

Zeitschrift: Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica = Swiss review of architecture, engineering and urban planning

Herausgeber: Società Svizzera Ingegneri e Architetti

Band: - (2000)

Heft: 1

Artikel: I campi elettromagnetici

Autor: Romer, Arturo

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-131925>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

I campi elettromagnetici

Arturo Romer

A ritmo sempre più frequente e a volte con toni allarmanti, i massmedia riferiscono sulla problematica dei campi elettromagnetici. Il cittadino non specializzato è senza dubbio disorientato, si sente minacciato. Va subito premesso che la materia è realmente difficile. Non si sa ancora tutto, in particolare a livello di radiofrequenze e microonde, quindi ci vorrà ancora molta ricerca e molta osservazione prima di arrivare a risposte definitive. Quando si parla di onde elettromagnetiche si deve innanzitutto sapere a quali frequenze ci si riferisce. Infatti lo spettro va dalla frequenza zero fino a frequenze infinitamente grandi. Ne fanno parte le frequenze industriali (50/60Hz), le radiofrequenze, le microonde, l'infrarosso, la luce visibile, l'ultravioletto, i raggi X e i raggi gamma. La questione «dose d'irradiazione - salute» va pertanto rigorosamente differenziata. In altre parole, l'interazione tra un'onda elettromagnetica e il nostro organismo è totalmente diversa a seconda della frequenza dell'onda. In questo articolo mi limito essenzialmente alle frequenze industriali (50/60 Hz). Chiedo venia al lettore se inizio con qualche definizione formale.

Le unità di misura

$\vec{E}$ [V · m⁻¹] $\vec{E}$ = campo elettrico
 $\vec{D}$ [m⁻² · s · A] $\vec{D}$ = induzione elettrica oppure spostamento elettrico

Relazione 1: $\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \vec{E}$
 $\epsilon_0 = 8,8544 \cdot 10^{-12}$ [N⁻¹ · m⁻² · C²]
 ϵ_0 = costante dielettrica del vuoto oppure permittività

$\vec{H}$ [A · m⁻¹] $\vec{H}$ = campo magnetico
 $\vec{B}$ [T] $\vec{B}$ = induzione magnetica

Relazione 2: $\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H}$
 $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \approx 1,2566 \cdot 10^{-6}$ [m · kg · C⁻²]
 μ_0 = permeabilità magnetica del vuoto
 $1[T] = 1$ [N · A⁻¹ · m⁻¹]

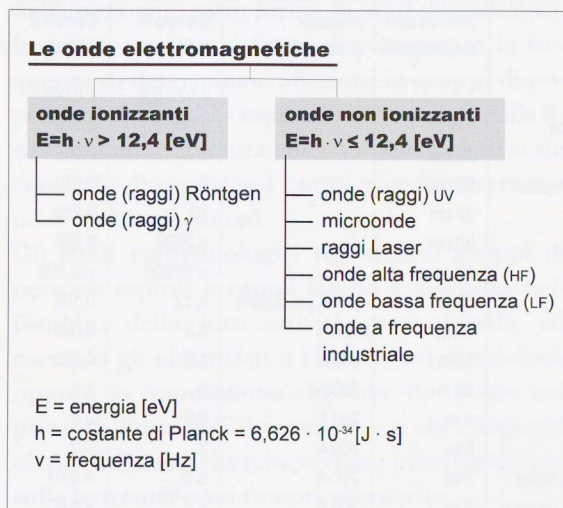
Relazione 3: $c = (\epsilon_0 \mu_0)^{-1/2} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$,
 c = velocità della luce

1. rot	$\vec{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	legge di Ampère
2. rot	$\vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	legge di Faraday
3. div	$\vec{D} = \rho$	legge di Gauss
4. div	$\vec{B} = 0$	non esistono cariche magnetiche

Tab. 1 – Le equazioni di Maxwell

I valori limite

Apparecchi elettromagnetici, radio, televisori, antenne, telefoni cellulari, trasformatori, linee elettriche di alta, media e bassa tensione generano campi elettromagnetici. Questi campi assumono sempre maggiore rilievo sia a livello scientifico che nella discussione pubblica. Questi campi potrebbero nuocere alla salute della popolazione se dovesse mancare un adeguato controllo o se dovessero essere ignorati i limiti raccomandati dalla comunità scientifica. Sulla questione dei danni alla salute non ci sono ancora risposte univoche. In-



Tab. 2 - Le onde elettromagnetiche

anzitutto si deve distinguere da un lato tra campi stazionari (frequenza 0) e campi non stazionari (frequenza > 0), dall'altro si deve discernere tra bassa (p.e. frequenze industriali di 50 Hz) e alte, rispettivamente altissime frequenze. Nelle economie domestiche, la maggior parte delle frequenze appartengono alla gamma delle frequenze industriali, mentre i telefoni cellulari e i forni a microonde funzionano a alte frequenze (MHz e GHz). Quando si parla di «elettrosmog» si intendono radiazioni cos  dette non-ionizzanti (fino a circa $3 \cdot 10^{15}$ Hz). I raggi Röntgen e i raggi gamma sono pure onde elettromagnetiche. Queste sono per  ionizzanti, significa che riescono a ionizzare la materia con cui interagiscono.

