



## Domande e risposte sull'

**INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO**

**Curatore:** Daniele Andreuccetti, IFAC-CNR, Firenze

- Aspetti generali
  - Il campo magnetico a bassissima frequenza
  - Il campo elettromagnetico degli impianti fissi di telecomunicazione
  - Indice del materiale documentativo ed informativo
  - Pagina principale della linea di ricerca
- Protezione dai campi elettromagnetici a bassa frequenza, radiofrequenza e microonde**

**IL CAMPO MAGNETICO A BASSISSIMA FREQUENZA**

**Versione:** 3.0

**Ultimo aggiornamento:** 19/04/2011

**1.- Che cosa è il campo magnetico?**

Il **campo magnetico** è un particolare tipo di *campo di forza*. Un **campo di forza** in fisica è una regione di spazio attorno ad un oggetto particolare (detto sorgente del campo) nella quale si manifestano forze su altri oggetti della stessa natura della sorgente.

Sono esempi di campi di forze:

	<b>Campo gravitazionale</b>	<b>Campo elettrico</b>	<b>Campo magnetico</b>
<b>È generato da</b>	qualsunque oggetto dotato di <b>massa</b>	qualsunque oggetto dotato di <b>carica elettrica</b>	qualsunque conduttore percorso da <b>corrente elettrica</b>
<b>È una regione di spazio nella quale si manifestano forze che agiscono su</b>	altri oggetti dotati di <b>massa</b>	altri oggetti dotati di <b>carica elettrica</b>	altri conduttori percorsi da <b>corrente elettrica</b>

**2.- Come si misura l'intensità del campo magnetico?**

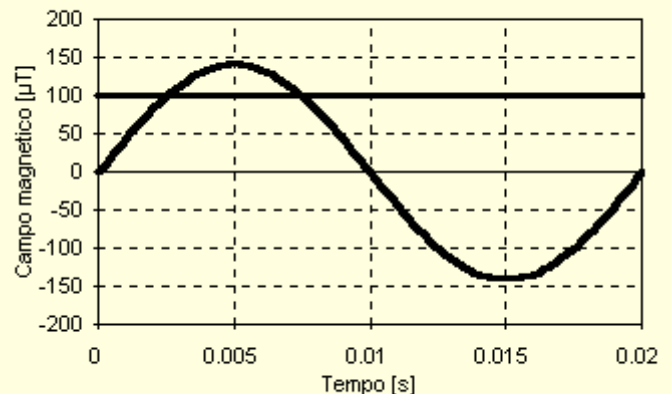
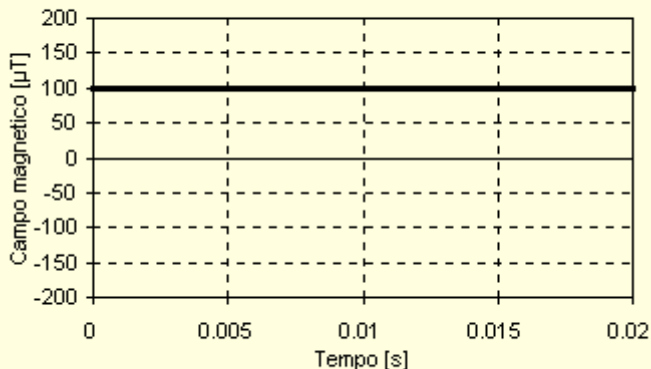
L'intensità del campo magnetico (o meglio dell'**induzione magnetica**, una grandezza ad esso strettamente correlata) si misura in **tesla**; si usano soprattutto i sottomultipli:

millitesla	mT	un millesimo di tesla

microtesla	$\mu\text{T}$	un milionesimo di tesla
nanotesla	$\text{nT}$	un miliardesimo di tesla

### 3.- Che cosa è la *frequenza del campo magnetico*?

Il campo magnetico prodotto da una corrente continua (come quella prodotta da una pila) è costante nel tempo e si dice campo magnetostatico; il campo magnetico prodotto da una corrente alternata (come quella dell'impianto domestico) varia sinusoidalmente nel tempo e si dice campo magnetico alternato; la frequenza del campo (misurata in hertz, simbolo Hz) indica quante volte la sinusoide si ripete ogni secondo.



### La frequenza NON È una indicazione di intensità!

L'intensità di un campo magnetico oscillante si esprime attraverso il suo **valore efficace**, dato dall'intensità di un campo magnetostatico di pari contenuto energetico; si può dimostrare che essa è pari al 70% circa del valore di picco.

Una delle caratteristiche più importanti del campo magnetico alternato è la sua capacità di provocare ("indurre") correnti elettriche all'interno degli oggetti conduttori esposti, come per esempio un organismo umano.

### 4.- Cosa si può dire in sintesi sulla natura fisica del campo magnetico?

- Il campo magnetico è generato da una qualunque **corrente elettrica**, come quella che scorre in un elettrodotto ad alta tensione o nell'impianto elettrico domestico o in un apparecchio utilizzatore.
- Il campo magnetico si manifesta come **forza** che agisce su altre **correnti elettriche**.
- L'induzione magnetica si misura in **tesla [T]** e sottomultipli; se ha andamento oscillante nel tempo, la **frequenza**, misurata in **hertz [Hz]**, indica il numero delle oscillazioni in un secondo.
- Il campo magnetico oscillante è in grado di **provocare correnti elettriche** negli oggetti conduttori esposti, quindi anche in un **organismo umano**.

### 5.- Cosa si intende per "campo magnetico a bassissima frequenza"?

In questo documento utilizziamo tale denominazione per indicare il campo magnetico **a 50 Hz** emesso dagli impianti, dai sistemi e dagli apparati connessi con la produzione, la trasmissione, la distribuzione e l'utilizzo dell'energia elettrica.

### 6.- Quali sono le più comuni sorgenti di campo magnetico a bassissima frequenza?

#### Nell'ambiente esterno

- Centrali di produzione e stazioni di trasformazione dell'energia elettrica.

