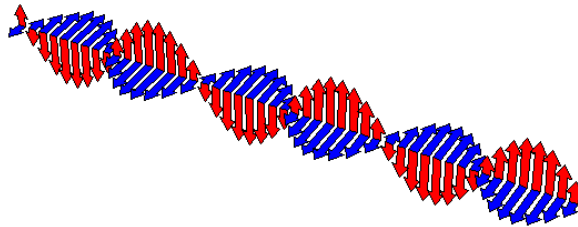
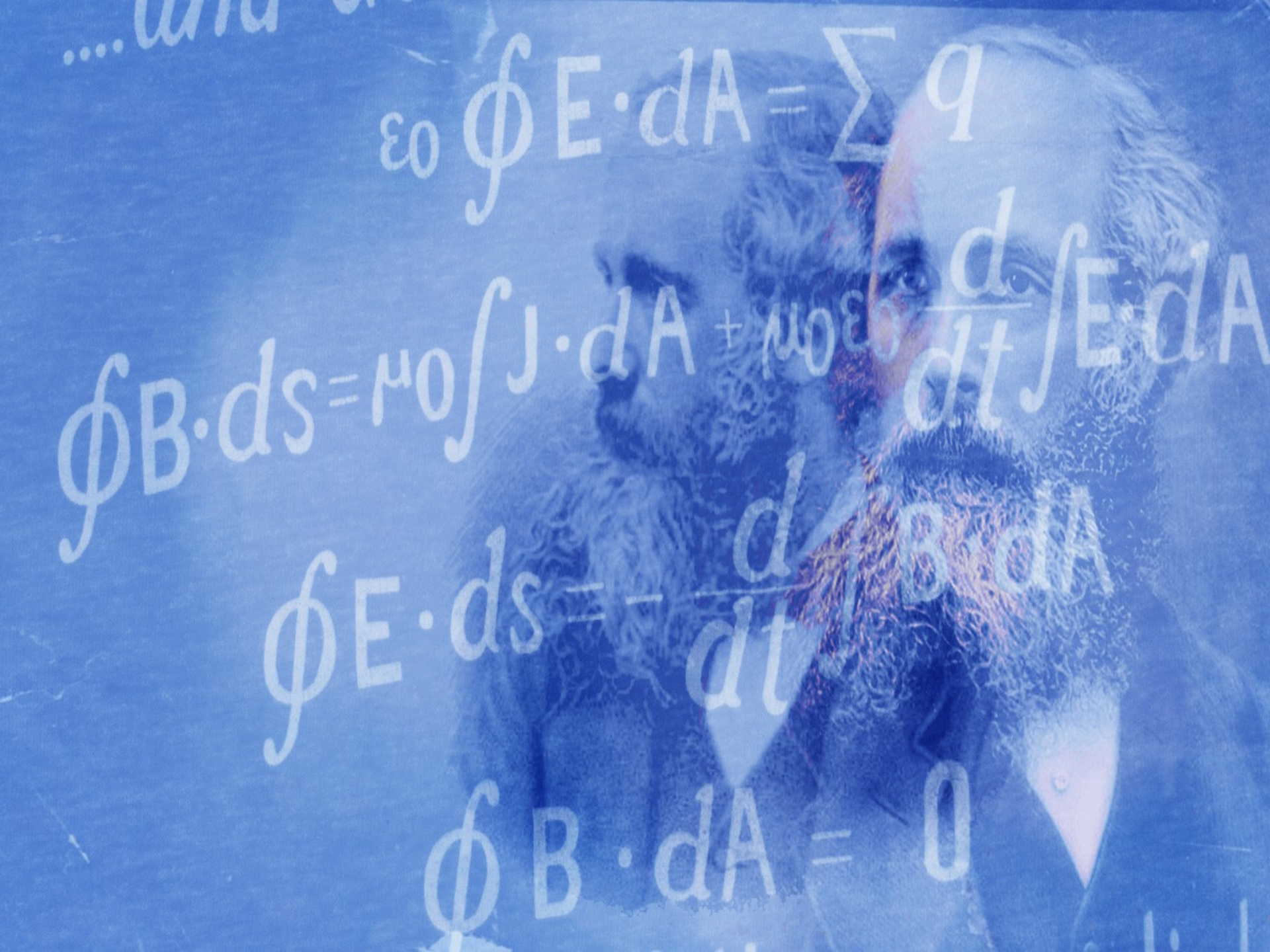


# ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI, SALUTE E SICUREZZA 150 anni dalle teorie di Maxwell



*S.Spartà*  
*Servizio Prevenzione e Protezione*  
*Università di Catania*





$$\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \sum q$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \int \mathbf{J} \cdot d\mathbf{A} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A}$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = - \frac{d}{dt} \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

Clarendon Press Series

# A TREATISE

ON

# ELECTRICITY AND MAGNETISM

BY

JAMES CLERK MAXWELL, M.A.

LL.D. F.R.S., F.R.S.E., LONDON AND EDINBURGH

HONORARY FELLOW OF TRINITY COLLEGE,

AND PROFESSOR OF EXPERIMENTAL PHYSICS

IN THE UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

VOL. I

Oxford

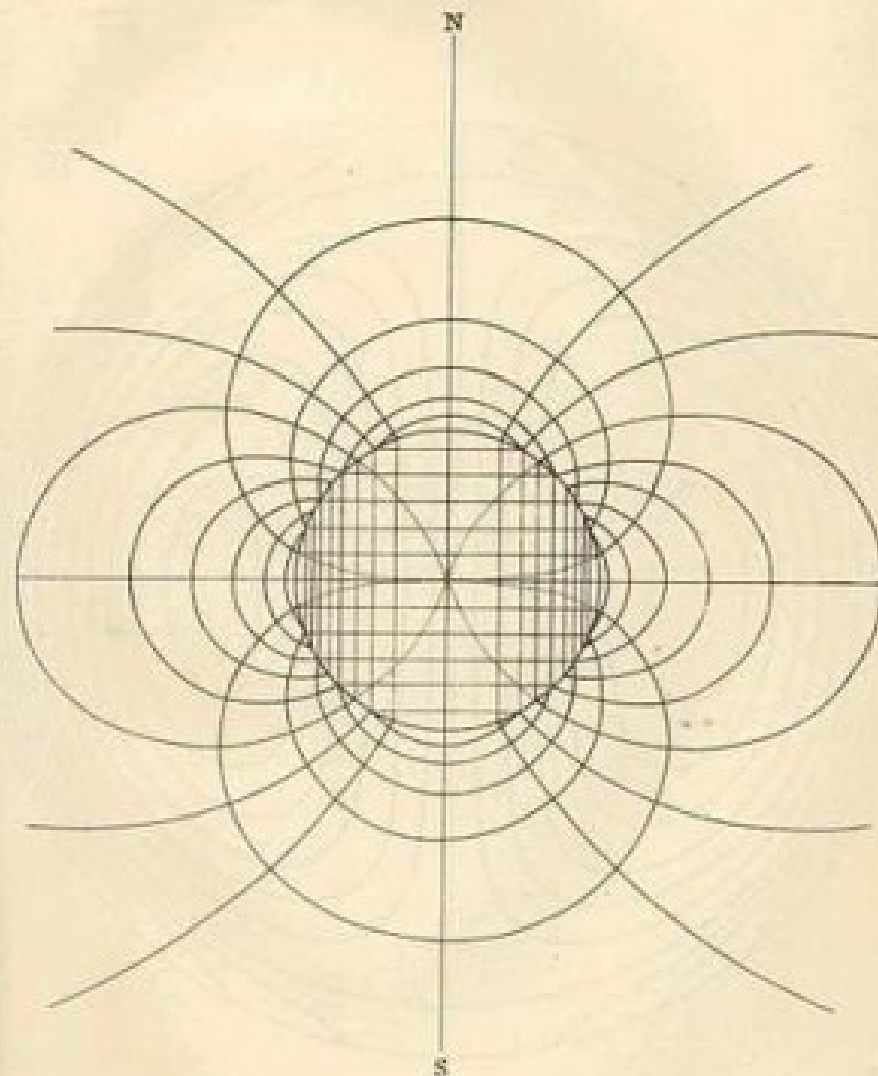
AT THE CLARENDON PRESS

1873

[All rights reserved]

FIG. V.

Art 143



*Lines of Force and Equipotential Surfaces in a diametral section of a spherical Surface in which the superficial density is a harmonic of the first degree.*

# Personaggi e interpreti

$E$  = il campo elettrico

$B$  = il campo magnetico

$j$  = la corrente elettrica

$\rho$  = la densità delle cariche elettriche

$\epsilon_0$  = la costante dielettrica

$\mu_0$  = la permeabilità magnetica

## Sceneggiatura

$\nabla$  (nabla) operatore differenziale vettoriale che esprime le variazioni dei campi elettrico e magnetico nello spazio tridimensionale

### Effetti speciali :

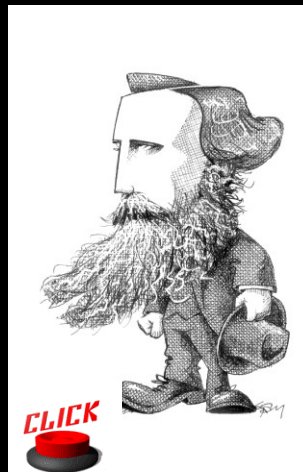
$\bullet$  = prodotto vettoriale

$\times$  = prodotto vettoriale

# 1°

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho / \epsilon_0$$

La prima equazione spiega in che modo un campo elettrico dovuto a cariche elettriche (per esempio elettroni) varia con la **distanza** (esso diventa tanto più debole quanto più cresce la distanza). Il campo, inoltre, è tanto più intenso quanto maggiore è la **densità di carica  $\rho$**  (quanto più grande è il numero di elettroni contenuti in un dato spazio).

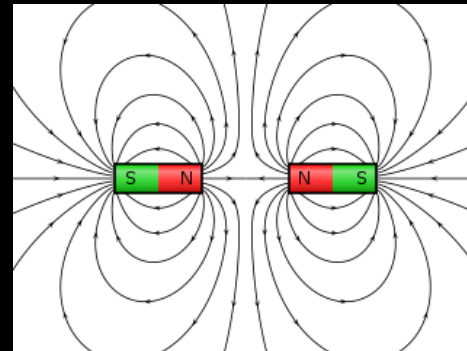
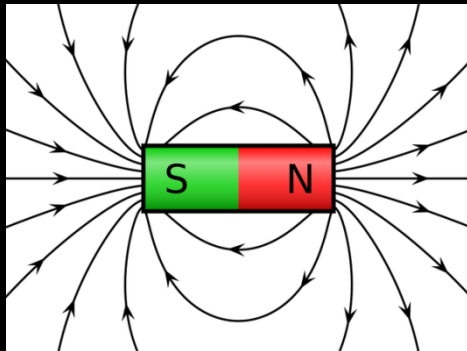


# 2°



$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

La seconda equazione ci dice che nel **magnetismo** non c'è una proporzione paragonabile alla prima, in quanto le "cariche" magnetiche (o "monopoli" magnetici) non esistono: se tagliamo in due parti un magnete a barra, non otterremo un polo "nord" e un polo "sud" isolati, ma ogni pezzo della calamita avrà un suo polo "nord" e un suo polo "sud".



# Teoremi di Gauss



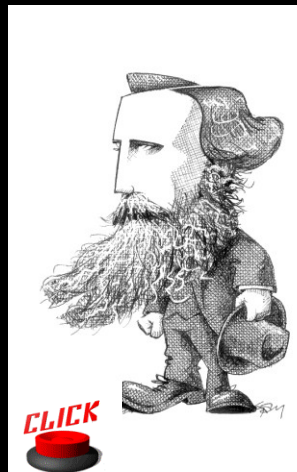
3°

Indica la  
variazione nel  
tempo.

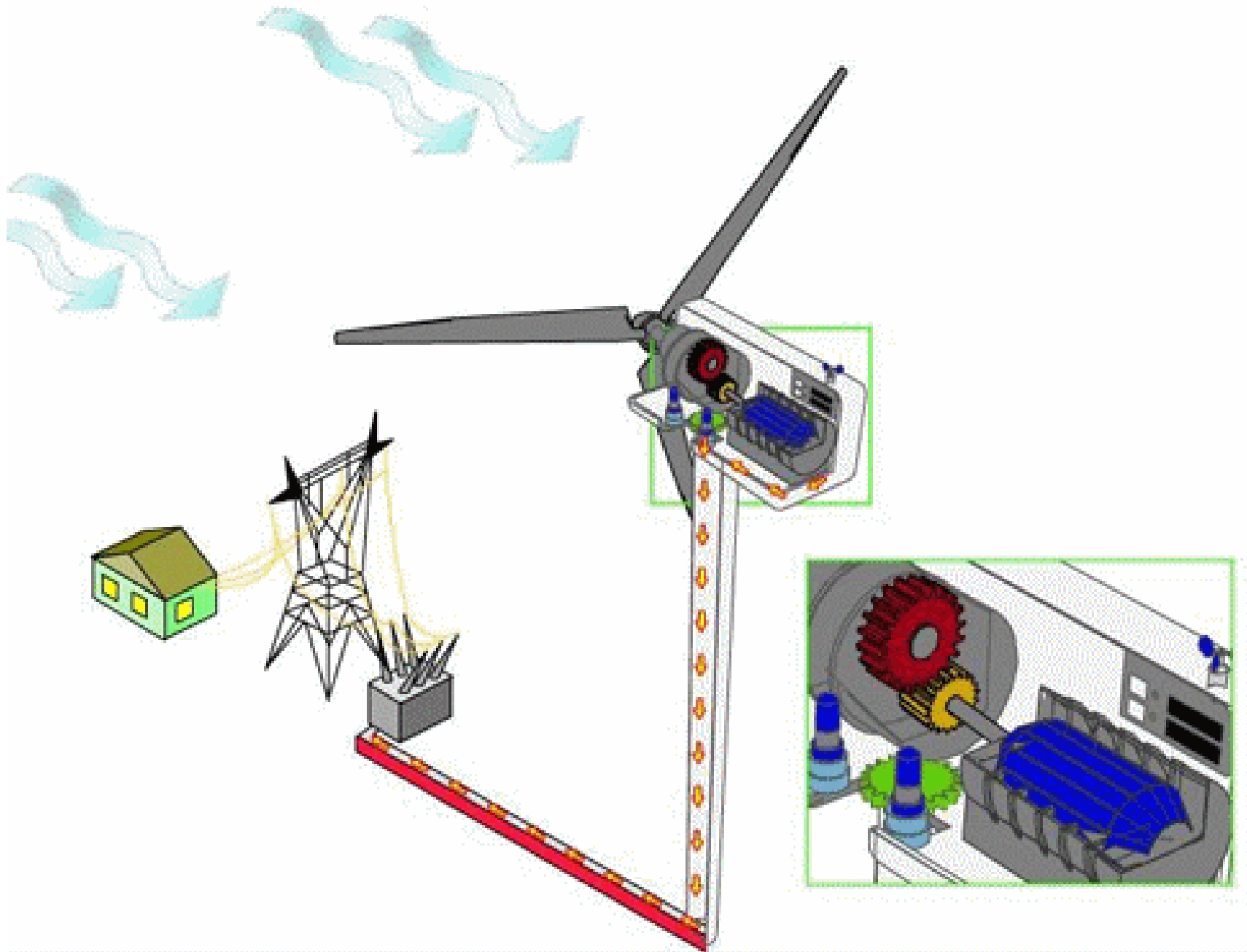
$$\nabla \times E = -\dot{B}$$

La terza equazione ci dice in che modo un **campo magnetico variabile** induca un **campo elettrico**.