Ancora un'osservazione riguardante la terminologia:

a) A livello di *basse frequenze* (1 Hz ÷ 30 kHz)

si distingue tra:

campo elettrico e *campo magnetico*

poich  questi possono essere considerati indipendenti tra di loro per la bassa frequenza. La spiegazione matematica si trova nelle equazioni di Maxwell. Si tratta di un insieme di equazioni di una straordinaria densit  di contenuti.

b) A livello di *alte frequenze* ($\nu > 30$ kHz) si parla semplicemente di campi elettromagnetici, poich  ogni campo elettrico genera un campo magnetico e viceversa.

In questo capitolo ci limitiamo essenzialmente ai campi alle basse frequenze, come quelli prodotti nei pressi delle reti di distribuzione di energia elettrica (50 Hz) e delle ferrovie ($16 \frac{2}{3}$ Hz), e alle immissioni sia nella sfera vitale della popolazione in generale (ambiente di tempo libero come pure ambiente di lavoro).

All'inizio del 1990, la International Radiation

Protection Association (IRPA), oggi chiamata ICNIRP, ha pubblicato dei valori limite raccomandati per l'intensit  dei campi, valori basati su fondamenti scientifici accertati e ampiamente riconosciuti, che ancora oggi vengono de facto utilizzati nella maggior parte dei paesi.

Questi valori limite sono stati calcolati in base alle correnti elettriche generate dai campi nel corpo umano. Il principale criterio   costituito dall'intensit  di queste correnti, che non deve superare la nota soglia di eccitabilit  delle cellule sensibili, ma   pure previsto un fattore di sicurezza.

In Svizzera, la letteratura disponibile a proposito degli effetti dei campi   stata valutata da un gruppo di lavoro costituito dall'UFAFP (= BUWAL), che ha poi elaborato una raccomandazione concernente i valori limite¹⁾, rifacendosi ai valori dell'IRPA. Ai sensi della legge sulla protezione dell'ambiente, inoltre, l'UFAFP raccomanda di ridurre in ogni caso le emissioni a livelli minimi, ovviamente in termini tecnicamente ed economicamente sostenibili. Valori limite per i campi elettromagnetici sul posto di lavoro sono invece stati fissati dalla SUVA²⁾.

Conformemente alle pubblicazioni citate valgono i seguenti *valori limite*:

	Frequenza	Campo elettrico	Induzione magnetica
Popolazione	50 [Hz]	5 [kV/m]	100 [μ T]
	$16 \frac{2}{3}$ [Hz]	10 [kV/m]	300 [μ T]
Lavoratori	50 [Hz]	12,3 [kV/m]	400 [μ T]
	$16 \frac{2}{3}$ [Hz]	36,8 [kV/m]	1200 [μ T]

Le intensit  dei campi

Le immissioni dei campi generati dagli impianti di distribuzione e dalle installazioni e apparecchiature domestiche possono venir rilevate con sufficiente precisione grazie ai moderni strumenti di misura. I valori misurati in situazioni tipiche sono riassunti nella tabella 3 nella pagina seguente.

Effetti biologici acuti

I campi elettrici e magnetici a frequenze industriali generano nel corpo umano delle correnti, la cui intensit  dipende da un lato dalla conducibilit  della materia biologica (sangue, muscoli, ossa) e dall'altro dall'intensit  dei campi. Queste correnti indotte possono eccitare le cellule sensibili, come quelle nervose o muscolari, non appena la densit  di corrente supera la soglia, pari a circa 10 mA/m^2 . La soglia d'eccitabilit  citata   raggiunta nel cam-

po magnetico a circa $5000 \mu T$, un valore che in realtà si registra solo in casi eccezionali. Una simile intensità di campo potrebbe provocare uno sfarfallio della vista. Campi magnetici molto intensi, invece, potrebbero causare disturbi al sistema nervoso centrale, un aumento della pressione sanguigna e aritmie cardiache.

Al giorno d'oggi, la teoria dell'eccitazione attraverso correnti indotte è comunemente accettata per spiegare gli effetti biologici acuti e funge quindi da base per stabilire i valori limite.