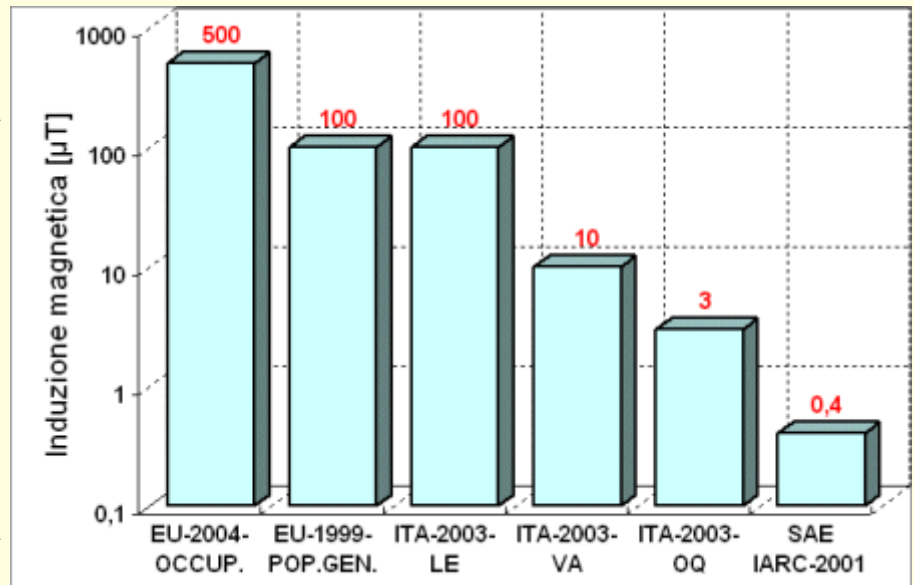
- Elettrodotti di trasmissione e di distribuzione, aerei ed interrati.
- Cabine e quadri di distribuzione stradali.
- Impianti di illuminazione pubblica.

#### Negli ambienti di vita

- Elettrodomestici ed altri apparecchi elettrici di uso comune.
- Macchine da ufficio.
- Impianto elettrico.

### 7.- Perché c'è apprensione per le esposizioni al campo magnetico a bassissima frequenza?

La grande diffidenza che si riscontra nell'opinione pubblica nei confronti delle sorgenti di campo magnetico a bassissima frequenza nasce soprattutto dal notevole divario (vedi figura) che esiste tra le prescrizioni degli standard di sicurezza, che ammettono esposizioni continuative fino a livelli di centinaia di microtesla, e le risultanze degli studi epidemiologici, dai quali emerge una possibile correlazione tra esposizioni croniche anche a bassi livelli (superiori ad una soglia indicativa di circa 0,4  $\mu\text{T}$ ) e rischio di insorgenza di leucemia infantile.



### 8.- Cosa si sa di sicuro sulla protezione dal campo magnetico a bassissima frequenza?

Molto spesso si sente ripetere che "sul campo magnetico a bassissima frequenza ed i suoi effetti ci sono solo tanti dubbi". In realtà ci sono diverse conoscenze acquisite ed alcuni dubbi. Tra le prime:

- Si è in grado di progettare e costruire strumenti e di definire procedure per mezzo delle quali misurare l'intensità del campo magnetico a bassissima frequenza nell'ambiente con grande accuratezza, sicuramente sufficiente per le esigenze protezionistiche.
- È possibile realizzare programmi di calcolo per mezzo dei quali procedere ad accurate valutazioni teoriche dell'intensità del campo magnetico in molte situazioni tipiche di esposizione.
- C'è una buona conoscenza degli aspetti fisici dell'interazione tra il campo magnetico a bassissima frequenza e gli organismi biologici, grazie alla quale si possono realizzare modelli in grado di prevedere l'intensità delle grandezze fisiche indotte all'interno di un organismo esposto.
- Sono noti da tempo gli effetti *acuti* di queste esposizioni, sono stati chiariti i meccanismi alla loro base e ne sono state determinate sperimentalmente le soglie su un gran numero di individui. Queste conoscenze sono alla base delle normative esistenti.

### 9.- Che cosa è invece dubbio?

Non è possibile escludere né affermare con certezza che l'esposizione prolungata al campo magnetico a bassissima frequenza possa avere gravi conseguenze per la salute umana. Questi problemi sono indagati con tecniche di tipo epidemiologico, grazie alle quali si ha una idea dei livelli eventualmente responsabili di queste patologie, ma non si è raggiunto un corpo di conoscenze sufficientemente consolidato da poter servire come base per una revisione degli standard di sicurezza. C'è in ogni caso una buona percezione dell'entità dell'impatto sanitario di questa problematica.

## NORMATIVE

### 10.- A cosa servono le norme di sicurezza?

Le norme di sicurezza hanno lo scopo di proteggere gli individui dalle conseguenze della esposizione agli agenti potenzialmente nocivi, sia che l'esposizione sia legata alla attività lavorativa (individui **professionalmente esposti**) sia che ne sia estranea (**popolazione civile**). In particolare, la protezione deve riguardare tutti gli effetti dell'esposizione, anche quelli che in alcuni casi possono risultare benefici: questi infatti lo sono solo se l'organismo ha bisogno del beneficio in questione, altrimenti si tratta comunque di una perturbazione indesiderata. Per esempio, la ventilata capacità del campo magnetico di accelerare in alcuni casi la ricostruzione del tessuto osseo è utile solo se e dove vi sono fratture da riparare.

Su un piano più generale, le norme di sicurezza puntano anche a proteggere dal **rischio** di subire un danno: può infatti accadere che un effetto di solito indifferente possa sfuggire, specie nel caso di esposizioni ripetute e prolungate (cioè **croniche**), al controllo dei meccanismi fisiologici di compensazione, dando luogo ad un danno: il danno non è certo, ma se ne può stabilire la probabilità in base, per esempio, alla intensità ed alla durata della esposizione.

### 11.- Quali sono i limiti di sicurezza specificati dalle più significative normative nazionali o internazionali che riguardano le esposizioni della popolazione al campo magnetico a bassissima frequenza?