Faraday - Henry



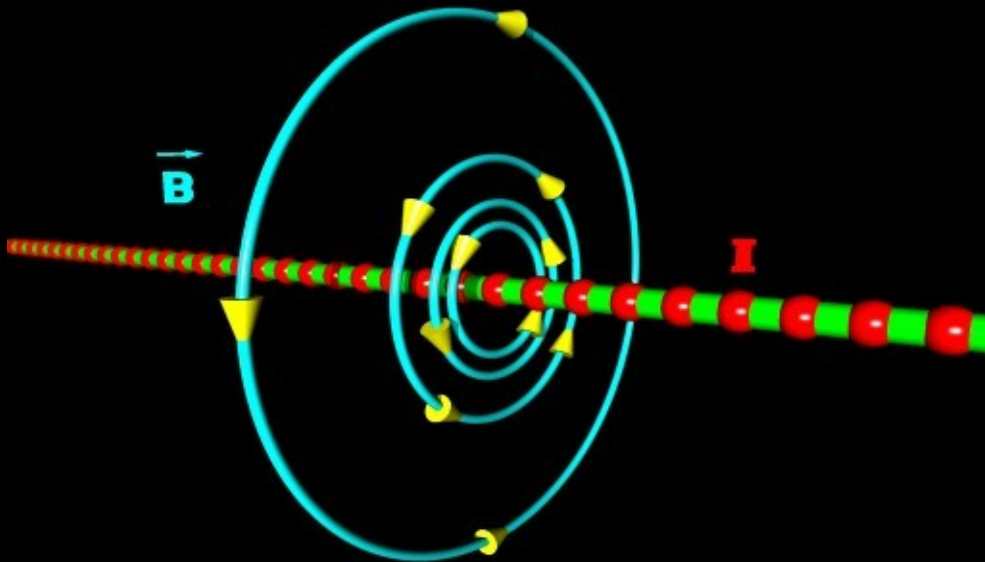




# 4°

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \dot{\mathbf{E}}$$

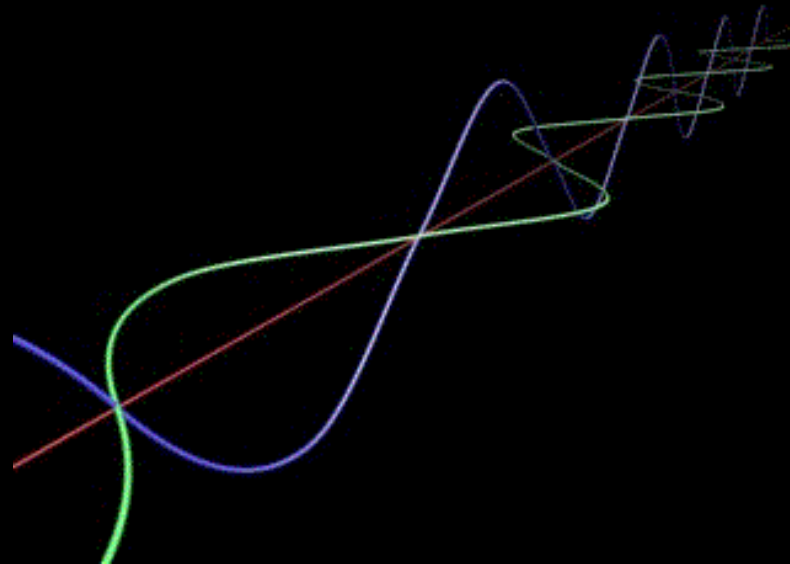
La quarta equazione descrive l'inverso della terza: in che modo un **campo elettrico variabile** (o una corrente elettrica) induca un **campo magnetico**.



# Una conseguenza imprevista

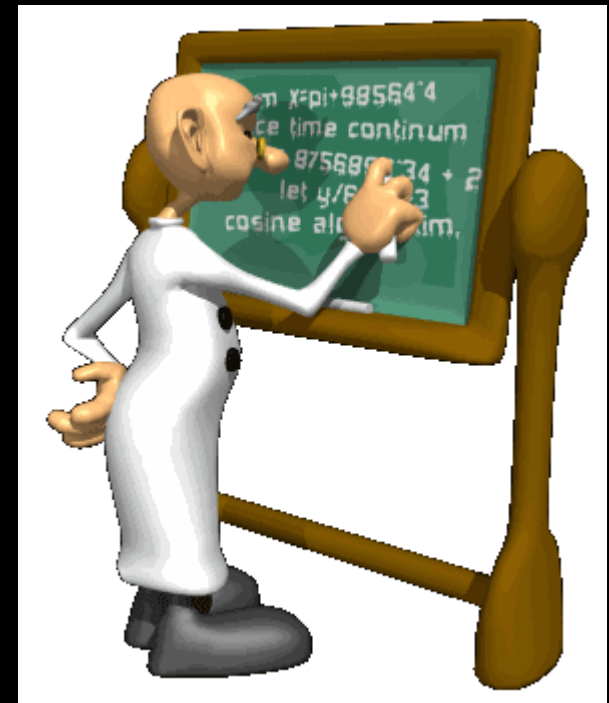
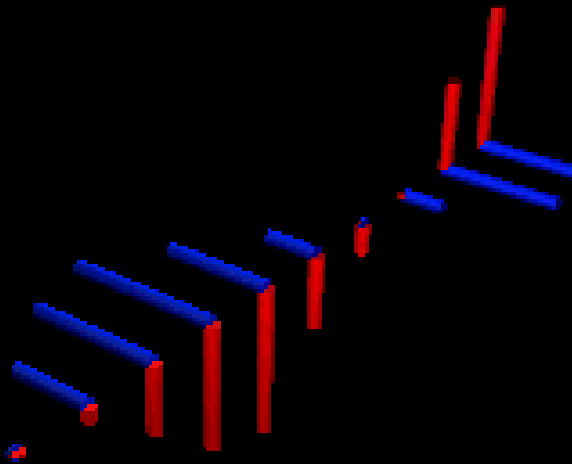
Una delle conseguenze delle equazioni di Maxwell è che **E** e **B** si propagano nello spazio vuoto come se fossero

**onde**



# Ma c'è di più

A differenza di quanto si credesse prima, i campi elettrico e magnetico generati dalla variazione nel tempo di uno dei due sono in grado di **autosostenersi**



# Altra sorpresa!

E se calcolassimo la velocità di queste onde?

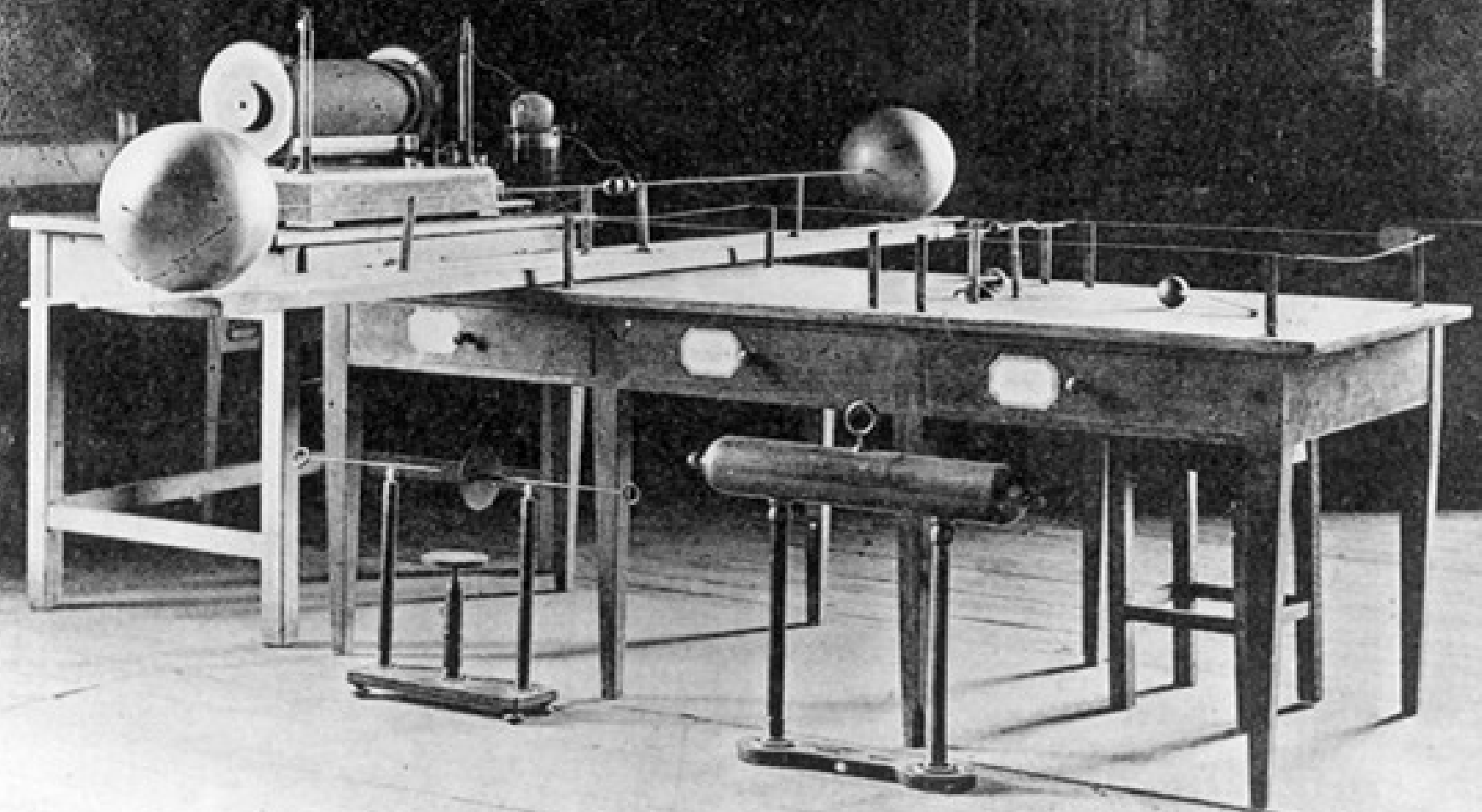
$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

*c* dal latino *celeritas*

$\mu_0$  ed  $\epsilon_0$  erano stati misurati in laboratorio  
la velocità della onde era la stessa della luce!

**L'ottica diventava un capitolo  
dell'elettromagnetismo**

# Laboratori ad alta tecnologia



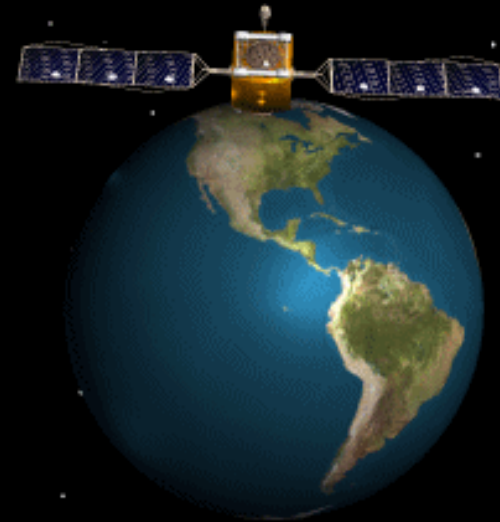
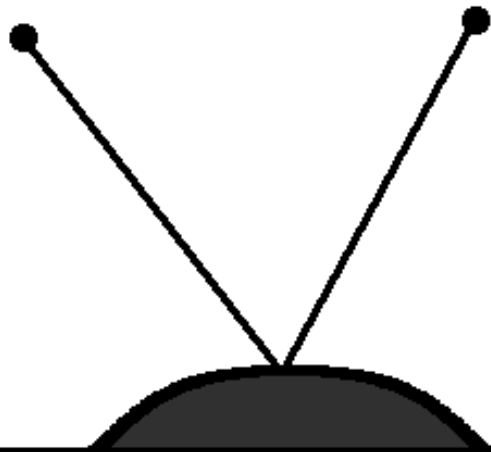
**Un mondo senza Maxwell?**



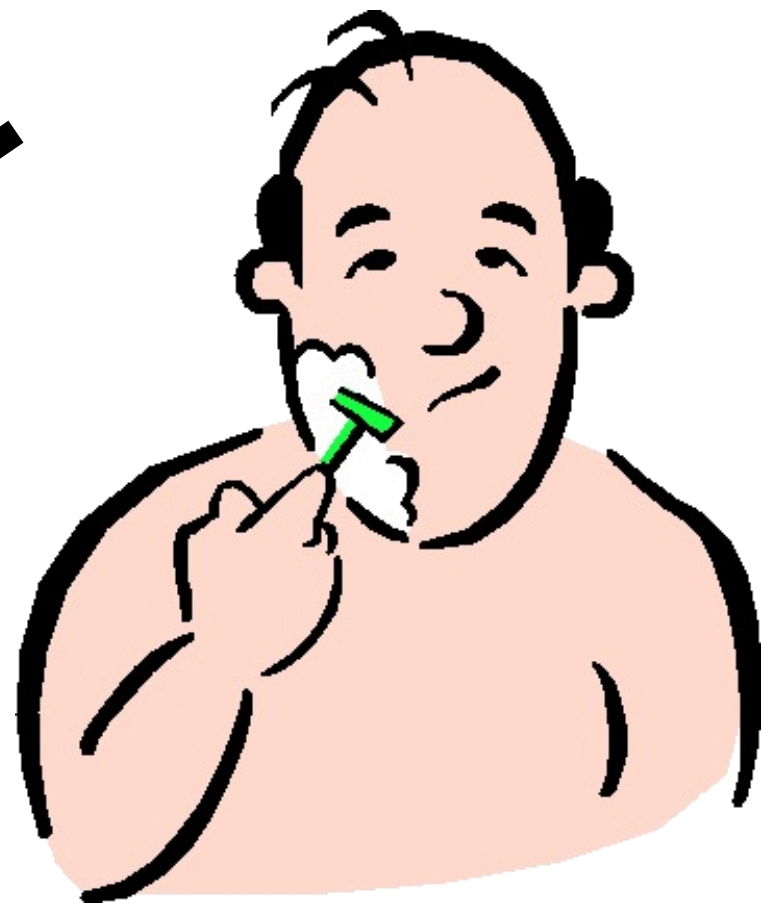


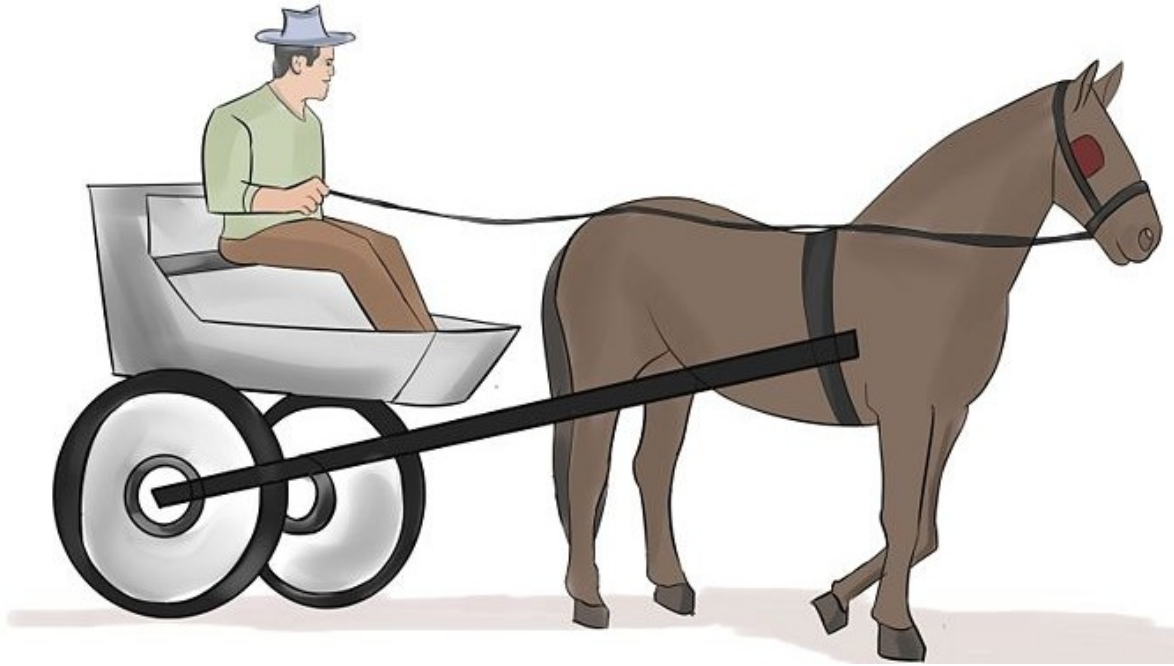


# Che tempo fa?









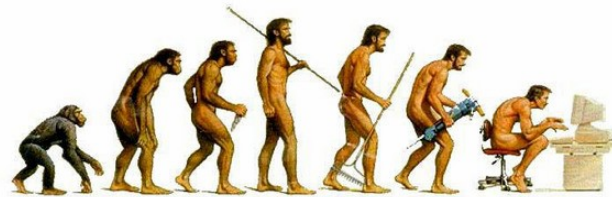






# Qualcosa di più profondo?

Le equazioni di Maxwell, come tutte le grandi scoperte scientifiche, sono certamente il risultato di un progresso costante, ma costituiscono anche un punto di **discontinuità nell'evoluzione**, introducendo una modificazione sostanziale della storia umana.