Nuove indagini sperimentali, condotte sia *in vitro* che su organismi viventi, hanno fornito indizi di effetti biologici provocati da campi magnetici anche al di sotto della soglia di eccitabilità citata. È stato per esempio osservato che i radicali liberi (metaboliti intermedi in grado di alterare le cellule) «sopravvivono» più a lungo in presenza di un campo debole. Sono inoltre state rilevate delle modifiche del flusso di calcio sulle membrane cellulari, che si suppone siano il risultato di fenomeni di risonanza indotta dai campi. O ancora sussistono indizi di possibili influssi su particelle ferromagnetiche del cervello, un effetto sfruttato notoriamente da alcuni uccelli per orientarsi in funzione del campo magnetico terrestre. Altri effetti osservati sono tuttora oggetto di studi.

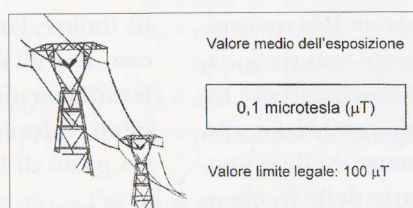
Merita attenzione l'influsso dei campi magnetici sull'ipofisi, individuato da parecchie ricerche, influsso che sarebbe connesso a una riduzione della produzione dell'ormone *melatonina*. Questo effetto è osservabile già a partire da circa $1 \mu T$. È il metabolismo della melatonina, notoriamente fotosensibile, a regolare il ritmo giorno-notte e studi su animali hanno rivelato che anche i campi elettromagnetici possono influenzare questo ritmo, proprio in correlazione al metabolismo della melatonina. Alla melatonina, inoltre, è attribuito un effetto antitumorale.

È possibile che singoli individui siano particolarmente sensibili nei confronti dei campi? Tale interrogativo è attualmente oggetto di varie indagini. Si ipotizzano reazioni non specifiche come insonnia, problemi cutanei o disturbi del sistema nervoso centrale.

Tra gli effetti biologici dimostrabili va menzionato infine l'influsso dei campi magnetici sugli stimolatori cardiaci (rallentamento, sincronizzazione, commutazione su frequenze costanti). Ma gli apparecchi dell'ultima generazione sono più resistenti a tali disturbi e praticamente eliminano qualsiasi pericolo nella vita quotidiana. In posti di lavoro soggetti a campi di forte intensità, tuttavia, occorre esaminare caso per caso il potenziale rischio.

	Distanza dalla sorgente / asse	Intensità di corrente	Campo B [μT]	Campo E [kV/m]
Campo di base negli edifici			0,02 - 0,5	< 0,005
Lampadina a incandescenza	1 m		0,05	0,010
Cucina elettrica	30 cm		3	0,005
Televisore, schermo del computer	50 cm		1	0,030
Cuscino elettrico	30 cm		10	0,250
Utensili elettrici	30 cm		≤ 2000	0,060
Generatore	30 cm		$\leq 10'000$	$\leq 0,500$
Linea catenaria (doppia)	10 m	500 A per binario	≤ 12	0,100
Linea aerea da 24 kV	10 m	200 A	0,3	0,030
Linea aerea da 110 kV	10 m	500 A	1,3	0,250
Linea aerea da 380 kV	20 m	1000 A	6	1,0
Linea cablata da 16 kV	5 m	200 A	0,8	0,0
Linea cablata da 110 kV	5 m	500 A	2	0,0
Stazione di trasformazione aerea	2 m	200 A	≤ 6	$\leq 0,07$
Stazione di trasformazione cablata	2 m	200 A	≤ 1	< 0,001

Tab. 3 - Valori tipici per l'induzione magnetica B e per il campo elettrico E



Campi magnetici, basse frequenze, CH

Voltaggio della linea elettrica	Campo elettrico al suolo in [V/m]
380 kV	5000 ÷ 6000
220 kV	2000 ÷ 4000
132 kV ÷ 150 kV	1500 ÷ 3000
15 kV	100 ÷ 300

Tab 4 - Linee elettriche e campi elettrici al suolo (50 Hz)

Relazione tra i campi elettromagnetici a frequenze industriali e la salute

Le indagini sperimentali non forniscono alcuna prova riproducibile dei possibili effetti delle esposizioni croniche ai campi elettromagnetici. In base alle attuali conoscenze, i campi non sono in grado di innescare un tumore: le numerose indagini nel campo delle mutazioni indotte dai campi (modifiche dei cromosomi) hanno infatti dato risultati chiaramente negativi.