Istituzione	Norma	Valori
<b>ICNIRP</b>	Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields	100 $\mu$ T
<b>Consiglio Europeo</b>	Raccomandazione del 12 luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz	
<b>DPCM 8 luglio 2003</b>	Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti	Limite di esposizione: 100 $\mu$ T Valore di attenzione: 10 $\mu$ T per esposizioni oltre quattro ore al giorno Obiettivo di qualità: 3 $\mu$ T per i nuovi insediamenti o impianti

#### Note

L'ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) è una commissione indipendente in seno all'IRPA (International Radiation Protection Association) che a sua volta si ricollega all'Organizzazione Mondiale della Sanità.

### 12.- Perché le normative nazionali ed internazionali specificano limiti così elevati?

I limiti di sicurezza specificati dalle normative nazionali ed internazionali sono basati sugli effetti accertati del campo magnetico a bassissima frequenza; questi a oggi comprendono solo i cosiddetti effetti "acuti", che hanno luogo a livelli di intensità relativamente alti.

### 13.- Come nasce una norma di sicurezza?

L'approccio ideale al processo di individuazione di limiti di sicurezza consisterebbe nella applicazione più generale possibile del cosiddetto principio ALARA (acronimo per "As Low As Reasonably Achievable"), in base al quale si dovrebbero fissare i limiti al più basso livello ragionevolmente ottenibile. In termini operativi, questo significa che, se dell'agente da cui ci vogliamo difendere se ne può fare a meno, allora il limite di sicurezza deve essere posto a zero. Se l'agente incriminato (materiale, tecnologia, processo industriale, grandezza fisica) ha una insostituibile utilità sociale, allora si dovrebbe innanzitutto costruire una curva che riporta il "costo sociale" in funzione del limite di sicurezza: ad alti valori di questo, la curva risulterà crescente col limite stesso, a causa del costo sociale connesso con le conseguenze delle esposizioni; ai bassi valori essa crescerà al diminuire del limite, a causa del costo sociale connesso con la difficoltà o l'impossibilità ad utilizzare l'agente incriminato, che abbiamo supposto avere una utilità insostituibile; se la curva presenta un punto di minimo, quello è il valore ideale del limite di sicurezza.

Come si capisce facilmente, un approccio del genere, quantunque soddisfacente dal punto di vista concettuale, è inapplicabile in pratica nella quasi totalità delle situazioni reali ed è pertanto necessario ricorrere a procedimenti diversi. L'approccio utilizzato per i campi elettromagnetici è il seguente.

1. Si considerano gli effetti noti derivanti dalle esposizioni.
2. Si cerca di individuare le intensità dei campi al di sotto delle quali non sono riportati effetti (né benefici né avversi).
3. Si impone un opportuno margine di sicurezza per tener conto delle incertezze in gioco e si individua in questo modo il **limite per i professionalmente esposti**.
4. Si impone un ulteriore margine di sicurezza e si individua il limite per la **popolazione**; l'ulteriore margine serve a tutelare le categorie più deboli (bambini, anziani, malati) presenti nella popolazione ed a tener conto della maggior durata potenziale di esposizione (fino a 24 ore al giorno) rispetto ai lavoratori.

Il principio ALARA non viene abbandonato, ma applicato nel particolare: le esposizioni non strettamente necessarie devono essere evitate e in ogni caso si devono ridurre i livelli di esposizione ai più bassi valori (anche inferiori ai limiti di sicurezza, che costituiscono pertanto solo un "tetto massimo") di volta in volta compatibili con le varie applicazioni.

---

#### 14.- Quali sono gli effetti che possono essere presi in considerazione nel processo di definizione di una norma di sicurezza?

Evidentemente quelli a cui è possibile assegnare un valore di soglia; innanzitutto gli effetti acuti, per i quali il rapporto causa/effetto è fuori di dubbio ed il valore di soglia accertabile sperimentalmente senza grosse difficoltà.

---

#### 15.- In quali casi gli effetti *cronici* possono essere utilizzati per definire livelli di sicurezza?

Agli effetti cronici non corrisponde, in genere, un danno certo ma un rischio. Essi sono indagati per mezzo degli studi epidemiologici: occorre evidentemente che siano verificate quelle condizioni che permettono di accertare il rapporto causa/effetto ed individuare un valore di soglia:

- deve esistere una relazione dose/risposta;
- devono aversi dei riscontri di laboratorio;
- deve essere identificato un meccanismo biologico plausibile che spieghi i risultati epidemiologici.

Come si sarà intuito, queste condizioni corrispondono in parte ai cosiddetti "criteri di Hill" sulla base dei quali si giudica della qualità di uno studio epidemiologico e che prendono appunto in considerazione la significatività statistica, la consistenza tra studi diversi, l'esistenza di una relazione dose/risposta, l'evidenza di laboratorio (esperimenti in vitro ed in vivo) e la plausibilità biologica.

---

#### 16.- Le normative nazionali ed internazionali esistenti si applicano solo alle esposizioni acute?

No, i testi delle varie norme precisano esplicitamente che i limiti per la popolazione si applicano ad esposizioni di durata indefinita, anche se raccomandano di adottare criteri cautelativi ispirati al principio

ALARA e al concetto di evitare le esposizioni non necessarie.

---

**17.- Nel redigere le norme di sicurezza le commissioni normative nazionali o internazionali hanno del tutto ignorato i risultati degli studi epidemiologici?**

No, i risultati di tali studi vengono citati, analizzati, confrontati e commentati in dettaglio nei documenti che descrivono l'attività svolta dalle commissioni.

---

**18.- Si può avere il sospetto che i membri delle commissioni normative nazionali o internazionali abbiano deliberatamente voluto mantenere un atteggiamento compiacente nei confronti delle grandi aziende produttrici e distributrici di energia elettrica?**

La composizione delle commissioni internazionali, che raccolgono esperti da un gran numero di paesi e da tipologie di istituzioni diverse, personalità spesso all'apice della carriera, è una buona garanzia di comportamento *super partes*.