# Conoscenza ed evoluzione

La vita di nessuno dei nostri progenitori - cacciatori e raccoglitori – dipese mai dalla comprensione dei campi elettrici e magnetici variabili nel tempo.



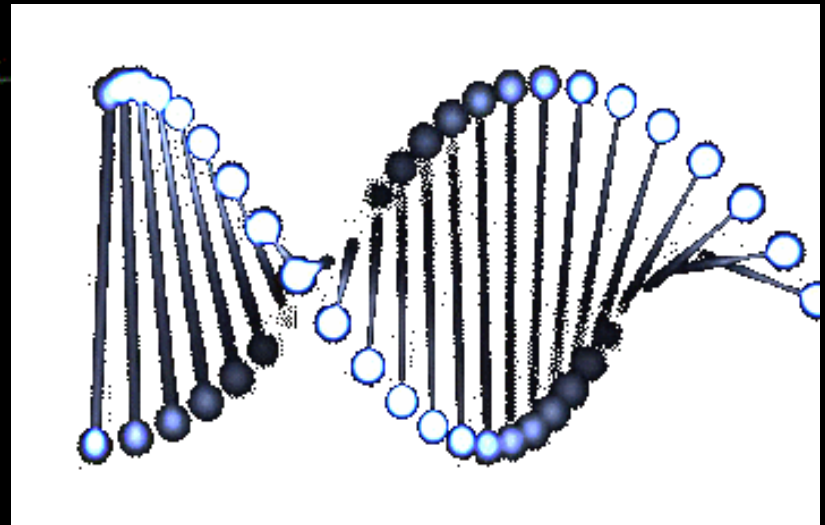
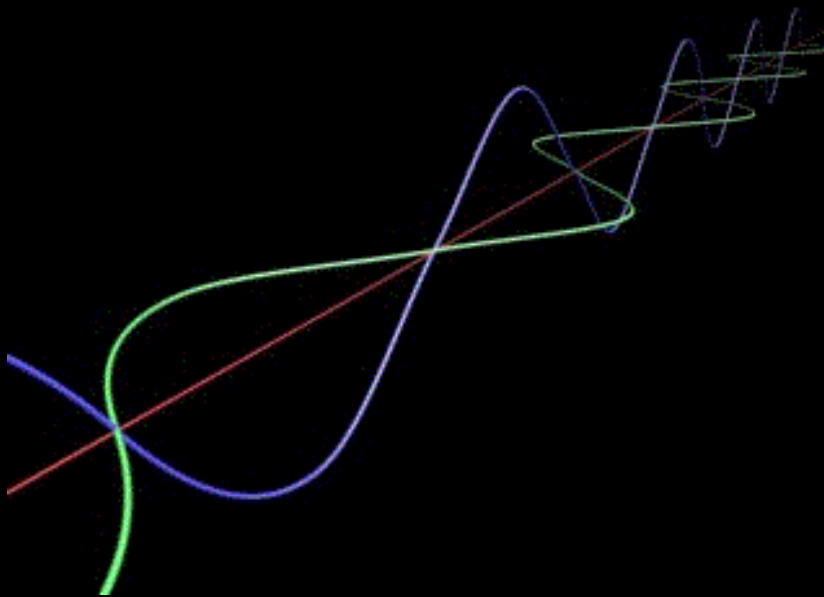
# Un vantaggio evolutivo

Ma la scoperta delle leggi fondamentali agisce come un **vantaggio evolutivo** per la nostra specie.



Anche quando non ce ne rendiamo conto, le equazioni di Maxwell sono ormai divenute parte del nostro patrimonio culturale.

# Un confronto suggestivo



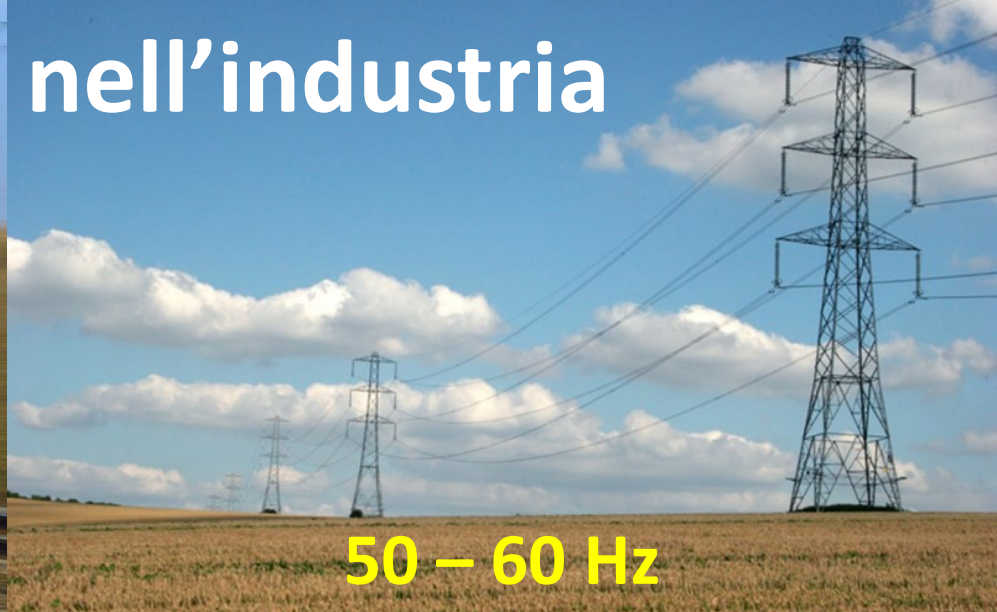
# Campi EM di utilizzo quotidiano



# Campi EM nell'industria



0 – 50 Hz



50 – 60 Hz



50 – 60 Hz



0.3 – 3 GHz

# Campi EM nell'industria



AM 30 kHz – 3 MHz



0,3 – 3 MHz



3 - 30 GHz



FM 30 – 300 MHz

# Campi EM nella sanità

0.4 – 2 MHz



3 – 30 MHz



80 Hz – 2500 Hz



Campi statici e variabili a  
bassa frequenza e RF



**Esistono rischi ?  
Possiamo difenderci ?**

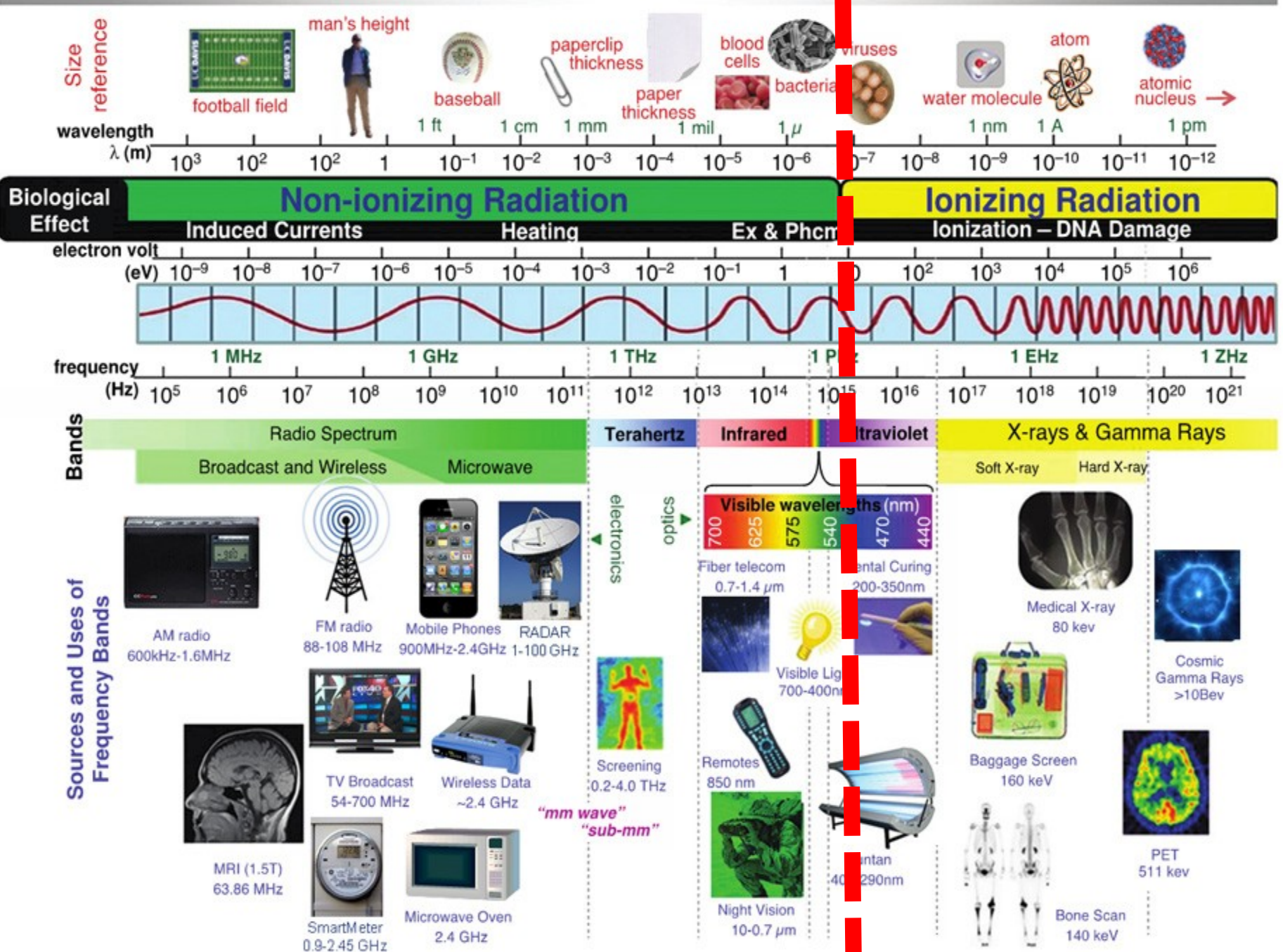


# Gli agenti fisici

Dal punto di vista della sicurezza, i campi elettromagnetici sono considerati **agenti di rischio fisico**, assieme a:

- Radiazioni ionizzanti
  - Radiazioni non ionizzanti
  - Rumore
  - Ultrasuoni e infrasuoni
  - Vibrazioni
  - Radiazione Ottica Artificiale (coerente e non coerente)
  - Microclima
- 

# ELECTROMAGNETIC RADIATION SPECTRUM



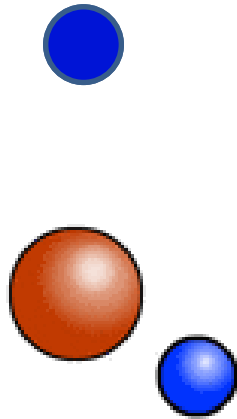
# Effetto Fotoelettrico

Nella radiazione elettromagnetica l'energia non è distribuita in modo uniforme sull'intero fronte dell'onda ma concentrata in singoli **quanti** di energia, i **fotoni**



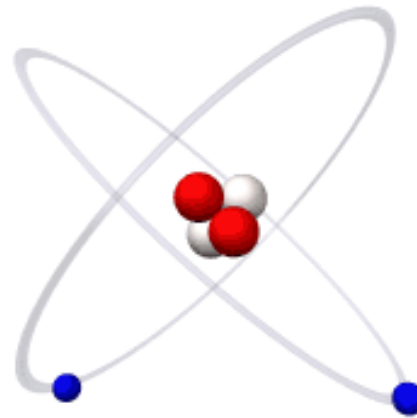
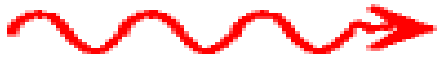
Ciascun fotone interagisce singolarmente con un **elettrone**, al quale cede la sua energia.

# Ionizzazione dell'atomo



# Avviene sempre?

La ionizzazione avviene soltanto quando l'**energia** del fotone incidente supera un determinato valore di **soglia**, necessario a spezzare il legame dell'elettrone con l'atomo



# Effetto Fotoelettrico

Questa “soglia minima” di energia del fotone si determina in base alla **relazione di Einstein**:

$$E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda$$

$h$  = costante di Planck

$f$  = frequenza

$\lambda$  = lunghezza d'onda

$c$  = velocità della luce



# Effetto Fotoelettrico



Cliccami

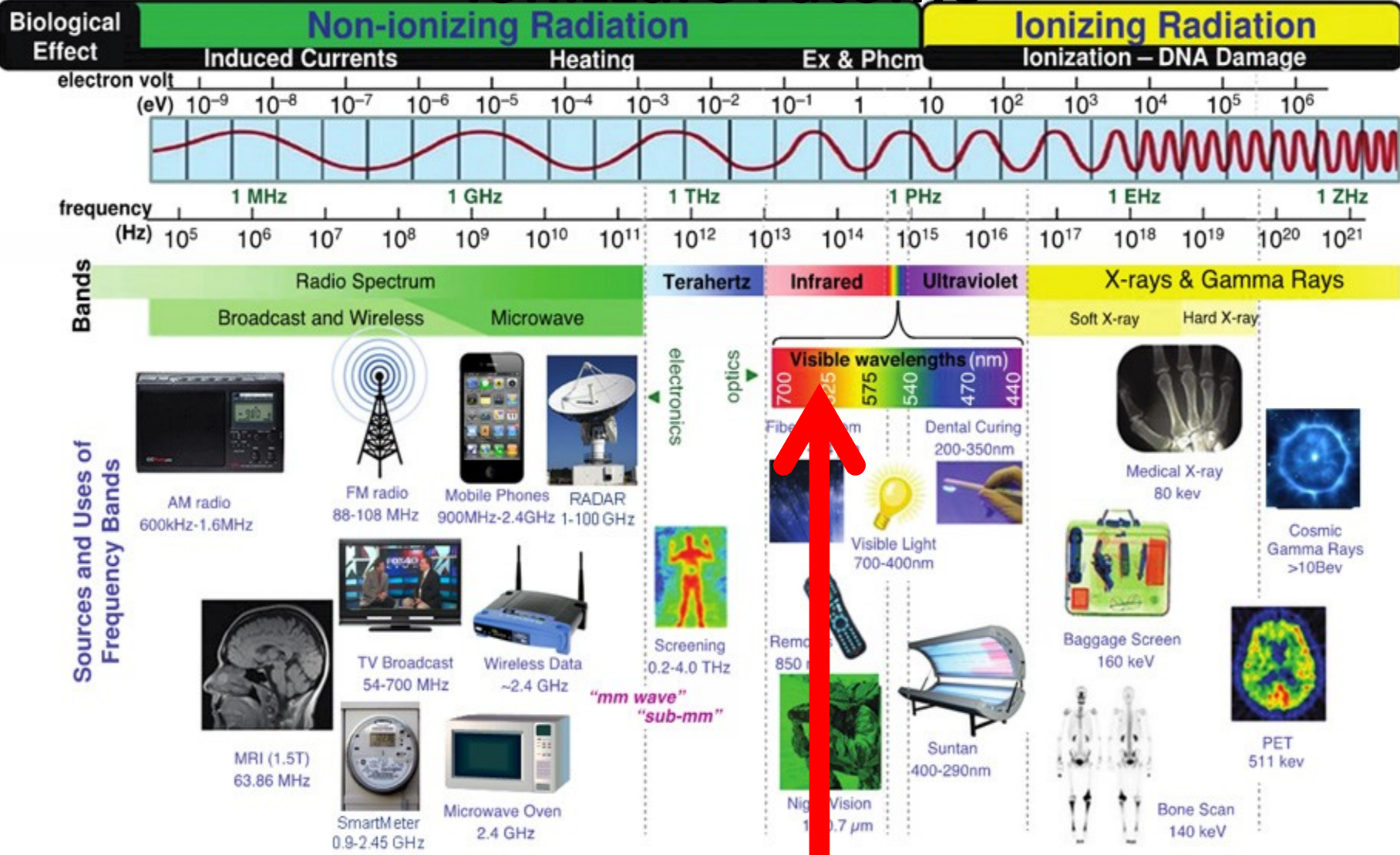
# E allora ?