L'unica relazione ipotizzabile tra i campi e il cancro potrebbe essere invece un effetto sinergico nella crescita dei tumori già indotti da altre cause: tra gli argomenti a sostegno di tale ipotesi figurano ad esempio la già citata diminuzione osservata della produzione di melatonina, che contrasta determinate forme di tumore, esercita un effetto sul sistema immunitario e influenza i flussi cellulari del calcio.

Per spiegare il ruolo delle esposizioni croniche ai campi elettromagnetici direttamente sull'uomo vengono condotte delle osservazioni sull'arco

dell'intera vita, sotto forma di *studi epidemiologici*. In parole povere, si tratta di paragonare la frequenza di determinate affezioni in gruppi di popolazione soggetti a esposizioni diverse. È dalla fine degli anni Settanta che con questi studi si sta cercando di capire se i campi *magnetici* accrescono il rischio di cancro.

Gli studi epidemiologici riguardano gruppi di persone esposti a campi *elettrici* e *magnetici* nell'ambito della loro attività professionale, ad esempio gli elettricisti e i montatori di telefoni, oppure la popolazione che vive da tempo nei pressi di linee dell'alta tensione o altri impianti elettrici. Queste ricerche vertono principalmente sulla leucemia e sui tumori al cervello.

L'esposizione viene quantificata in vari modi. Sono pochi gli studi che contengono misurazioni dirette dell'esposizione. In generale, l'esposizione è caratterizzata dalla professione o, negli studi dell'ambiente abitativo, dal cosiddetto *indice di linea*, determinato dalla distanza dalla linea e dalla dimensione della linea in funzione della corrente trasportata. Infine, si è anche cercato di calcolare l'esposizione in base alle correnti misurate.

Il valore statistico di questi studi viene fortemente *limitato da vari fattori*: la rarità delle affezioni osservate determina generalmente incidenze basse, influenzate facilmente dal caso. L'analisi è poi ostacolata dai lunghi tempi di latenza tra l'esposizione al fattore in esame e l'insorgenza della malattia e l'aumento minimo dell'eventuale rischio fa sì che i risultati prevedibili siano comunque di scarso rilievo. Un problema fondamentale, poi, deriva dal fatto che si conoscono poco i parametri determinanti (sollecitazione media, massima o cumulativa, fenomeni transitori, ecc.) e che le sorgenti dei campi sono sparse ovunque, il che rende difficile la distinzione tra individui esposti e non esposti.

Nessuno degli studi epidemiologici è immune da incertezze. L'aumento dei decessi in seguito a leucemia, osservato nell'ambito di diverse indagini, suggerisce tuttavia che i campi magnetici potrebbero avere un certo influsso sull'insorgenza dei tumori. Tra gli studi più recenti e accurati, quelli scandinavi, che per primi hanno stabilito delle relazioni tra l'effetto e la dose, sembrano sostenere tale legame di causalità, mentre uno studio realizzato in collaborazione tra la Francia e il Canada tende piuttosto a negarlo. Gli studi sui gruppi professionali, inoltre, non escludono una concorrenza di cause con altri fattori cancerogeni, come determinati solventi o i PCB (bifenili policlorati).

Non esiste ancora un modello biologico completo, che spieghi con argomenti plausibili l'effetto

dei campi elettromagnetici sull'insorgenza dei tumori, il che non consente di concludere, sulla base delle semplici osservazioni fatte, che sussiste una relazione di causalità.

Nel complesso, i risultati degli studi epidemiologici fanno presagire un tenue legame tra l'esposizione ai campi e certe forme di cancro. E anche se tale relazione di causalità dovesse trovare conferma, il rischio corrispondente sarebbe comunque minimo.

Voltaggio [kV]	Induzione magnetica B [μ T]
110	11,9
220	9,1
330	8,7

Tab. 5 – L'intensità del campo magnetico sotto le linee di alta tensione (a metà del tracciato, 1 m sopra il suolo, 1 kA)

Potenziale globale di rischio

Gli esperimenti realizzati in laboratorio mostrano alcuni effetti prodotti da campi di debole intensità, ma i risultati non forniscono alcuna prova diretta dell'esistenza di influssi dannosi per la salute, il che permette di affermare in particolare che le immissioni registrate in ambiente sia privato che professionale non causano disturbi cronici alla salute. Disturbi e malesseri transitori non sono però esclusi su soggetti particolarmente sensibili, anche se ciò non è stato finora scientificamente dimostrato.