---

**19.- Perché non sono stati utilizzati i risultati degli studi epidemiologici come base per stabilire i limiti di sicurezza?**

Le commissioni tecniche nazionali ed internazionali che hanno redatto proposte di normative hanno più volte ribadito, in sintonia con la posizione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, che i risultati degli studi epidemiologici, sebbene non possano e non debbano essere ignorati, non sono abbastanza consolidati e coerenti da poter essere utilizzati per identificare dei limiti di esposizione. Gli studi epidemiologici, infatti, possono essere utilizzati per definire livelli di sicurezza solo se sono verificate alcune condizioni: significatività statistica, consistenza, esistenza di una relazione dose/risposta, evidenza di laboratorio, plausibilità biologica. Queste condizioni non sono verificate dagli studi che si sono occupati della possibile cancerogenicità del campo magnetico a bassissima frequenza.

Le commissioni tecniche hanno probabilmente anche considerato che l'adozione generalizzata di limiti di esposizione basati sulla Soglia di Attenzione Epidemiologica (0,2  $\mu$ T) comporterebbe dover destinare ingenti risorse all'abbattimento dei livelli di campo magnetico a bassissima frequenza nell'ambiente e nelle abitazioni. Tali risorse dovrebbero inevitabilmente essere distolte da altri settori di prevenzione sanitaria, dove il loro utilizzo potrebbe risultare invece molto più efficace, anche in considerazione del limitato impatto sanitario che, pur se dovessero trovare conferma le ipotesi peggiori, risulterebbe associato alle esposizioni al campo magnetico a bassissima frequenza ai livelli consentiti dalle normative vigenti.

---

## EFFETTI ACUTI

---

**20.- Cosa sono gli *effetti acuti* del campo magnetico a bassissima frequenza?**

Gli effetti "acuti" (detti anche effetti di "alto livello") sono caratterizzati dall'essere immediati ed oggettivi:

- immediati perché si verificano immediatamente appena si espone l'individuo al campo magnetico e scompaiono, salvo conseguenze permanenti, al termine dell'esposizione;
- oggettivi perché si verificano su tutti gli individui senza eccezioni, salvo al più variazioni individuali del valore di soglia.

---

**21.- A cosa sono imputabili gli *effetti acuti*?**

Gli effetti acuti dei campi magnetici a bassissima frequenza sono attribuibili alla **densità di corrente** indotta dal campo magnetico esterno nei tessuti degli organismi esposti; grazie ad un grosso lavoro sperimentale su volontari, è stato possibile identificare le soglie di densità di corrente a cui si verificano gli effetti acuti accertati. Ai livelli più bassi si tratta di interferenze nella percezione sensoriale a livello oculare (percezione di lampi luminosi e colorati, detti "fosfeni") o tattile (sensazione di pizzicore); a livelli via via più elevati le correnti

indotte possono causare contrazioni muscolari, extrasistole cardiache, fibrillazione ventricolare, sensazione di calore.

## 22.- Quali sono i principali effetti acuti del campo magnetico a bassissima frequenza e come sono stati accertati?

La sperimentazione su volontari ha permesso di accertare quali sono gli effetti immediati ed oggettivi provocati dalla corrente indotta in un individuo esposto al campo magnetico a bassissima frequenza. I più significativi sono riportati in tabella, elencati in ordine decrescente di intensità.

<b>Effetti acuti del campo magnetico a bassissima frequenza e normative</b>		
Effetto	Campo magnetico	Densità di corrente
riscaldamento dei tessuti (0,4 W/kg)	1.600.000 $\mu\text{T}$	10.000 mA/m <sup>2</sup>
induzione di extrasistole (rischio di fibrillazione)	130.000 $\mu\text{T}$	800 mA/m <sup>2</sup>
percezione sensoriale, magnetofosfeni	16.000 $\mu\text{T}$	100 mA/m <sup>2</sup>
prestandard CENELEC per lavoratori	1.600 $\mu\text{T}$	10 mA/m <sup>2</sup>
prestandard CENELEC per popolazione	640 $\mu\text{T}$	4 mA/m <sup>2</sup>
linee guida ICNIRP per lavoratori	500 $\mu\text{T}$	3 mA/m <sup>2</sup>
rumore elettrofisiologico	160 $\mu\text{T}$	1 mA/m <sup>2</sup>
linee guida ICNIRP per popolazione <b>normativa italiana</b>	100 $\mu\text{T}$	0,6 mA/m <sup>2</sup>

### Nota

Il valore di 0,4 W/kg è il riferimento tipico per le normative fondate sugli effetti termici dei campi elettromagnetici ad radiofrequenza e microonde; si tratta di un livello molto modesto: per confronto si consideri che il calore generato spontaneamente da un organismo umano in condizioni di riposo ("metabolismo basale") ammonta a circa 1,2 W/kg. Si tenga anche conto che il calore prodotto dall'esposizione al campo magnetico è direttamente proporzionale al quadrato dell'intensità del campo.

## 23.- Come si risale dal limite in termini di densità di corrente alla intensità del campo magnetico in grado di indurre nei tessuti quel livello di corrente?

Si indica correntemente col nome, forse un po' improprio, di "dosimetria" la disciplina che si occupa di stabilire le relazioni tra campo magnetico esterno e densità di corrente indotta. Tali relazioni sono state oggetto di indagini accurate a partire dai primi anni novanta. La densità di corrente indotta è proporzionale alle intensità del campo magnetico ed alla frequenza. La costante di proporzionalità dipende dalle condizioni di esposizione, dalla localizzazione dell'organo interessato e dalle sue proprietà dielettriche.

## **STUDI EPIDEMIOLOGICI**

## 24.- Cosa sono gli studi epidemiologici?

Gli studi epidemiologici sono indagini sanitarie, condotte con metodi di tipo statistico, con le quali si punta a

mettere in evidenza eventuali associazioni tra esposizione a fattori di rischio ed insorgenza di patologie.