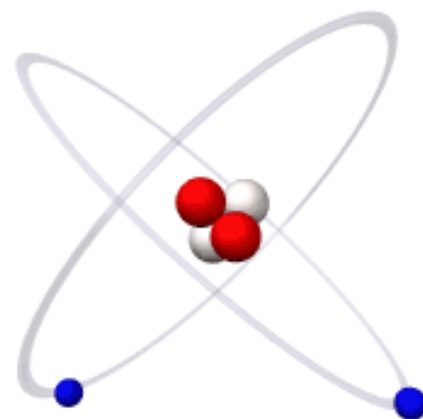




# ELECTROMAGNETIC RADIATION SPECTRUM

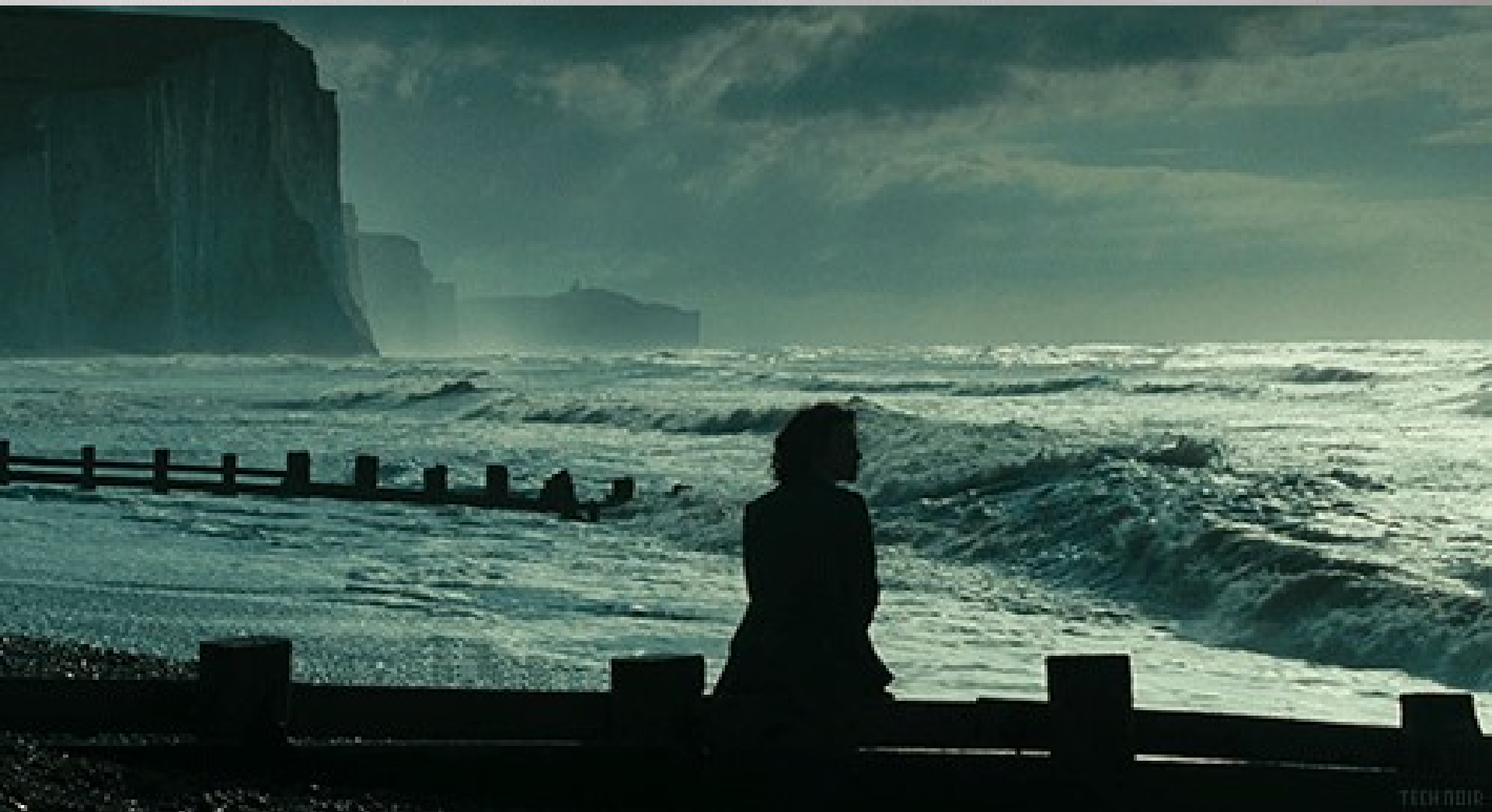
## Sotto la soglia di energia, le radiazioni elettromagnetiche non possono ionizzare l'atomo





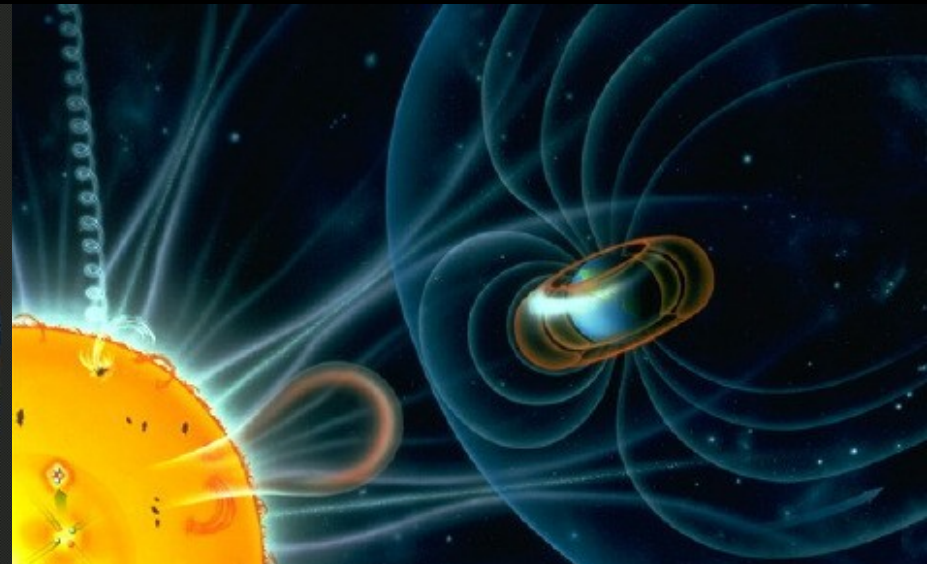
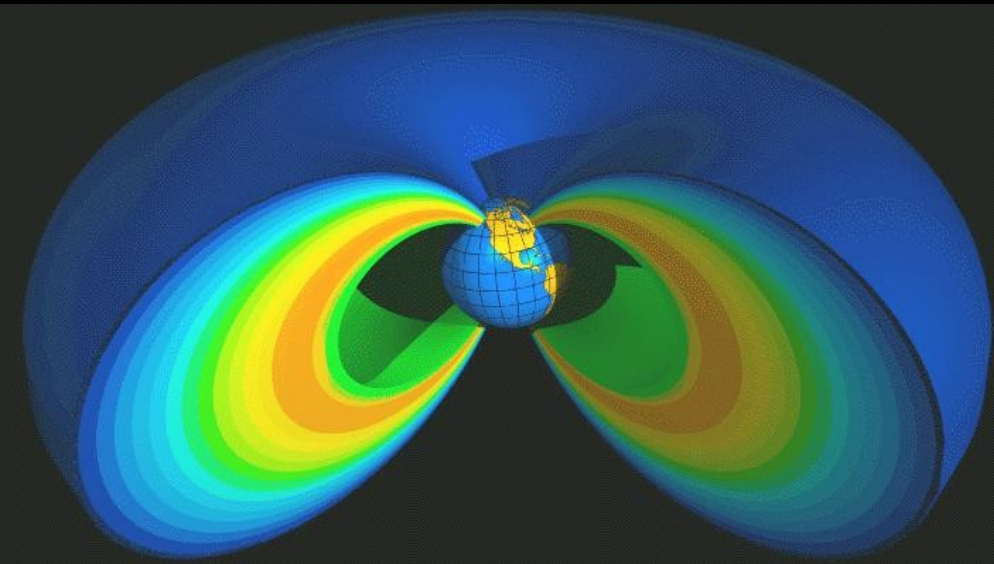


**Quindi non esiste rischio?**





# Campi elettromagnetici in natura



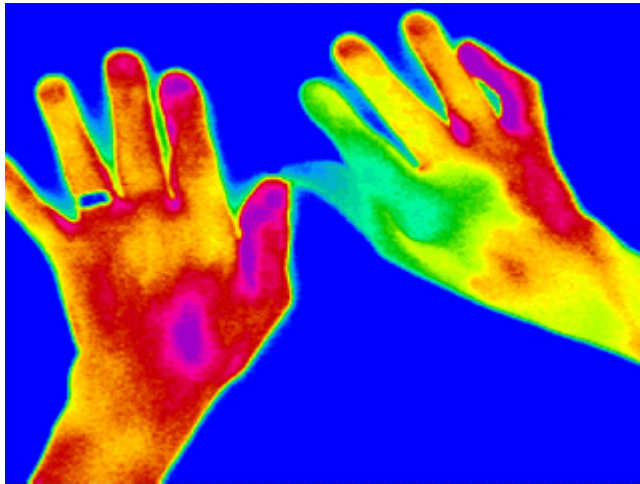
**Tutto il resto è opera dell'uomo**



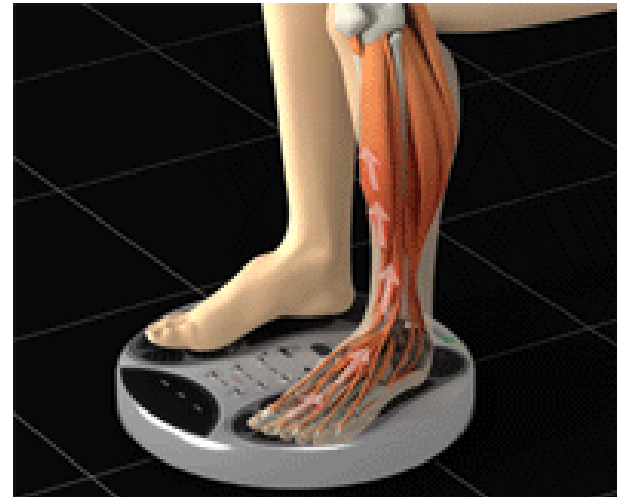
**Se li vedessimo, rimarremmo abbagliati...**

Anche se per i tessuti viventi possiamo escludere la ionizzazione degli atomi, vi sono però altri effetti noti generati dai **campi elettromagnetici**

**Effetti termici**



**Effetti non termici**





# Effetti biologici ed effetti sanitari

I campi elettromagnetici possono indurre **effetti biologici** che in alcuni casi possono portare ad effetti di **danno alla salute**

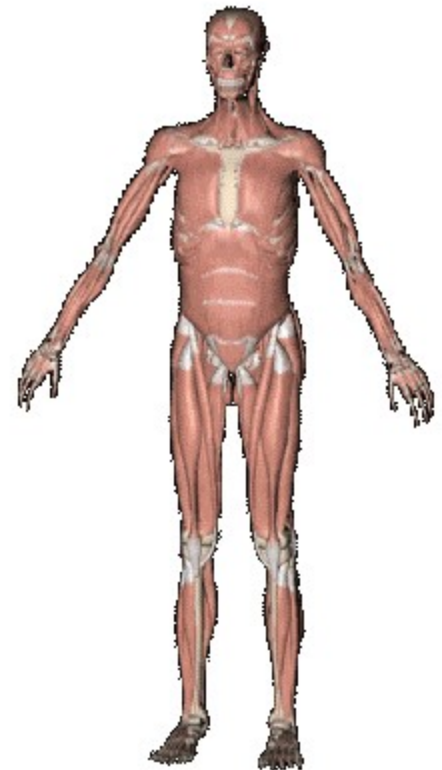
- un **effetto biologico** si verifica quando l'esposizione provoca qualche variazione fisiologica notevole o apprezzabile in un sistema o organo
- un **effetto di danno** alla salute si verifica quando l'effetto biologico è al di fuori dell'intervallo in cui l'organismo può normalmente compensarlo, e ciò porta a qualche condizione di detrimento della salute

# Effetti diretti dei CEM

L'interazione dei CEM con la materia biologica produce due effetti diretti accertati :

- induzione di correnti nei tessuti - muscolari e nervosi - elettricamente stimolabili
- cessione di energia con rialzo te

L'induzione di correnti nei tessuti è un effetto a soglia, per il quale la densità di corrente elettrica deve essere maggiore di un determinato valore



# Effetti transitori minori



**Fosfeni della retina**

**Sapore metallico**

**Nausea**

**Vertigini**



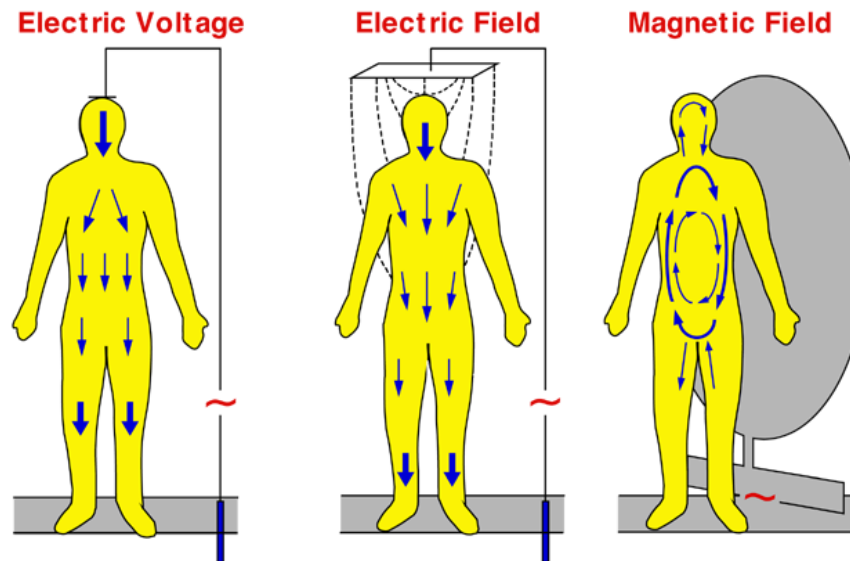
**Questi effetti possono rappresentare un potenziale rischio in funzione dell'ambiente di lavoro e dei compiti del lavoratore**



# Meccanismi di interazione

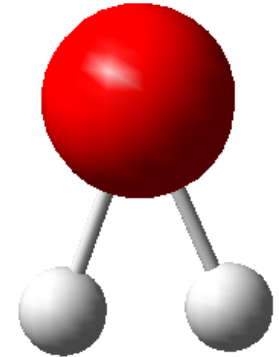
I meccanismi di interazione dei campi EM con i tessuti viventi dipendono dalla **frequenza**

Fino alla frequenza di circa 1 MHz prevale l'**induzione di correnti elettriche** nei tessuti elettricamente stimolabili (nervi e muscoli).



