettrico devono essere eseguite con l'operatore distante dalla sonda di misura;
- il corpo umano si comporta come una antenna ricevente e l'energia assorbita è massima quando la sua altezza è intorno a $0,4\lambda$.

Sorgenti di campo

Le sorgenti di campo elettromagnetico si suddividono in:

Intenzionali:

hanno come scopo l'emissione di onde elettromagnetiche (ad esempio i sistemi di telecomunicazione).

Hanno caratteristiche di emissione note in termini di:

- potenza
- polarizzazione
- frequenza e banda

Non intenzionali:

emettono onde elettromagnetiche come effetto secondario (apparecchi di riscaldamento, strumentazione elettronica, forni a microonde, motori, ...).

Spesso non hanno caratteristiche di emissione note.

Classificazione CEI 211-7

Le sorgenti sono classificate in base al loro utilizzo:

- industriale
- domestico
- medicale
- radiotelecomunicazione
- ricerca

Settore industriale

- **Forni a microonde**

- alimentare: per sterilizzare e cuocere
- industria: lavorazioni ad alte temperature

frequenze: tra 900 MHz e 2.45 GHz

potenze: centinaio di kW

- **Applicatori induttivi e capacitivi**

- trattamenti termici in metallurgia e meccanica (fusione di leghe metalliche, plasmi, ...)
- processi di incollaggio, vulcanizzazione
essiccazione (carta, tessuti, legno, plastiche, ...)

frequenze: tra 80 kHz e 50 MHz

potenze: centinaia di kW

Settore domestico

- **Sistemi di rivelazione**
sistemi di allarme e antirapina
- **Forni a microonde**
frequenze: 915 MHz e 2450 MHz
potenze: 600 W



Settore medicale

Applicazioni diagnostiche, terapeutiche e chirurgiche

- **Diatermia** (radarterapia e marconiterapia)
- **Ipertermia**
- **Risonanza magnetica nucleare**
- **Strumentazione chirurgica**

frequenze: da pochi MHz ai GHz

potenze: da decine a migliaia di Watt



Settore radiotelecomunicazione



- **Ponti radio**

- frequenze: 1 - 40 GHz
- potenze: 100 mW - 3 W
(anche fino a 20 W)
- antenne con alto guadagno (30 - 45 dBi)
- fascio stretto (qualche grado a -3 dB)
- ripetitori posizionati a distanze fino a 50 km

Settore radiotelecomunicazione

- Radiomobili (CB, cellulari, telefoni senza fili,...)
 - frequenze: da decine di MHz a circa 2 GHz
 - potenze: CB max 5 W, cellulari 1-2 W



Settore radiotelecomunicazione

- **Sistemi radiotelevisivi**

frequenze: da centinaia di kHz a centinaia di MHz

potenze: da qualche watt a centinaia di kW a seconda della copertura geografica

- **Trasmissioni via satellite**

frequenze: da centinaia di MHz a decine di GHz

potenze: da decine di watt a 1 kW

- **Radar**

frequenze: dai MHz alle decine di GHz

potenze di picco: da decine di kW a MW

- **Telerivelamento**

- telepass a 5.7 GHz con potenze di centinaia di mW

- controllo accessi a 120 kHz con potenze di qualche mW

Settori di ricerca

Radioastronomia

Fisica nucleare

Radiospettrometria

Ricerca spaziale

...

Frequenze e normativa

La guida CEI 211-7, a cui rimanda la legge n. 36/01, copre l'intervallo
10 kHz - 300 GHz

	Denominazione	Sigla	Frequenza	Lunghezza	
Radiazioni Non Ionizzanti	Freq. estremamente basse	ELF	0 - 3 KHz	> 100 Km	
	Frequenze bassissime		VLF	3 - 30 KHz	100 - 10 Km
	Radiofrequenze (RF)	Onde lunghe	LF	30 - 300 KHz	10 - 1 Km
		Onde medie	MF	300 KHz-3 MHz	1 Km - 100 m
		Alte freq.	HF	3 -30 MHz	100 - 10 m
		Freq.altissime	VHF	30 - 300 MHz	10 - 1 m
	Microonde (MO)	decimetriche	UHF	300 MHz-3 GHz	1 m - 10 cm
		centimetriche	SHF	3 - 30 GHz	10 -1 cm
		millimetriche	EHF	30 - 300 GHz	1 cm - 1 mm
		Infrarosso	IR	0.3 - 385 THz	1000 - 780 nm
	Luce visibile		385 - 750 THz	780 - 400 nm	
	Ultravioletto	UV	750 - 3000 THz	400 - 100 nm	
Radiazioni Ionizzanti	Raggi X Raggi Gamma		> 3000 THz	< 100 nm	

Enti normativi

Diverse organizzazioni internazionali hanno emanato normative per la protezione della popolazione e dei lavoratori dai CEM:

- [NRPB](#) (National Radiological Protection Board)
- [CENELEC](#) (European Committee for Electrotechnical Standardization)
- [ICNIRP](#) (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)
- [IEEE](#) (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
- [CEI](#) (Comitato Elettrotecnico Italiano)
- ... ([ANSI](#), [VDE](#), [RNCNIRP](#), [ACGIH](#), [NIOSH](#), [NIEHS](#), [WHO](#), ...)

Le normative citate hanno molti aspetti in comune:

- sono basate sulla stessa letteratura scientifica considerando solo effetti chiaramente documentati
- prevedono ampi margini di sicurezza rispetto ai livelli di soglia per effetti potenzialmente nocivi.