Nel caso che interessa questo contesto, viene in genere confrontato il grado di esposizione al campo magnetico a bassissima frequenza di due campioni di popolazione (studi "caso-controllo"), uno costituito da individui affetti dalla patologia su cui si vuole indagare, l'altro da individui sani che per ogni altra caratteristica (sesso, età condizioni socioeconomiche e così via) risultano confrontabili con gli individui del primo campione. Dalla elaborazione dei dati dell'indagine viene ricavato un parametro, detto "rischio relativo" ("odds ratio"), che indica quanto l'esposizione al campo magnetico renda eventualmente più probabile l'insorgenza della patologia esaminata.

## 25.- Che cosa emerge in definitiva dagli studi epidemiologici sul campo magnetico a bassissima frequenza?

Nel loro complesso, questi studi indicano una possibile associazione tra l'insorgenza di gravi malattie nella fascia di età fino a 14 anni e la residenza nei pressi di elettrodotti; i valori tipici di rischio relativo per questi studi sono compresi tra 1.3 (30%% di maggior rischio) e 7 (rischio 7 volte maggiore) ma si concentrano soprattutto nella fascia tra 2 e 3; esistono anche studi che hanno fornito un valore negativo di rischio relativo.

## 26.- Quali sono i principali limiti degli studi epidemiologici sul campo magnetico a bassissima frequenza?

- Molti di essi risultano carenti sul piano della significatività statistica (a causa della bassissima incidenza delle patologie considerate).
- Sono assai frequenti discordanze nei risultati tra indagini simili.
- Non mancano (anche se sono in minoranza) lavori con risultati completamente negativi.
- Non esiste, salvo che in pochi casi, un relazione dose/risposta.
- Le evidenze di laboratorio sono del tutto insufficienti.
- Non è stato finora possibile suggerire un meccanismo biologico plausibile per spiegare i risultati degli studi.

## 27.- Come è stato individuato il valore della *Soglia di Attenzione Epidemiologica*?

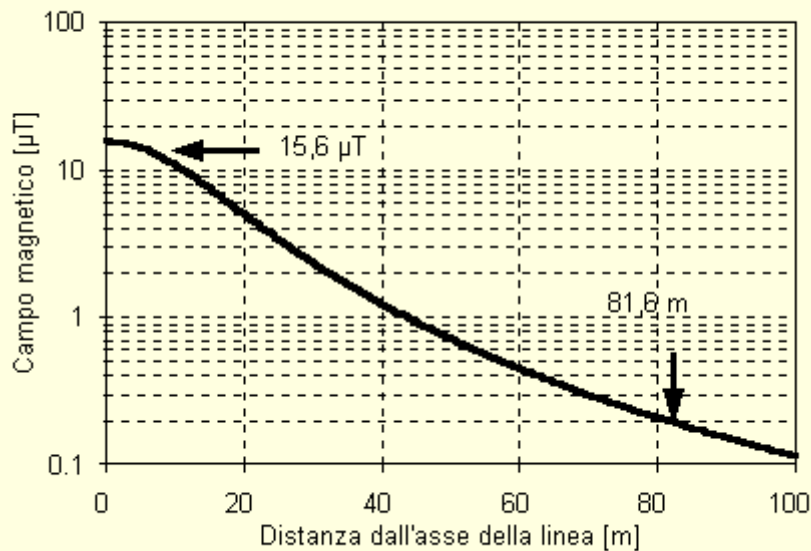
Nonostante le correlazioni più accreditate riguardino il rapporto tra residenza e aumento del rischio di contrarre leucemia, tuttavia alcuni ricercatori, convinti della responsabilità del campo magnetico, hanno cercato di individuare (con metodi per lo più deduttivi, in base ai valori tipici di campo magnetico nei pressi delle linee elettriche) una soglia di discriminazione tra livelli sicuri e pericolosi anche per le esposizioni croniche; si è raggiunto un certo consenso sul fatto che *se l'agente responsabile della apparente cancerogenicità delle linee elettriche è il campo magnetico, allora la soglia di discriminazione tra valori sicuri e pericolosi si deve collocare attorno a 0,2 - 0,25  $\mu T$ .*

## ESPOSIZIONE IN AMBIENTE ESTERNO

## 28.- Quanto è intenso il campo magnetico a bassissima frequenza prodotto da un elettrodotto ad altissima tensione?

La figura mostra il "profilo laterale" del campo magnetico a bassissima frequenza prodotto al suolo da un elettrodotto **380 kV doppia terna da 2000 MW** (1500 A), a partire dall'asse della linea fino a 100 m di distanza, con altezza minima dei conduttori dal suolo di 11,34 m (normativa italiana DMLP 16 gennaio 1991).