# Meccanismi di interazione

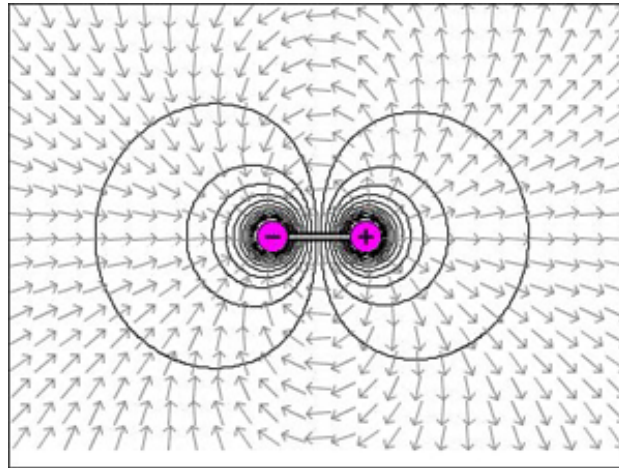
All'aumentare della frequenza diventa prevalente l'assorbimento di energia nei tessuti attraverso il rapido movimento oscillatorio di ioni e molecole di acqua, con conseguente **sviluppo di calore**



- a frequenze superiori a circa 10 MHz questo effetto è l'unico a permanere
- al di sopra di 10 GHz l'assorbimento è esclusivamente superficiale

# Effetti termici

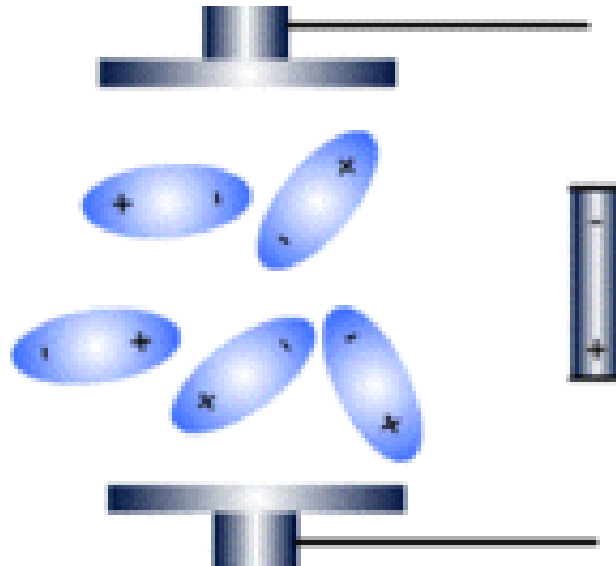
Sotto l'azione del campo E.M le molecole dotate di un momento di dipolo elettrico tendono ad orientarsi nella direzione del campo elettrico, mentre quelle dotate di un momento magnetico tendono ad orientarsi come il campo magnetico



Essendo il campo EM oscillante i dipoli elettrici e magnetici sono sottoposti a vibrazioni forzate.

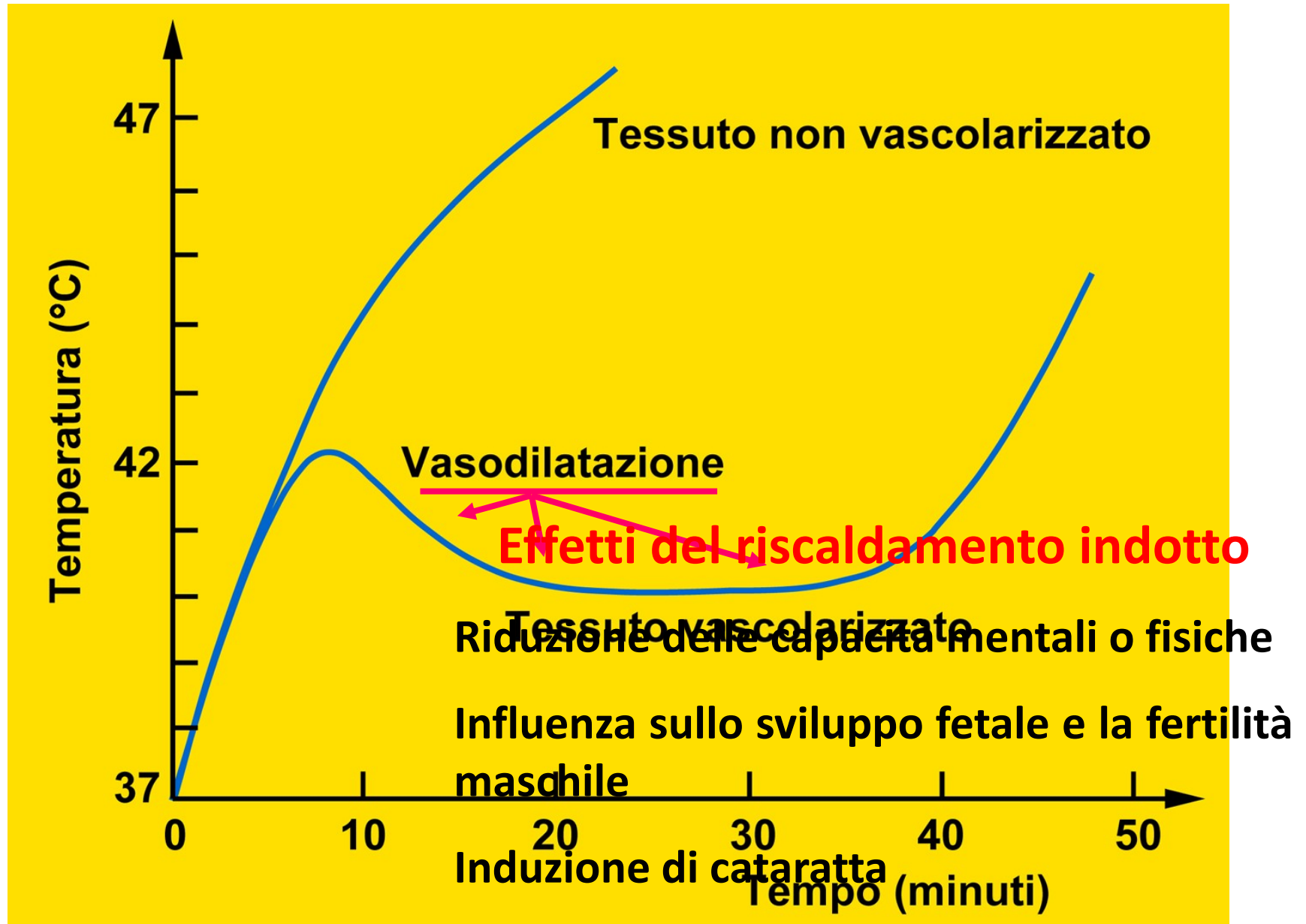
# Effetti termici

Il massimo assorbimento di energia nel tessuto si ha quando il campo oscilla con la stessa frequenza naturale dei dipoli.



L'energia di rotazione e vibrazione acquistata dalle molecole si converte in **energia termica** riscaldando il tessuto irradiato.

# Organi critici





# Effetti indiretti dei CEM

**Correnti di contatto** Quando il corpo umano viene in contatto con un oggetto a diverso potenziale elettrico e possono indurre percezioni dolorose, contrazioni muscolari, ustioni

**Accoppiamento del CEM** con dispositivi elettromedicali (compresi stimolatori cardiaci) e altri dispositivi impiantati o portati dal soggetto esposto.



# Effetti indiretti dei CEM

**Rischio propulsivo** di oggetti ferromagnetici all'interno di intensi campi magnetici statici

**Innesco di elettrodetonatori** e rischio incendio di materiali infiammabili per scintille provocate dalla presenza dei CEM nell'ambiente



# Bombola di ossigeno



# Sistema di protezione dai CEM



## Linee Guida ICNIRP

- **Campi variabili nel tempo fino a 300 GHz**
- **Campi magnetici statici**
- **Campi variabili tra 1 Hz e 100 kHz**

# PUBLICATIONS

ICNIRP endeavours to communicate its views, advice and recommendations as widely as possible through this website and all its publications.

ICNIRP publications consist mainly of Guidelines, Statements, Reviews, Proceedings of Workshops and Notes. Almost all the material is available for free as downloads, except for the ICNIRP Blue Books and related pdf files, CDs and some documents published in Journals or published jointly with other organizations.

[Frequencies](#)[Applications](#)[Publications](#)[Media Types](#)

## Guidelines on Induced Electric Fields - 2014

GUIDELINES

1 March 2014

Guidelines for Limiting Exposure to Electric Fields Induced by Movement of the Human Body in a Static Magnetic Field and by Time-Varying Magnetic Fields below 1 Hz. Health Physics 106(3):418-425; 2014.



## NIR in Medicine - 2013

PROCEEDINGS | REPORTS

16 Oct 2013

NIR in Medicine. Report of the ICNIRP/WHO Workshop on NIR

## NEWS

[> View all](#)

### MAR 2015 **Thermal Damage**

Joint Workshop on Thresholds of Thermal Damage, 26-28 May 2015

### JAN 2015 **New members**

ICNIRP welcomes Brian Lund as an ICNIRP Commission member, and Masami Kojima, Sharon Miller and Simon Mann as SEG members.

### NOV 2014 **EHC on RF fields**

WHO is updating the Environmental Health Criteria document on RF fields. A first draft is now open for consultation

## TOOLS & TOPICS



# Direttive UE

29.6.2013

IT

Gazzetta ufficiale dell'Unione europea

L 179/1

I

(Atti legislativi)

## DIRETTIVE

**DIRETTIVA 2013/35/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO**

**del 26 giugno 2013**

**sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (ventesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE) e che abroga la direttiva 2004/40/CE**

IL PARLAMENTO EUROPEO E IL CONSIGLIO DELL'UNIONE EUROPEA,

visto il trattato sul funzionamento dell'Unione europea, in particolare l'articolo 153, paragrafo 2,

vista la proposta della Commissione europea,

direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE<sup>(3)</sup>, i soggetti interessati, in particolare quelli del settore medico, hanno manifestato serie preoccupazioni sul potenziale impatto dell'attuazione di tale direttiva sull'utilizzazione di procedure mediche basate sulla diagnostica per immagini. Sono state inoltre espresse preoccupazioni in merito all'impatto della direttiva su talune attività industriali.



# Normativa nazionale

## Per la protezione dei lavoratori vale tuttora il dettato di cui al Titolo VIII, Capo IV del D.Lgs. 81

### Capo IV

### Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a campi elettromagnetici

### Art. 206.

### Campo di applicazione

1. Il presente capo determina i requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici (da 0 Hz a 300 GHz), come definiti dall'articolo 207, durante il lavoro. Le disposizioni riguardano la protezione dai rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti nocivi **a breve termine conosciuti** nel corpo umano derivanti dalla circolazione di correnti indotte e dall'assorbimento di energia, e da correnti di contatto.
2. **Il presente capo non riguarda la protezione da eventuali effetti a lungo termine e i rischi risultanti dal contatto con i conduttori in tensione.**



# Definizioni

## «Valori limite di esposizione (VLE)»

valori stabiliti sulla base di considerazioni biofisiche e biologiche, in particolare gli effetti diretti acuti e a breve termine scientificamente accertati, ossia gli effetti termici e l'elettrostimolazione dei tessuti;

## «VLE relativi agli effetti sensoriali»

VLE al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a disturbi temporanei delle percezioni sensoriali e a modifiche minori delle funzioni cerebrali;

## «VLE relativi agli effetti sanitari»

VLE al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a effetti nocivi per la salute, quali il riscaldamento termico o la stimolazione del tessuto nervoso o muscolare;

## «livelli di azione (LA)»

livelli operativi stabiliti per semplificare il processo di dimostrazione della conformità ai pertinenti VLE o, eventualmente, per prendere le opportune misure di protezione o prevenzione specificate nella presente direttiva.



# Esposizioni professionali

Ogni tipo di esposizione dei lavoratori che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici



Sono esposizioni di carattere professionale quelle strettamente correlate e necessarie alle finalità del processo

# Quali effetti si vogliono prevenire?

Le misure previste dal Titolo VIII del DLgs.81/2008 sono specificamente mirate alla protezione dagli **effetti certi** che hanno una ricaduta in termini sanitari *“rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti nocivi a breve termine conosciuti nel corpo umano derivanti dalla circolazione di correnti indotte e dall’assorbimento di energia, e da correnti di contatto”*.

Si tratta degli effetti conosciuti di tipo **deterministico**, di cui cioè esiste, ed è stata definita, una soglia di insorgenza, e la cui gravità può variare in funzione dell’intensità dell’esposizione (DLgs.81/2008, art. 206 comma 1).

# Quali effetti si vogliono prevenire?

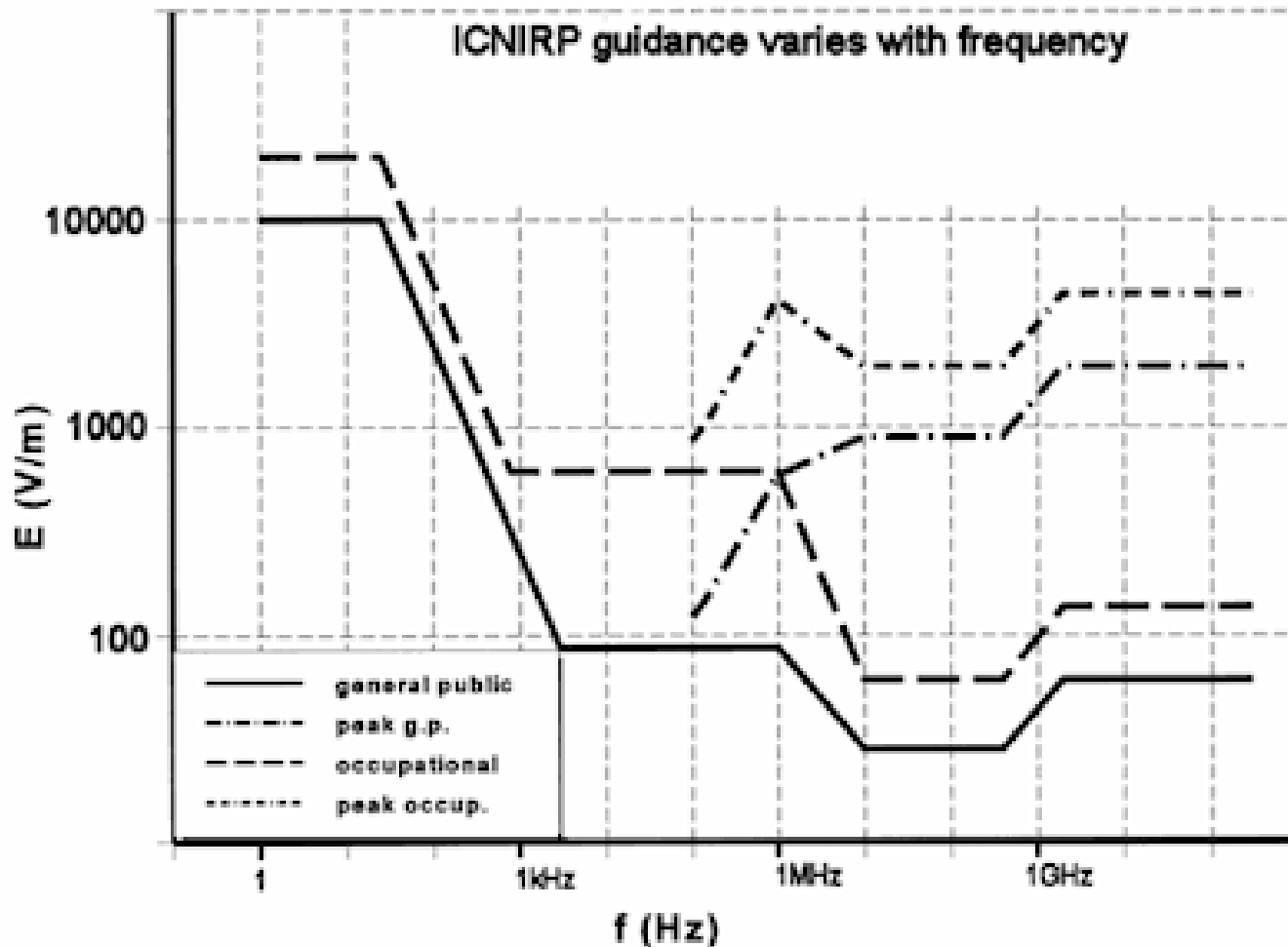
La norma **non riguarda** la protezione da eventuali effetti a **lungo termine, per i quali mancano dati scientifici conclusivi su un nesso di causalità, né i rischi conseguenti al contatto con conduttori in tensione.**

# Effetti non considerati dalle norme



# Valori limite differenziati

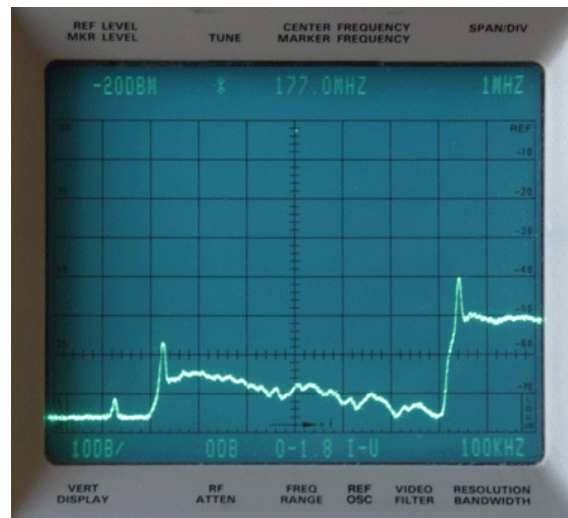
I limiti dipendono dal tipo di assorbimento, che varia al variare della frequenza.