Per quanto riguarda gli effetti a lungo termine, diversi studi epidemiologici evidenziano un legame tra i campi magnetici e un aumento del rischio di leucemia. Questa conclusione, non priva di incertezze e contraddizioni, induce a condurre altre ricerche. Per confermare un effettivo aumento del rischio sarebbe necessario un modello verificabile con esperimenti biocellulari, in grado di spiegare gli effetti a lungo termine delle deboli immissioni causate quotidianamente dai campi.

Se dovesse trovare conferma tale relazione di causalità tra i campi e determinate forme tumorali, il rischio supplementare risulterebbe comunque estremamente esiguo rispetto ai fattori di rischio già noti. Si stima che anche nella peggiore delle ipotesi in Svizzera potrebbe venir imputato all'esposizione ai campi magnetici meno di un caso di leucemia infantile all'anno (incidenza della leucemia infantile $\approx 1 : 20'000$ p.a.).

In conclusione si può dire che le conoscenze raccolte in circa 20 anni di attività di ricerca sugli effetti dei campi elettromagnetici sulla salute non permettono di affermare che questi campi siano del tutto innocui. Ma è altrettanto ingiustificato voler affermare un rischio effettivo per la salute se vengono rispettati i valori normativi.

1 T	=	10'000	G
1 μ T	$\hat{=}$	0.796	A/m
1 A/m	$\hat{=}$	1.257	μ T
1 mG	=	0.1	μ T
1 W/m ²	=	0.1	mW/cm ² = 100 μ W/cm ²

Tab. 6 – Conversioni di unità

Misure preventive

Le conoscenze attuali sugli effetti biologici dei campi e i valori limite stabiliti non inducono a modificare la prassi corrente in materia di costruzione di linee e impianti elettrici. In linea di principio non si esclude tuttavia un inasprimento dei valori limite, vuoi per motivi oggettivi o quale reazione a un possibile aumento della preoccupazione tra la popolazione. Per questo motivo, nell'ambito dei progetti futuri è raccomandata una certa prudenza, indipendentemente dall'influsso dei campi sulla salute. Per prudenza si dovrebbe intendere qui l'adozione di misure preventive, atte a ridurre le immissioni, misure che non comportano né costi supplementari né alcun altro tipo di svantaggio.

Tipo	Frequenza	Lunghezza d'onda
Campi a frequenze estremamente basse (ELF e VLF)	1 Hz ÷ 300 Hz	$3 \cdot 10^8$ m ÷ 10^6 m
Campi a basse frequenze (LF)	300 Hz ÷ 300 kHz	10^6 m ÷ 1 km
Radiofrequenze (RF)	300 kHz ÷ 300 MHz	1 km ÷ 1 m
Microonde (MW o MO)	300 MHz ÷ 300 GHz	1 m ÷ 1 mm
Infrarosso (IR)	300 GHz ÷ 300 THz	1 mm ÷ 1 μ m
Luce visibile	375 THz ÷ 750 THz	800 nm ÷ 400 nm
Ultravioletto (UV)	750 THz ÷ 3000 THz	400 nm ÷ 100 nm

Tab. 7 – Spettro delle radiazioni elettromagnetiche

Siti Internet

- www.icnirp.de
- www.casasana.ch
- www.admin.ch/buwal/
- www.maisonsante.ch
- www.antenne.ch
- www.nrpb.org.uk
- www.fgf.de
- www.who.int/peh-emf
- www.sirnet.it/onde.htm
- www.area.fi.cur.it/arf/scuola.htm
- www.iroe.fi.cnr.it/pcmni/

Note

1. UFAFP: Effets biologiques de champs électromagnétiques, 2ème partie: rang de fréquence 10 Hz à 100 kHz. Documentation sull'ambiente n. 214, 1993.
2. SUVA: Valeurs limite à la place de travail. Pubblicazione 1903, edizione 1993.

Summary

In the fields of physics and engineering noteworthy experience has been gained in the use of models and on methods of calculation and measurement of the electric and magnetic fields. Considerable research has been made and is still being made in order to define the results of human exposure to electromagnetic fields produced by the generation, transmission and distribution of electrical energy, as well as those generated by the many electrical appliances encountered at home, in public and in places of industry.

Can electric and magnetic fields at industrial frequency (thus not only those generated by power lines but also electric and magnetic fields generated by household appliances and any other appliance which runs on electricity) be responsible for producing ill effects on people's health, such as an increased risk of leukaemia or of tumours in the central nervous system? The possible effects of electromagnetic fields at industrial frequency have been for some years the centre of the attention (on a national and international scale) of the scientific world, the standardisation committees and government Authorities. It is natural that also mass media - concerned about health protection - follow these problems, which are neither easy nor obvious. The present article tries to explain the main questions, without allarmism, but with watchful confidence in the current results of the most qualified research in the field.