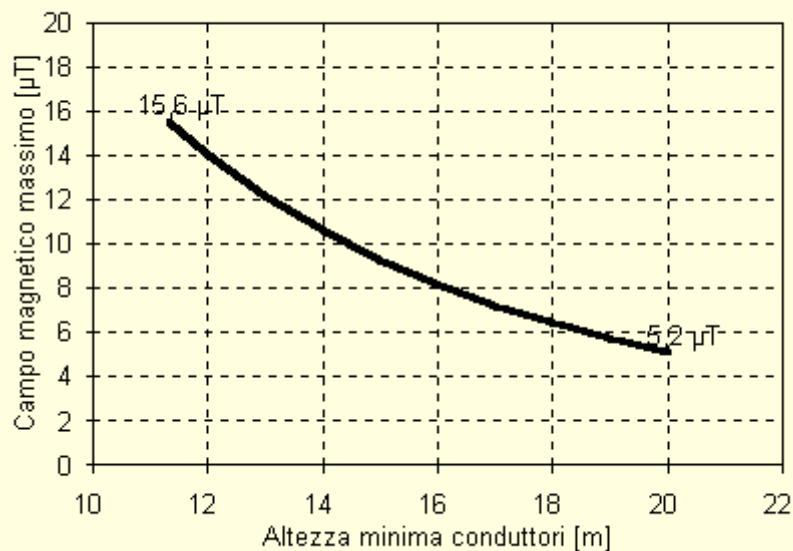




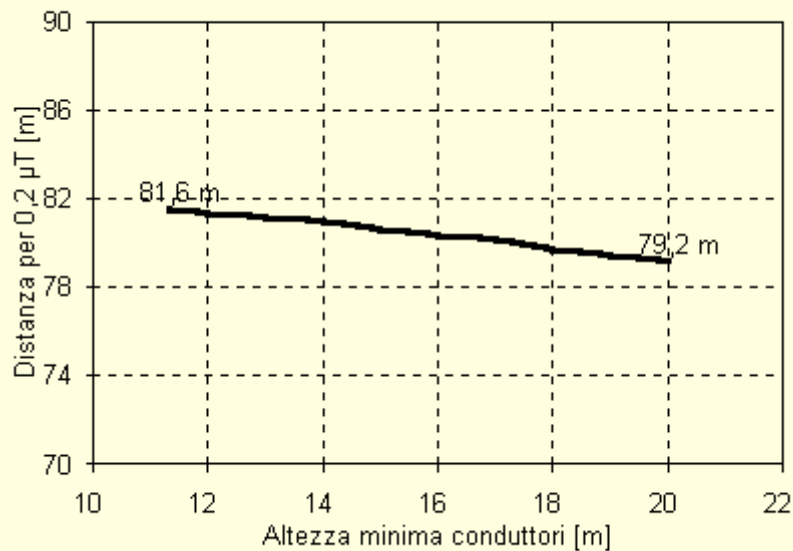
Mostra ingrandito

### 29.- È utile allontanare i cavi di un elettrodotto dal suolo per abbattere l'intensità del campo magnetico?

Le due figure seguenti mostrano che cosa succede se si aumenta l'altezza dei conduttori dal suolo: si ha un efficace abbattimento del valore massimo del campo magnetico al centro della linea (prima figura), mentre l'effetto sulla distanza a cui si raggiunge la Soglia di Attenzione Epidemiologica di  $0,2 \mu\text{T}$  è pressoché trascurabile (seconda figura).



Mostra ingrandito



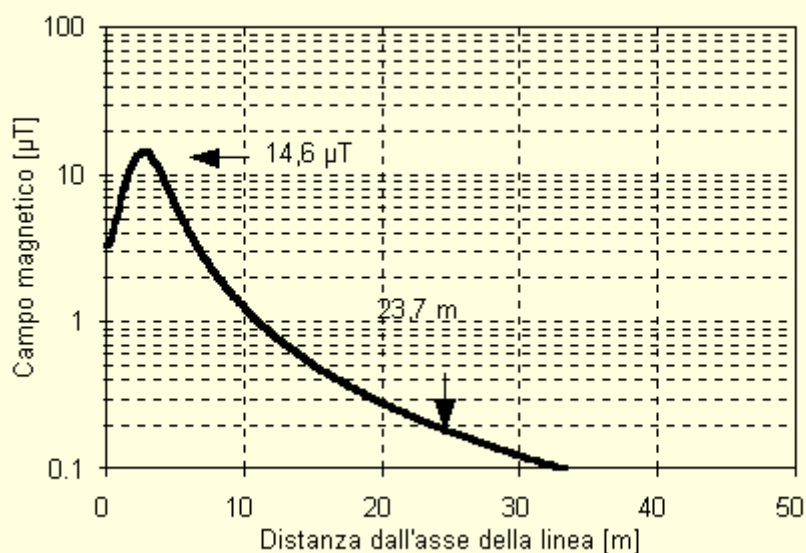
Mostra ingrandito

### 30.- L'allontanamento dei cavi dal suolo è l'unico sistema a disposizione per ridurre l'intensità del campo magnetico a parità di corrente trasportata?

No, per l'abbattimento del livello del campo magnetico generato da un elettrodotto esistono tecniche più efficaci dell'innalzamento dei conduttori da terra, come per esempio l'uso di configurazioni **"split phases"** o delle **linee compatte**, che oltretutto consentono anche di ridurre l'impatto paesaggistico dell'elettrodotto. In Italia, l'ENEL ha sperimentato ampiamente tali soluzioni e, conoscendone a fondo vantaggi e limiti, è in grado di valutare caso per caso l'applicabilità nelle situazioni reali.

### 31.- Quanto è intenso il campo magnetico a bassissima frequenza prodotto da un elettrodotto interrato?

La figura mostra il campo magnetico generato al livello del suolo da un elettrodotto **interrato 380 kV doppia terna piana da 1000 MW (790 A)**. Come si vede, tenendo conto del diverso livello di potenza trasportato rispetto all'elettrodotto in aria (circa la metà), il campo magnetico massimo è sensibilmente più elevato, ma si riduce più rapidamente con la distanza.



Mostra ingrandito

---

### 32.- Quali fattori devono essere tenuti in considerazione nel valutare l'opportunità di ricorrere a linee interrate, oltre all'aspetto relativo al campo magnetico?

- Costi di installazione
- Costi di manutenzione
- Costi associati alla perdita di energia
- Problemi di impatto ambientale (scavo, massello di cemento, eventuale olio minerale, riscaldamento del terreno)

---

### 33.- Cosa si può dire in sintesi sulle sorgenti di campo magnetico a bassissima frequenza nell'ambiente esterno?

- L'intensità massima del campo magnetico a bassissima frequenza generato da un elettrodotto doppia terna da 380 kV/2000 MW con conduttori all'altezza minima consentita dalle norme tecniche (11,34 m dal suolo) è poco inferiore ai **16  $\mu$ T**.
- Tale intensità si riduce al di sotto della SAE ad una distanza di circa **80 m** dall'asse della linea.
- Aumentare l'altezza dei conduttori da terra permette di ridurre notevolmente il livello massimo generato, ma non la distanza a cui si raggiunge la SAE.
- I cavi interrati generano, a parità di corrente trasportata, un campo magnetico al livello del suolo molto più intenso degli elettrodotti aerei (**circa il doppio**). L'intensità del campo si riduce però più rapidamente con la distanza: la SAE si raggiunge a circa **24 m** dall'asse della linea.
- I cavi interrati presentano problemi non indifferenti dal punto di vista economico e di impatto ambientale.