# Basse frequenze

Fino alla frequenza di 10 MHz, i valori limite di esposizione ed i valori di azione sono finalizzati a prevenire effetti di stimolazione elettrica a carico dei tessuti stimolabili, in primo luogo i tessuti nervoso e muscolare.

Tali effetti seguono un profilo **a soglia** e si manifestano su base temporale sostanzialmente **istantanea**.



# Basse frequenze

Per tale motivo, in particolare al di sotto di 100 kHz, il rispetto dei limiti e valori di azione deve essere garantito **su base istantanea**, senza alcuna operazione di media temporale, per tutto il tempo di esposizione durante la giornata di lavoro.

A tal fine, nell'arco di una intera giornata lavorativa, le misure devono essere effettuate nelle condizioni di **massima emissione** delle attrezzature.



# Alte frequenze

Per campi a frequenze tra 100 kHz e 10 GHz, i limiti di esposizione e valori d'azione sono invece finalizzati a prevenire l'eccessivo **riscaldamento** a livello sistemico e locale.

La valutazione dell'esposizione va quindi effettuata considerando la **potenza media** per ogni intervallo di 6 minuti, per tenere in conto i tempi di risposta del sistema di termoregolazione del corpo umano.





# Limiti dosimetrici primari

Per le alte frequenze, la dosimetria delle NIR può essere ricondotta al calcolo di un parametro riassuntivo denominato **SAR (Specific Absorption Rate)**, che esprime la potenza per unità di massa ed è dato dalla seguente espressione:

$$SAR = \frac{1}{2\rho} \sigma E^2 \quad \frac{W}{Kg}$$

Poiché la densità e il campo elettrico dipendono dal tipo di tessuto e l'uomo non è costituito da un corpo omogeneo, il **SAR medio** deve essere calcolato integrando la relazione sopra scritta:

$$SAR_m = \frac{1}{V} \int \frac{\sigma(x, y, z)}{2\rho(x, y, z)} E^2(x, y, z) dV$$

# Parametri di emissione che influiscono sull'assorbimento dell'energia e sulle risposte biologiche

**Frequenza**

**Polarizzazione**

**Densità di potenza**

**Situazione di campo (vicino o lontano)**

**Potenza**

## **Parametri biologici**

Età e sesso

Condizioni di salute

Proprietà dielettriche del tessuto

Dimensioni del soggetto

## **Parametri ambientali**

Durata di esposizione

Esposizione parziale o a corpo intero

Superfici riflettenti circostanti

# SAR mediato sul corpo intero e induzione di effetti biologici nocivi

100 W/kg (medio) Ipertermia generalizzata, insufficienza dei meccanismi termoregolatori

100 W/kg (locale) Rapida induzione di cataratta

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

# Valori limite di esposizione

La sperimentazione su animali indica come soglia di danno alla salute un innalzamento costante della temperatura di 1°C, che corrisponde ad un valore di SAR medio di 4 W/kg

limite accettato per i lavoratori : 0,4 W/kg

limite accettato per la popolazione : 0,08 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)

# Limiti operativi (Livelli di azione)

Poiché non è possibile eseguire una misura di SAR su un essere umano, viene attuato un insieme di restrizioni sulle grandezze che sono effettivamente misurabili nell'ambiente

<b>campo elettrico</b>	<b>V/m</b>
<b>campo magnetico</b>	<b>A/m</b>
<b>induzione magnetica</b>	<b><math>\mu\text{T}</math></b>
<b>densità di potenza</b>	<b><math>\text{W}/\text{m}^2</math></b>

# Livelli di azione

I livelli di azione garantiscono il rispetto delle restrizioni di base ma:

- **non proteggono dall'assorbimento locale di energia** (sono intesi come media spaziale sul volume occupato dal soggetto esposto)
- **non proteggono da scosse e ustioni per contatto**

Ustione da RF. Il braccio del paziente era a contatto con la parete di una bobina per il corpo utilizzata in modo trasmettente con una bobina di superficie come ricevitore. Un malfunzionamento nella bobina per il corpo ha causato una scottatura da RF di terzo grado.



# Livelli di azione ICNIRP

(esposizione lavorative)

Intervallo di frequenza	Intensità del campo elettrico (V/m)	Intensità del campo magnetico (A/m)	Induzione magnetica ( $\mu\text{T}$ )	Densità di potenza dell'onda piana equivalente $P_{eq}$ ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
fino a 1 Hz	-	$1.63 \times 10^5$	$2 \times 10^5$	-
1-8 Hz	20000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-
8-25 Hz	20000	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^4/f$	-
0.025-0.82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	-
0.82-65 kHz	610	24.4	30.7	-
0.065-1 MHz	610	$1.6/f$	$2.0/f$	-
1-10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	$2.0/f$	-
10-400 MHz	61	0.16	0.2	10
400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	$f/40$
2-300 GHz	137	0.36	0.45	50

f come indicato nella colonna dell'intervallo delle frequenze

I valori d'intensità di campo possono essere superati nel caso siano rispettati i limiti di base e possa essere esclusa la presenza di effetti indiretti

Per tutte le frequenze comprese tra 100 kHz e 10 GHz,  $P_{eq}$ ,  $E^2$ ,  $H^2$ , e  $B^2$  devono essere mediati su ogni intervallo di sei minuti

# Valori limite di esposizione D.Lgs 81/08

## Allegato XXXVI, lettera A, tabella 1

<i>Intervallo di frequenza</i>	<i>Densità di corrente per capo e tronco J (mA/m<sup>2</sup>) (rms)</i>	<i>SAR mediato sul corpo intero (W/kg)</i>	<i>SAR localizzato (capo e tronco) (W/kg)</i>	<i>SAR localizzato (arti) (W/kg)</i>	<i>Densità di potenza (W/m<sup>2</sup>)</i>
fino a 1 Hz	40	-	-	-	-
1 Hz - 4 Hz	40/f	-	-	-	-
4 Hz - 1000 Hz	10	-	-	-	-
1000 Hz - 100 kHz	f/100	-	-	-	-
100 kHz - 10 MHz	f/100	0,4	10	20	-
10 MHz - 10 GHz	-	0,4	10	20	-
10 GHz - 300 GHz	-	-	-	-	50



# Valori di azione D.Lgs 81/08

## Allegato XXXVI, lettera B, tabella 2

<i>Intervallo di frequenza</i>	<i>Intensità di campo elettrico E (V/m)</i>	<i>Intensità di campo magnetico H (A/m)</i>	<i>Induzione magnetica B (<math>\mu T</math>)</i>	<i>Densità di potenza di onda piana equivalente <math>S_{eq}</math> (<math>W/m^2</math>)</i>	<i>Corrente di contatto <math>I_c</math> (mA)</i>	<i>Corrente indotta attraverso gli arti <math>I_L</math> (mA)</i>
0 - 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	$2 \times 10^5$	-	1,0	-
1 - 8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-	1,0	-
8 - 25 Hz	20000	$2 \times 10^4/f$	$2,5 \times 10^4/f$	-	1,0	-
0,025 - 0,82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	-	1,0	-
0,82 - 2,5 kHz	610	24,4	30,7	-	1,0	-
2,5 - 65 kHz	610	24,4	30,7	-	$0,4f$	-
65 - 100 kHz	610	$1600/f$	$2000/f$	-	$0,4f$	-
0,1 - 1 MHz	610	$1,6/f$	$2/f$	-	40	-
1 - 10 MHz	$610/f$	$1,6/f$	$2/f$	-	40	-
10 - 110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10	-	-
400 - 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	$f/40$	-	-
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50	-	-



# Effetti a lungo termine

*“I campi magnetici ELF sono **possibili cancerogeni (2B)** per l’uomo, sulla base di una coerente associazione statistica tra elevati livelli residenziali e un raddoppio del rischio di **leucemia infantile**. Non si è trovata **nessuna evidenza coerente che l’esposizione residenziale o professionale degli adulti a campi ELF aumenti il rischio di alcun tipo di cancro**” (IARC 2001)*

*“Sulla base della letteratura attuale, non c’è **nessuna evidenza convincente** che l’esposizione a campi elettromagnetici a radiofrequenza abbrevi la durata della vita, né **che induca o favorisca il cancro**” (Organizzazione Mondiale della Sanità, 1998)*

# Classificazione dello IARC (*International Agency for Research on Cancer*), Agenzia dell'Organizzazione mondiale della sanità (OMS)

**Gruppo 1** Agente o composto **sicuramente cancerogeno** per l'uomo.



# Classificazione dello IARC (*International Agency for Research on Cancer*), Agenzia dell'Organizzazione mondiale della sanità (OMS)

**Gruppo 1** Agente o composto sicuramente cancerogeno per l'uomo.

**Gruppo 2A** Agente o composto **probabilmente cancerogeno** per l'uomo.

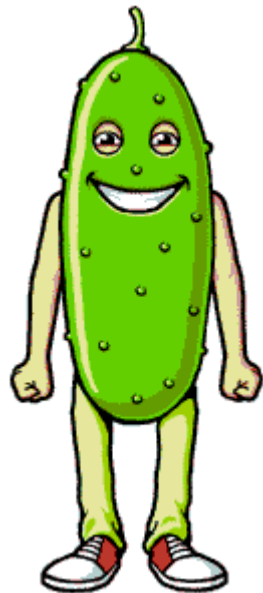


# Classificazione dello IARC (*International Agency for Research on Cancer*), Agenzia dell'Organizzazione mondiale della sanità (OMS)

**Gruppo 1** Agente o composto **sicuramente cancerogeno** per l'uomo.

**Gruppo 2A** Agente o composto **probabilmente cancerogeno** per l'uomo.

**Gruppo 2B** Agente o composto **possibilmente cancerogeno** per l'uomo.



# Classificazione dello IARC (*International Agency for Research on Cancer*), Agenzia dell'Organizzazione mondiale della sanità (OMS)

- Gruppo 1** Agente o composto **sicuramente cancerogeno** per l'uomo.
- Gruppo 2A** Agente o composto **probabilmente cancerogeno** per l'uomo.
- Gruppo 2B** Agente o composto **possibilmente cancerogeno** per l'uomo.
- Gruppo 3** Agente o composto o circostanza di esposizione **non classificabile** in base alla sua cancerogenicità per gli uomini.



# Classificazione dello IARC (*International Agency for Research on Cancer*), Agenzia dell'Organizzazione mondiale della sanità (OMS)

- Gruppo 1** Agente o composto **sicuramente cancerogeno** per l'uomo.
- Gruppo 2A** Agente o composto **probabilmente cancerogeno** per l'uomo.
- Gruppo 2B** Agente o composto **possibilmente cancerogeno** per l'uomo.
- Gruppo 3** Agente o composto o circostanza di esposizione **non classificabile** in base alla sua cancerogenicità per gli uomini.
- Gruppo 4** Agente o composto **probabilmente non cancerogeno** per l'uomo.



# La valutazione dei rischi



Titolo VIII  
Capo I  
Disposizioni generali

## Art. 181

...il datore di lavoro **valuta** tutti i rischi derivanti da esposizione ad agenti fisici in modo da identificare ed adottare le opportune misure di prevenzione e protezione con particolare riferimento alle norme di buona tecnica ed alle buone prassi

## Art. 208

I valori limite di esposizione sono riportati nell' ALLEGATO XXXVI, lettera A, tabella 1

I valori di azione sono riportati nell' ALLEGATO XXXVI, lettera B, tabella 2



# Programma di valutazione dei rischi

- IDENTIFICAZIONE DELLE SORGENTI
- IDENTIFICAZIONE DEI LAVORATORI (O DI TERZI) ESPOSTI AL RISCHIO
- INDIVIDUAZIONE DEI RISCHI DA ESPOSIZIONE
- STIMA DEI RISCHI DI ESPOSIZIONE
- STUDIO DELLA POSSIBILITÀ DI ELIMINARE O RIDURRE IL RISCHIO
- INFORMAZIONE E FORMAZIONE DEI LAVORATORI

# Programma di valutazione dei rischi

## IDENTIFICAZIONE DELLE SORGENTI

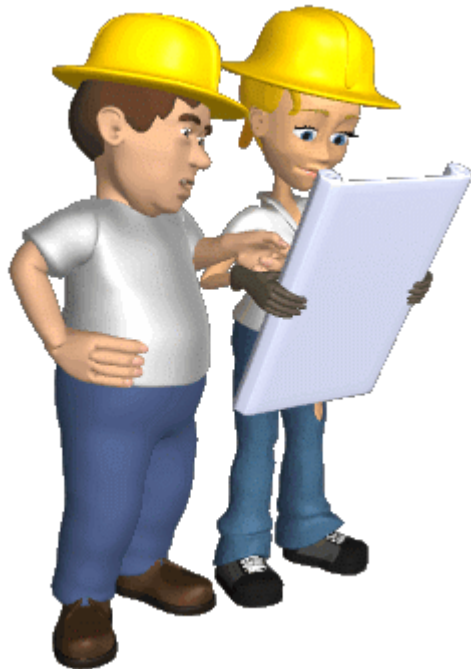
- Verifica delle caratteristiche dei macchinari
- Valori di emissione e confronto con i limiti



# Programma di valutazione dei rischi

## INDIVIDUAZIONE DEI RISCHI DA ESPOSIZIONE

- Analisi dell'attività lavorativa
- Studio dell'ambiente di lavoro



# Programma di valutazione dei rischi

## IDENTIFICAZIONE DEI LAVORATORI ESPOSTI E STIMA DEI RISCHI

### Rischi generici



### Rischi specifici



# Programma di valutazione dei rischi

## ANALISI SULLA POSSIBILITA' DI RIDUZIONE DEI RISCHI

- **Modifica macchinari**
- **Modifica ambienti di lavoro**
- **Modifiche organizzative e procedurali**



# Misure tecniche e organizzative per prevenire esposizioni superiori ai valori limite di esposizione



# Programma di valutazione dei rischi

## INFORMAZIONE E FORMAZIONE

- Informazioni teoriche
- Informazione e formazione generale
- Informazione e formazione specifica



# Postazioni conformi

## Norma EN 50499

*"Procedure for the assessment of the exposure of the workers to electromagnetic fields"*

La Norma definisce il metodo per la valutazione ed è un documento cruciale ai fini dell'applicazione della direttiva, in quanto contiene una **lista di esclusioni** in relazione ad apparati o famiglie di apparati che: ☐