---

## ESPOSIZIONE IN AMBIENTE DOMESTICO

---

### 34.- Quali sono le principali sorgenti di campo magnetico a bassissima frequenza negli ambienti domestici?

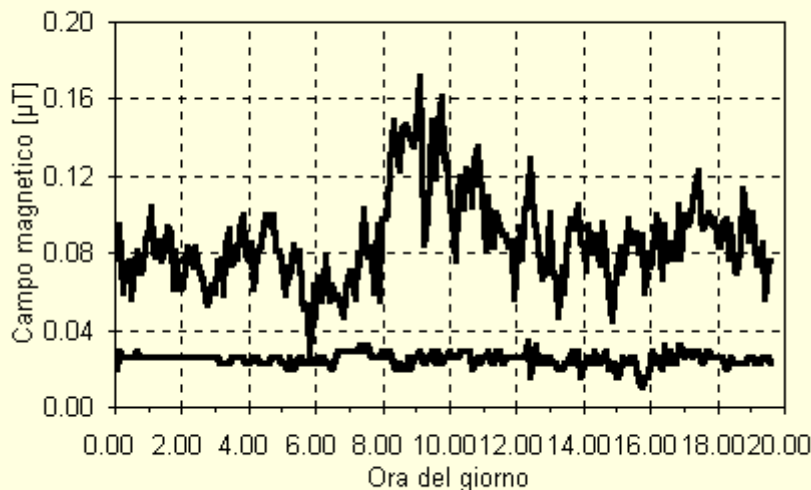
Sebbene non vi sia nessuna differenza qualitativa tra il campo magnetico a bassissima frequenza generato da sorgenti diverse (siano esse elettrodotti, conduttori di cablaggio o elettrodomestici), da un punto di vista descrittivo è conveniente riconoscere due contributi principali alle esposizioni domestiche, distinguendo le sorgenti ben individuabili (gli elettrodomestici) dall'apporto del "fondo ambientale", nel quale confluiscono tanto le sorgenti poste all'esterno dell'appartamento (linee elettriche aeree ed interrate, elettrodomestici in appartamenti contigui) quanto quelle interne non immediatamente localizzabili (per esempio il cablaggio nelle pareti).

### 35.- Quali sono i livelli tipici di campo magnetico a bassissima frequenza del fondo ambientale in un appartamento?

All'IFAC abbiamo eseguito diverse campagne di misura del campo magnetico a bassissima frequenza in ambienti abitativi. Dall'analisi dei dati rilevati fino ad oggi sono emerse alcune considerazioni abbastanza generali.

- Il campo magnetico del fondo a bassissima frequenza negli ambienti domestici presenta una notevole variabilità temporale a breve e medio termine, nella quale è possibile talvolta riconoscere una ciclicità giorno/notte.
- Esso risulta più elevato negli appartamenti condominiali e minore nelle abitazioni singole; ciò potrebbe essere dovuto all'influenza del cablaggio comune e al contributo degli appartamenti limitrofi.
- I valori tipici del fondo ambientale sono in genere non solo abbondantemente al di sotto dei limiti di sicurezza raccomandati dalle normative, ma anche inferiori (seppur di poco) alla Soglia di Attenzione Epidemiologica.

Queste considerazioni sono ben documentate dalla figura, che riporta e confronta le misure di induzione magnetica eseguite su un arco di 20 ore, una misura ogni 5 minuti, in un punto di un tipico appartamento in condominio urbano (linea superiore) e di una abitazione singola in quartiere periferico semirurale (linea inferiore).

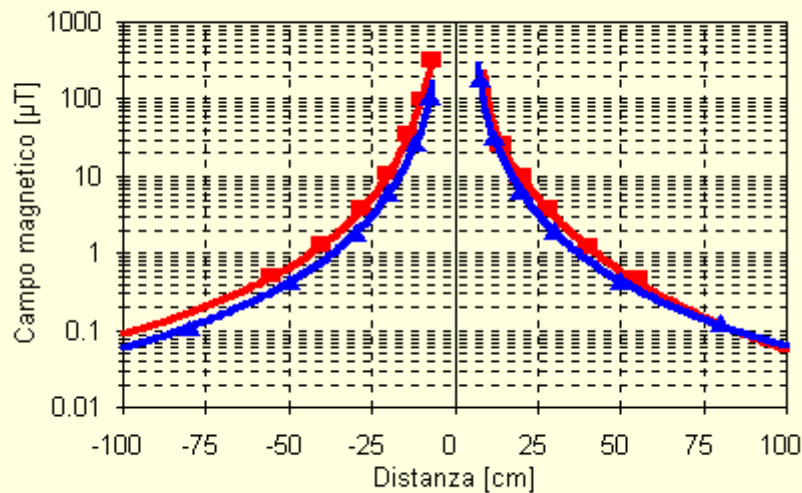


Mostra ingrandito

### 36.- Quali sono i livelli tipici di campo magnetico a bassissima frequenza nell'intorno dei piccoli elettrodomestici?

All'IFAC sono state eseguite molteplici serie di misure del campo magnetico a bassissima frequenza generato da piccoli elettrodomestici di uso comune. In figura sono riportati a titolo di esempio i dati rilevati su di un asciugacapelli (linea in colore azzurro) e uno spremiagrumi (linea in colore rosso), ma le conclusioni che riportiamo sono abbastanza generali.

- Nelle immediate vicinanze di un elettrodomestico (meno di 10 cm) può essere facilmente superato il limite di sicurezza ICNIRP (100 µT).
- L'intensità del campo decade rapidamente con la distanza; la Soglia di Attenzione Epidemiologica viene raggiunta a distanze dell'ordine di 30-80 cm, a seconda del tipo di elettrodomestico.



Mostra ingrandito

### 37.- Cosa si può dire in sintesi sulla caratteristiche del campo magnetico a bassissima frequenza negli ambienti abitativi?

- Il campo magnetico del fondo a bassissima frequenza negli ambienti domestici presenta una notevole variabilità temporale a breve e medio termine, nella quale è possibile talvolta riconoscere una ciclicità giorno/notte.
- Esso risulta più elevato negli appartamenti condominiali e minore nelle abitazioni singole; ciò potrebbe essere dovuto all'influenza del cablaggio comune e al contributo degli appartamenti limitrofi.
- I valori tipici del fondo ambientale sono in genere non solo abbondantemente al di sotto dei limiti di sicurezza raccomandati dalle normative, ma anche inferiori (seppur di poco) alla Soglia di Attenzione Epidemiologica.
- Nelle immediate vicinanze di un elettrodomestico (meno di 10 cm) può essere facilmente superato il limite di sicurezza ICNIRP (100 µT).
- L'intensità del campo decade rapidamente con la distanza; la Soglia di Attenzione Epidemiologica (0,2 µT) viene raggiunta a distanze dell'ordine di 30-80 cm, a seconda del tipo di elettrodomestico.

## IMPATTO SOCIO-SANITARIO

### 38.- Come possiamo riassumere la situazione delle conoscenze sulla pericolosità del campo magnetico a bassissima frequenza?

Le norme di sicurezza, costruite sulla base degli elementi certi del problema, portano ad indicare come accettabili livelli almeno 400 volte superiori a quelli che gli studi epidemiologici indicano, in caso di esposizione cronica, come in grado forse di favorire l'insorgenza di patologie molto gravi.

Livelli significativamente superiori alla Soglia di Attenzione Epidemiologica si trovano assai frequentemente nell'ambiente nei pressi degli elettrodotti, sia in prossimità di apparecchiature elettriche di uso comune.

### 39.- Ulteriori ricerche possono essere chiarire meglio la situazione?

Sono in molti a ritenere che difficilmente nuove indagini epidemiologiche potranno modificare sostanzialmente il quadro delle conoscenze acquisite. Secondo questo punto di vista, sarebbe più opportuno concentrare le risorse disponibili per la ricerca su altri due fronti. Innanzitutto l'indagine biologica, nel tentativo di individuare il famoso meccanismo d'azione; in secondo luogo il settore ingegneristico, per perfezionare le

tecniche già note di abbattimento delle intensità dei campi o svilupparne di nuove. Infatti, anche nell'ottica di una corretta applicazione del principio ALARA, è opportuno iniziare ad applicare sistematicamente queste tecniche in occasione, per esempio, delle nuove installazioni o delle nuove produzioni.

---

#### **40.- Qual'è, nella peggiore delle ipotesi, l'impatto sanitario delle esposizioni ai campi magnetici a bassissima frequenza generati dagli elettrodotti ad altissima tensione?**

Esiste in proposito una valutazione dell'Istituto Superiore di Sanità nella quale, sulla base di calcoli molto prudenziali, si mostra che, dando per certo il raddoppio del rischio leucemico per i bambini che vivono in prossimità di elettrodotti, tre casi di incidenza di leucemia ed un caso di morte per leucemia sarebbero imputabili ogni anno in Italia alla esposizione al campo magnetico a bassissima frequenza.

---

#### **41.- Nell'ottica della massima tutela della salute pubblica, non sarebbe giusto operare come se la cancerogenicità del campo magnetico a bassissima frequenza fosse accertata e decidere di abbattere tutte le esposizioni al di sotto della Soglia di Attenzione Epidemiologica?**

Si tratta di un punto di vista attraente, ma impraticabile, se inteso in senso radicale: non disponiamo delle risorse necessarie per varare un programma globale di abbattimento delle esposizioni senza provocare conseguenze più gravi del rischio ipotetico che si vuole prevenire. Ciò non toglie che sia doveroso intervenire là dove è ragionevolmente possibile, cioè dove, con l'impiego di risorse sensate, si possa ottenere la riduzione dell'esposizione per ampi bacini di popolazione.

È evidentemente di un problema di utilizzo ottimale delle risorse destinate alla prevenzione sanitaria: esse devono essere utilizzate in modo da massimizzarne l'efficacia in termini di vite salvate in rapporto alla spesa sostenuta.

---

#### **42.- Quale può essere un approccio corretto nei confronti della popolazione?**

L'opinione pubblica oggi non è più disponibile (se mai lo è stata) ad accettare passivamente decisioni che in qualche modo diano l'impressione di compromettere la propria sicurezza o qualità di vita, ma è anzi incline, in casi del genere, a trattare con sospetto e diffidenza i propri amministratori e la stessa comunità scientifica.

Non essendo evidentemente perseguibili approcci di tipo autoritario o paternalistico, non resta che la via del cosiddetto consenso informato. Si tratta di presentare alla popolazione, con linguaggio chiaro ed appropriato, tutti gli aspetti della questione, i pro e i contro di ogni alternativa, in modo da ottenerne il consenso sulla base non della fiducia ma della valutazione ponderata; è un approccio lungo e oneroso, che richiede il concorso fattivo di tutte le istituzioni coinvolte.

---

#### **43.- Quali ruoli per le istituzioni coinvolte?**

- Alla comunità scientifica si chiede di esporre con chiarezza le proprie conoscenze, distinguendo tra fatti certi, ipotesi più o meno accreditate ed opinioni.
- Ai mezzi di informazione è affidato il compito di riportare correttamente queste informazioni, dando ugualmente spazio a tutte le opinioni, evitando di esaltare quelle che sostengono opzioni allettanti ma impraticabili o criminalizzare chi, in buona fede, ritiene che ci si stia preoccupando eccessivamente.
- Agli amministratori si chiede la trasparenza: motivare efficacemente le proprie scelte, in modo da poter dimostrare, fatti alla mano, di perseguire una politica di utilizzo ottimale delle risorse e di equa ripartizione tra i cittadini delle inevitabili situazioni di rischio o disagio che il vivere in una società complessa come la nostra comporta.

Questa pagina è stata visitata  volte dal 5 aprile 2005.

---

[Torna all'inizio](#)

*IFAC-CNR, Firenze, 1997-2005.*

*Le opinioni espresse in questo documento riflettono le conoscenze e le convinzioni del curatore, a cui è possibile rivolgersi per commenti, proposte, richieste.*