- **sono intrinsecamente aderenti ai limiti della direttiva** ☐
- **rispettano standard di prodotto ispirati alla direttiva**



# Postazioni conformi

Postazione di lavoro	Tipo di apparato	Note
Postazioni aperte al pubblico		Tutte le postazioni di lavoro aperte al pubblico e conformi con i limiti di esposizione contenuti nella Raccomandazione del Consiglio 1999/519/CE o nel DPCM 8 luglio 2003 sono considerati conformi.
Tutte le postazioni	Attrezzature marcate CE che sono state valutate utilizzando le norme armonizzate riportate nelle Note	EN 50360 EN 50364 EN 50371 EN 50384 EN 50385 EN 50392 EN 50401 EN 60335-2-25 EN 60335-2-90
Tutte le postazioni	Apparecchi di illuminazione	Esclusa illuminazione specializzata alimentata a RF
Tutte le postazioni	Computer e apparecchiature informatiche	
Tutte le postazioni	Attrezzature per ufficio	Smagnetizzatori di nastri necessitano di ulteriori approfondimenti
Tutte le postazioni	Cellulari e telefoni cordless, WLAN (es. Wi-Fi)	Limitatamente alle apparecchiature per l'uso da parte del pubblico
Tutte le postazioni	Ricetrasmittenti	Solo i modelli con potenza emessa media inferiore a 20 mW
Tutte le postazioni	Strumenti elettrici portatili e palmari	
Tutte le postazioni	Strumenti di riscaldamento portatili	(pistole a colla, termo pistole, ecc.) EN 60335-2-45

# Postazioni conformi

Tutte le postazioni	Attrezzature audio e video	Alcune tipologie usanti radiotrasmittitori necessitano di ulteriori approfondimenti
Tutte le postazioni	Apparecchiature portatili prive di trasmettitori a radiofrequenza	
Tutte le postazioni	Caricabatterie	La norma di riferimento è la EN 60335-2-29 Riguarda l'uso di caricabatterie per elettrodomestici, per garages, industria leggera, aziende agricole.
Tutte le postazioni	<p>Rete elettrica (50 Hz) nel posto di lavoro e circuiti elettrici di distribuzione e trasmissione che attraversino la postazione di lavoro. Si valuta separatamente campo elettrico e magnetico.</p> <p>Per il campo magnetico sono conformi:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-tutte le installazioni elettriche con correnti inferiori a 100 A;</li><li>-ogni circuito dove i conduttori sono racchiusi e hanno corrente netta inferiore a 100 A;</li><li>-tutti i componenti di una rete che soddisfino i precedenti requisiti (cavi, interruttori, trasformatori, ecc.)</li></ul> <p>Per il campo elettrico sono conformi:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-tutte i circuiti e i cavi interrati a qualsiasi tensione</li><li>-cavo nudo o barra conduttrice di valore nominale fino a 100 kV ; linee sospese sovrastanti il posto di lavoro fino a 125 kV e di qualsiasi voltaggi se il posto di lavoro è interno.</li></ul>	Il rispetto con i limiti di esposizione per le postazioni di lavoro si basa sulla dimostrazione che le esposizioni sono più basse dei limiti della Raccomandazione Europea (1999) per l'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici.
Tutte le postazioni	Attrezzature ed strumentazione di controllo e misura	
Tutte le postazioni	Elettrodomestici	<p>Elettrodomestici professionali (cucine, macchine per lavanderia, forni a microonde) in uso in ristoranti, negozi, ecc. sono inclusi.</p> <p>Piani cottura professionali ad induzione necessitano di ulteriori approfondimenti</p>

# Postazioni da valutare

Tipo di apparato	Note
<b>Macchinari ed apparati per elettrolisi industriale</b>	<b>Sia in caso di alimentazione con corrente alternata (AC) che continua (DC)</b>
<b>Saldatori elettrici e forni per fusione Riscaldatori dielettrici</b>	
<b>Riscaldatori ad induzione</b>	
<b>Saldatori dielettrici</b>	
<b>Magnetizzatori e smagnetizzatori industriali</b>	<b>Inclusi demagnetizzatori per nastri</b>
<b>Illuminazione specializzata alimentata a RF</b>	
<b>Dispositivi al plasma e a radiofrequenza</b>	<b>Inclusi quelli per deposizione e sputtering in vuoto</b>
<b>Diatermia</b>	<b>Tutti i trattamenti medici che ricorrono ad apparecchiature e dispositivi in grado di erogare alte potenze medie a RF (&gt; 100 mW)</b>
<b>Trasporti elettrici: treni e tram</b>	<b>(Attualmente all'esame della commissione TC 9X WG10 del CENELEC)</b>
<b>Radars</b>	<b>Tipicamente controllo del traffico aereo civile e militare, radar meteo, e a lunga distanza</b>
<b>Sistemi di controllo integrità elettrici (electric crack detector)</b>	

# Postazioni da valutare

**Tutti i dispositivi medici che usino intenzionalmente esposizione a radiazione elettromagnetica o applicazione di corrente.**

**Apparati industriali di essiccamento e riscaldamento a microonde**

**Stazioni radio base**

**Ulteriori valutazioni sono necessarie se il lavoratore può avvicinarsi in prossimità delle antenne oltre, cioè, la distanza ritenuta di sicurezza per l'esposizione della popolazione.**

**Rete elettrica (50 Hz) nel posto di lavoro e circuiti elettrici di distribuzione e trasmissione che attraversino la postazione di lavoro che non soddisfino i criteri della precedente tabella**

# Lavoratori esposti



Nominativo/Gruppi

Durata esposizione giornaliera

Mansione/Tipo di esposizione



# Lavoratori particolarmente sensibili

Valori di azione per i lavoratori particolarmente sensibili (documento congiunto ISPESL – ISS e raccomandazioni ACGIH)



Sorgente	Valori di azione		
	Campo elettrico E	Induzione magnetica B	Induzione magnetica B
Campi elettromagnetici a bassa frequenza (in particolare modo quelli statici, ma anche a frequenza di rete)	/	0,5 mT (per lavoratori con stimolatori cardiaci, cioè pacemaker e defibrillatori)	3 mT (per lavoratori che abbiano impiantate protesi ferromagnetiche o apparecchi operanti elettricamente diversi dai pacemaker quali ad esempio clips metalliche)

# Lavoratori particolarmente sensibili

## Soggetti portatori di:

Schegge o frammenti metallici  
Clip vascolari  
Valvole cardiache  
Stent  
Defibrillatori impiantati  
Pace maker cardiaci  
Pompe di infusione di insulina o altri farmaci  
Corpi metallici nelle orecchie o impianti per udito  
Neurostimolatori, elettrodi impiantati nel cervello o subdurali  
Distrattori della colonna vertebrale  
Altri tipi di stimolatori o apparecchiature elettriche o elettroniche di qualunque tipo  
Corpi intrauterini (ad esempio spirale o **diaframma**) (?)  
Derivazioni spinali o ventricolari, cateteri cardiaci  
Protesi metalliche di qualunque tipo (es. per pregresse fratture, interventi correttivi articolari etc.), viti, chiodi, filo etc.  
Espansori mammari  
Protesi peniene  
Altre protesi

## Stato di gravidanza

**Soggetti con patologie del SNC, in particolare soggetti epilettici**

**Soggetti con infarto del miocardio recente e con patologie del sistema cardiovascolare**

**La tabella è suscettibile di aggiornamenti in funzione dell'evoluzione delle conoscenze sui rischi delle esposizioni ai CEM.**

# Tecniche di rilevazione

N O R M A I T A L I A N A C E I	
<i>Norma Italiana</i> <b>CEI 211-6</b>	
<i>Data Pubblicazione</i> <b>2001-01</b>	<i>Edizione</i> <b>Prima</b>
<i>Classificazione</i> <b>211-6</b>	<i>Fascicolo</i> <b>5908</b>
<i>Titolo</i> <b>Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana</b>	
<i>Title</i> <b>Guide for the measurement and the evaluation of electric and magnetic fields in the frequency range 0 Hz - 10 kHz, with reference to the human exposure</b>	

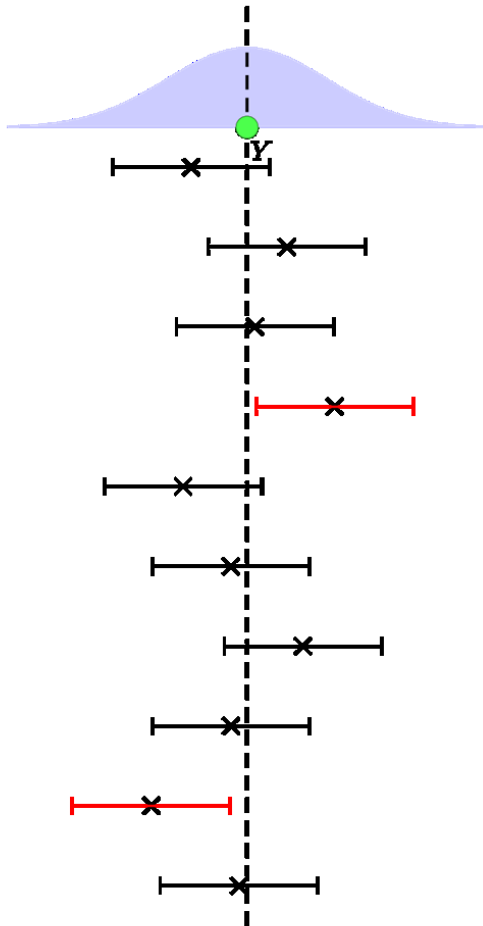
GUIDA

N O R M A I T A L I A N A C E I	
<i>Norma Italiana</i> <b>CEI 211-7</b>	
<i>Data Pubblicazione</i> <b>2001-01</b>	<i>Edizione</i> <b>Prima</b>
<i>Classificazione</i> <b>211-7</b>	<i>Fascicolo</i> <b>5909</b>
<i>Titolo</i> <b>Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana</b>	
<i>Title</i> <b>Guide for the measurement and the evaluation of electromagnetic fields in the frequency range 10 kHz - 300 GHz, with reference to the human exposure</b>	

GUIDA



# Valutazione dell'incertezza di misura



---

Guida all'espressione dell'incertezza di misura

UNI CEI ENV  
13005

---

Guide to the expression of uncertainty in measurement

TORI

Misura, misurazione, incertezza di misura, definizione, determinazione dell'incertezza

CAZIONE ICS

17.020; 01.040.17

---

# Documentazione di riferimento

## Practical guidance on occupational EMF exposure assessment radiofrequency range (100 kHz–300 GHz)



## Practical Guidance for Occupational Low Frequency Exposure Assessment



An information publication from the EMF NET project SSPE-CT-2004-502173 EMF-NET  
Effects of the Exposure to Electromagnetic Fields: From Science to Public Health and Safer  
Workplace. Coordination Action 8. Policy Support and Anticipating Scientific and Technological Needs

### What are Electromagnetic fields, EMFs?

Electromagnetic fields (EMF) are present everywhere in our environment but are invisible to the human eye. EMF is described in terms of electric and magnetic fields. Electric fields are created by differences in voltage: the higher the voltage, the stronger will be the resultant field. Magnetic fields are created when electric current flows: the greater the current, the stronger the magnetic field. An electric field will exist even when there is no current flowing. If current does flow, the strength of the magnetic field will vary with power consumption but the electric field strength will be constant. The strength of the electric field is measured in volts per meter (V/m). The strength of the magnetic field is measured in amperes per meter (A/m); more commonly in EMF research, scientists specify a related quantity, the flux density (in microtesla,  $\mu T$ ) instead.

Electric fields are produced by the local build-up of electric charges in the atmosphere associated with thunderstorms. The earth's magnetic field causes a compass needle to orient in a North-South direction and is used by birds and fish for navigation. Besides natural sources the electromagnetic spectrum also includes fields generated by human-made sources: The electricity that comes out of every power socket has associated low frequency electromagnetic fields. And various kinds of higher frequency waves are used to transmit information – whether via TV antennas, radio stations or mobile phone base stations. Mobile telephones, television and radio transmitters and radar produce radio frequency (RF) fields. Microwaves are RF fields at high frequencies in the GHz range.

At radio frequencies, the electric and magnetic fields are closely interrelated and we typically measure their levels as power densities in watts per square meter ( $W/m^2$ ).



### What makes the various forms of electromagnetic fields so different?

One of the main characteristics which define an electromagnetic field is its frequency or its corresponding wavelength. Fields of different frequencies interact with the body in different ways. One can imagine electromagnetic waves as series of very regular waves that travel at an enormous speed, the speed of light. The frequency simply describes the number of oscillations or cycles per second, while the term wavelength describes the distance between one wave and the next. Hence wavelength and frequency are inseparably intertwined: the higher the frequency the shorter the wavelength.



# Esempi lavoratori esposti

## Elettrodotti



# Esempi lavoratori esposti

## Incollaggio del legno

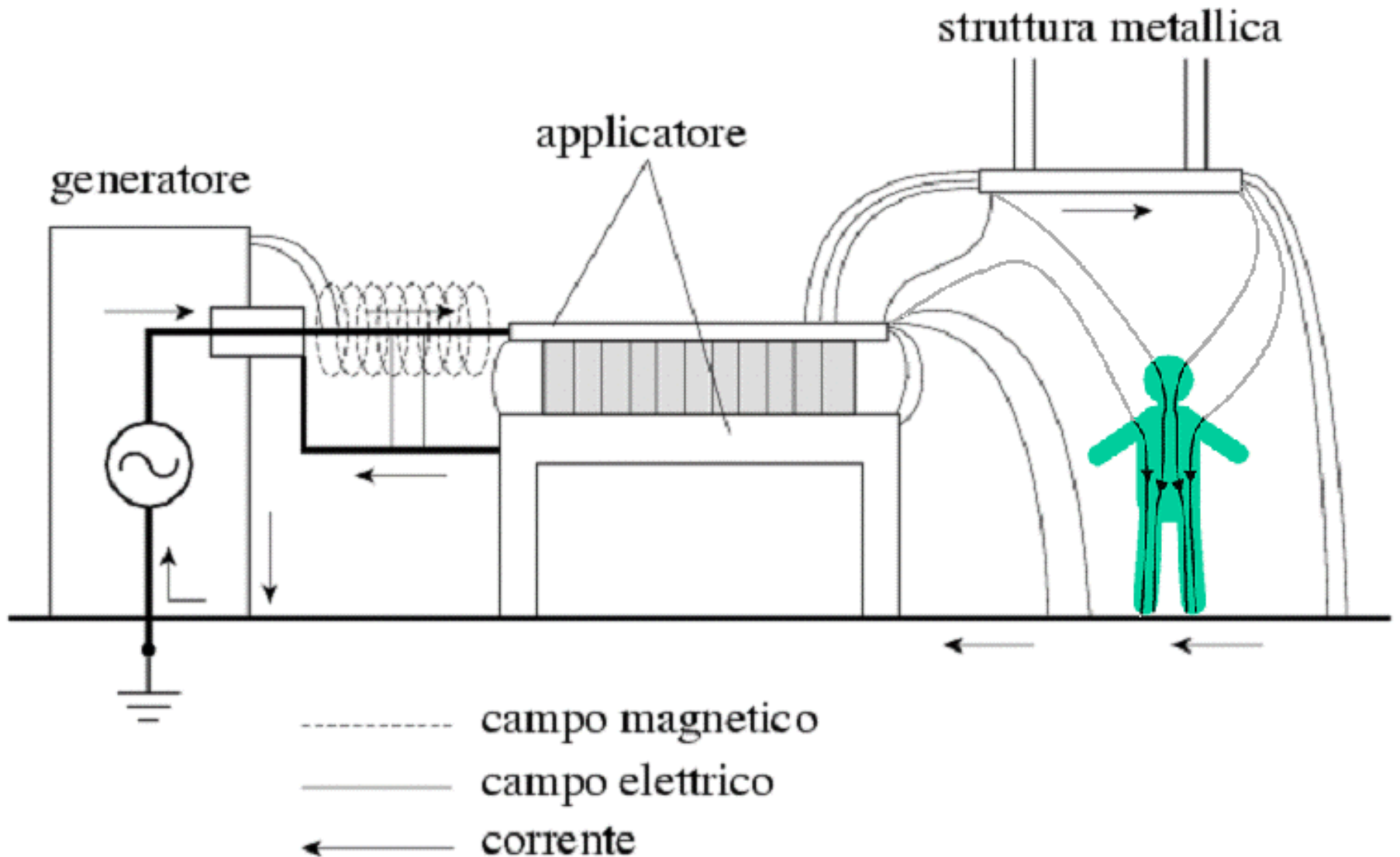


# Esempi lavoratori esposti

## Saldatura della plastica



# Esempi lavoratori esposti



# Esempi lavoratori esposti

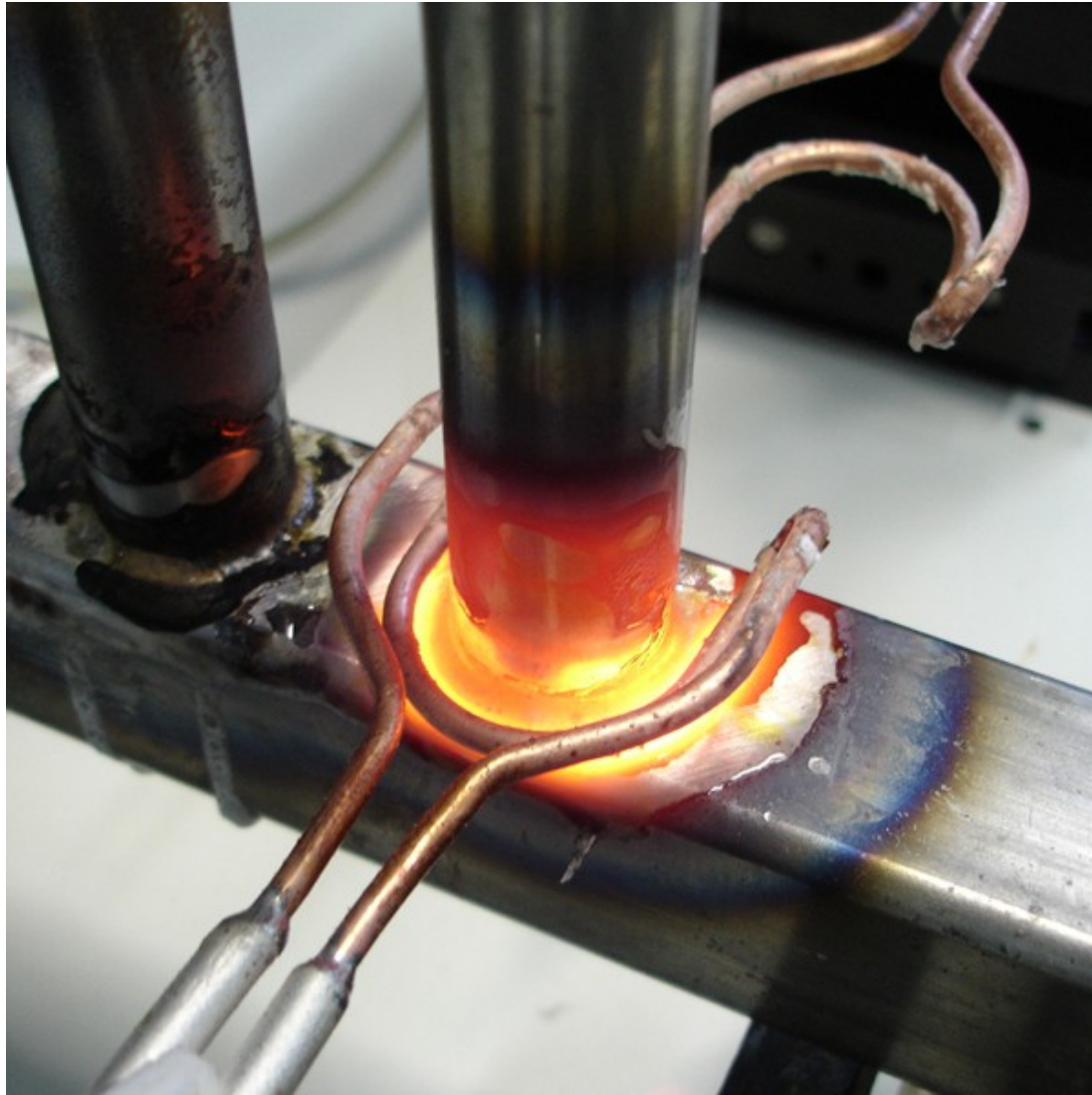
	<b>Frequenza</b>	<b>Potenza</b>	<b>Misure</b> <sup>1</sup>	<b>Limiti</b> <sup>2</sup>
	[MHz]	[kW]	[V/m]	[V/m]
<b>Incollaggio del legno</b>	3 ÷ 15	0.5 ÷ 50	300 ÷ 500	200 ÷ 60
<b>Saldatura della plastica</b>	10 ÷ 50			60

Il campo decade molto rapidamente allontanandosi dall'applicatore. Valori inferiori ai limiti si raggiungono a distanze di circa 30 ÷ 120 cm. Il ciclo di lavoro può avere una fase attiva lunga da alcune decine di secondi ad alcuni minuti ed una pausa di lunghezza dipendente dalla lavorazione.

1. Valori indicativi rilevati a circa 25 centimetri dall'applicatore
2. Direttiva 2004/40/CE

# Esempi laboratori esposti

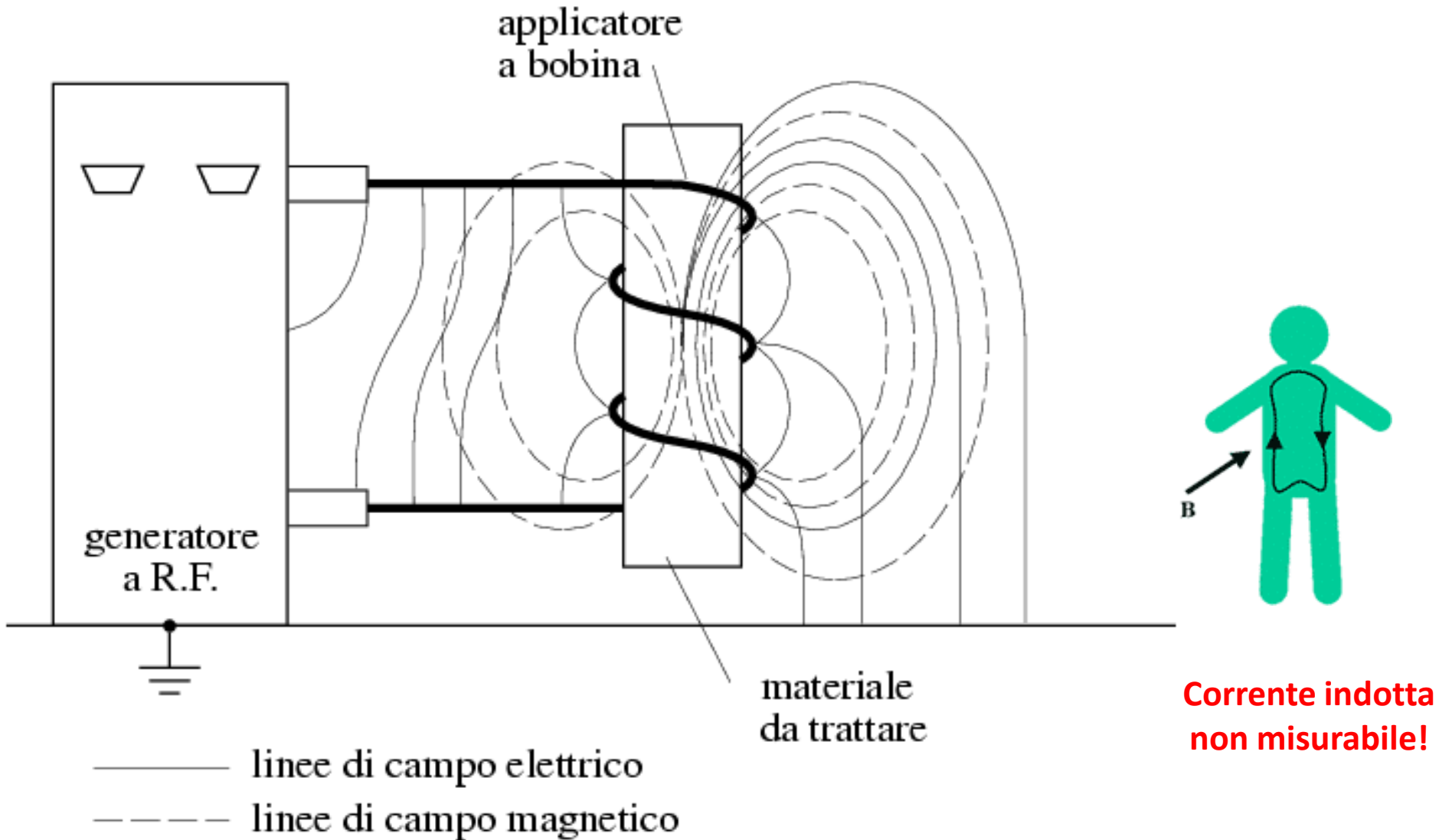
Riscaldamento a induzione magnetica





# Esempi lavoratori esposti

## Riscaldamento a induzione magnetica



# Esempi lavoratori esposti

## Riscaldamento a induzione magnetica

Frequenza	Potenza	Misure <sup>1</sup>	Limiti <sup>2</sup>
[kHz]	[kW]	[A/m]	[A/m]
3.3	10	2500	24.4
3.5	32	2000	24.4
4.3	30	440	24.4
10.5	3	710	24.4
233	10	240	6.87

Il campo decade molto rapidamente allontanandosi dal crogiolo. Valori inferiori ai limiti si raggiungono a distanze di circa 50 ÷ 100 cm. Il ciclo di lavoro dipende dalle modalità di lavorazione.

L'esempio illustrato si riferisce alle applicazioni nell'industria orafa, ma esistono apparati per l'industria pesante che funzionano a potenze anche 100 volte più alte.

1. Valori indicativi rilevati nel punto accessibile più vicino al crogiolo
2. Direttiva 2004/40/CE

# Esempi lavoratori esposti

## Manutenzione antenne



# Esempi lavoratori esposti

## Generazione di plasmi



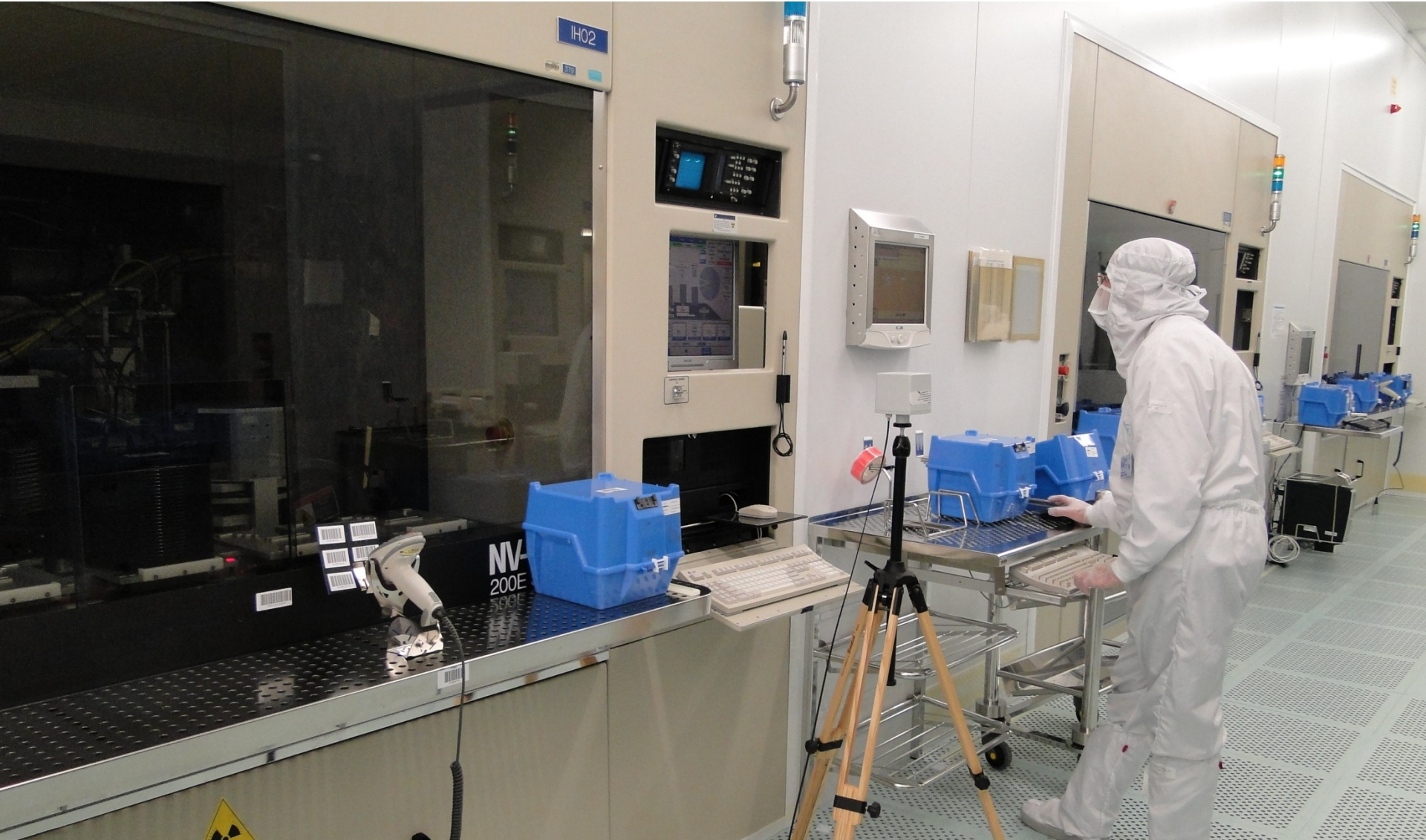
# Esempi lavoratori esposti

## Sottostazioni primarie



# Esempi laboratori esposti

## Apparati industriali



# Esempi laboratori esposti

## Apparati industriali



# Esempi laboratori esposti

Enti di ricerca







Università degli Studi di Catania

Area della prevenzione e della Sicurezza

## SCHEMA RILEVAMENTO

### CAMPI ELETTRICI, MAGNETICI ED ELETTROMAGNETICI

(Art. 28 D.Lgs. 81/2008)



Sopralluogo n° :

del:

Edificio:

Piano:

Unità Produttiva:

Nominativo dei Tecnici che effettuano la misura:

#### RISULTATI DELLE INDAGINI STRUMENTALI

Misura n°:

Codice planimetria:

Riferimento del locale:

Data:

Ora:

Grandezza misurata	Sonda	Unità di misura	Valori misurati				Livelli di riferimento (1)	
			Posiz. operatore		Posiz. manutentore			Val. max a contatto
			RMS (6 min)	Min Max	Medio (6 min)	Max		
INTENSITA' DI CAMPO ELETTRICO - $E_l$ (Bassa frequenza - 5 Hz ÷ 100 kHz)	EHP50C	V/m						610
INDUZIONE MAGNETICA - $B_l$ (Bassa frequenza - 5 Hz ÷ 100 kHz)	EHP50C	µT						20
INTENSITA' DI CAMPO ELETTRICO - $E_h$ (Alta frequenza - 100 kHz ÷ 3 GHz)	EP645	V/m						61.0

# Criticità e semplificazioni

Dimensioni sonde  $< \lambda$



Elevati gradienti spaziali



Notevole variabilità temporale



Complessità delle situazioni espositive

Sorgenti ben identificate  
(misure in banda stretta rare)



Campi generalmente intensi  
(no problemi di sensibilità)



Letteratura abbondante

# Shop

