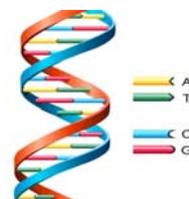


## Valutazione e visualizzazione dell'energia a radiofrequenza assorbita dal cervello durante l'utilizzo del telefono cellulare: una nuova metodologia

Gli effetti dei campi elettromagnetici a radiofrequenza sono stati ampiamente studiati su cellule, su animali e, attraverso indagini epidemiologiche, anche sull'uomo, con particolare riferimento ad una possibile associazione tra esposizione ai campi prodotti dai telefoni cellulari ed insorgenza di tumori cerebrali. Nel 2011 la IARC, fondandosi su limitate evidenze di associazione tra esposizione ai campi a radiofrequenza emessi dai telefoni cellulari e insorgenza di glioma e neurinoma acustico nell'uomo e negli animali da esperimento... [Leggi tutto l'articolo](#)

## Danno al DNA e diminuzione della capacità riproduttiva per effetto della esposizione a campi magnetici a bassa frequenza

I campi elettromagnetici a bassa frequenza (50-60 Hz) sono una presenza costante negli ambienti residenziali, urbani e lavorativi e i potenziali effetti derivanti dalla loro esposizione sull'uomo e sugli organismi viventi sono tutt'ora oggetto di studio da parte della comunità scientifica. Nel corso degli ultimi 30 anni, la ricerca in questo ambito è stata portata avanti in varie direzioni, sia tramite studi in vivo e in vitro... [Leggi tutto l'articolo](#)



## Workshop ITU sui campi elettromagnetici

L'ITU (Unione Internazionale delle Telecomunicazioni) in associazione con il Ministero dello Sviluppo Economico organizza per il 9 maggio a Torino un ... [Leggi](#)

## Campi magnetici ELF in veicoli elettrici e alimentati a benzina

Il presente studio, condotto nel 2013 da Tell e collaboratori e pubblicato sulla rivista internazionale "Bioelectromagnetics" in un articolo intitolato "ELF Magnetic Fields in Electric and Gasoline-Powered Vehicles", costituisce una ricerca pilota condotta allo scopo di verificare... [Leggi tutto l'articolo](#)

## Effetti della esposizione a campi ELF su gravidanza, crescita fetale e sviluppo

Nel corso degli ultimi decenni, gli effetti della esposizione ai campi elettromagnetici, sia ad alta che a bassa frequenza, sugli organismi viventi sono stati ampiamente studiati, sia attraverso attività di ricerca in vivo, sia tramite indagini in vitro, portate avanti con lo scopo di fornire risposte maggiormente conclusive e definitive sull'argomento... [Leggi tutto l'articolo](#)

Per informazioni consultare [www.elettra2000.it](http://www.elettra2000.it) o scrivere a [info@elettra2000.it](mailto:info@elettra2000.it)

Se non si desidera più ricevere questo notiziario scrivere a [unsubscribe@elettra2000.it](mailto:unsubscribe@elettra2000.it)

## Valutazione e visualizzazione dell'energia a radiofrequenza assorbita dal cervello durante l'utilizzo del telefono cellulare: una nuova metodologia

Gli effetti dei campi elettromagnetici a radiofrequenza sono stati ampiamente studiati su cellule, su animali e, attraverso indagini epidemiologiche, anche sull'uomo, con particolare riferimento ad una possibile associazione tra esposizione ai campi prodotti dai telefoni cellulari ed insorgenza di tumori cerebrali.

Nel 2011 la IARC, fondandosi su limitate evidenze di associazione tra esposizione ai campi a radiofrequenza emessi dai telefoni cellulari e insorgenza di glioma e neurinoma acustico nell'uomo e negli animali da esperimento, ha classificato i campi elettromagnetici a radiofrequenza nel gruppo 2B (possibilmente cancerogeni, che corrisponde alla forma più blanda di classificazione di un agente). Un altro motivo che ha portato alla classificazione in oggetto è la mancanza di dati epidemiologici riguardanti gli effetti a lunghissimo termine (30 anni e oltre), unitamente alla incompleta conoscenza dei meccanismi di interazione a livello biologico tra campo a radiofrequenza e tessuti, in particolare quello cerebrale.

L'opinione comune è che l'effetto predominante in tali interazioni sia di natura termica, manca però una valutazione precisa dei gradienti termici che si verificano all'interno del cervello per effetto della esposizione ai campi a radiofrequenza o a microonde prodotti dal terminale mobile nel corso di una conversazione telefonica.

A questa mancanza hanno cercato di dare risposta due ricercatori del Weill Cornell Medical College di New York in un articolo pubblicato a marzo 2013 su PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America dal titolo "NMR imaging of cell phone radiation absorption in brain tissue".

La metodologia descritta si basa sulla acquisizione di immagini con tomografo a risonanza magnetica nucleare. Le immagini NMR permettono infatti la caratterizzazione di un tessuto organico (o di una sostanza sintetica) dal punto di vista fisico, biologico e termico, di avere riscontro sul calore specifico e sul SAR oltre che fornire una mappatura estremamente dettagliata dei transienti termici.

L'applicazione delle tecniche di risonanza magnetica permetterebbe una valutazione del SAR e delle variazioni di temperatura a carico di tessuti interni senza l'invasività che caratterizza i metodi attualmente utilizzati (misura della temperatura all'interno del campione) che non possono certo essere sfruttati per indagini in vivo e senza introdurre tutte le incertezze computazionali legate alla gestione dei parametri biologici che caratterizzano le simulazioni numeriche.

L'approccio utilizzato dai ricercatori è di natura multidisciplinare; il primo passo è consistito nel creare una antenna che potesse essere inserita all'interno del forte campo statico senza perturbarlo e senza venire attratta dal magnete. Tale antenna consiste in una serie di dipoli costituiti da materiale non ferromagnetico collegati, tramite cavi non ferromagnetici, ad un trasmettitore posto all'esterno della sala contenente il tomografo. Il trasmettitore è in grado di generare un segnale a 1.9 GHz simile a quello prodotto dai telefoni cellulari.

L'utilizzo di questa antenna ha permesso di effettuare misure non invasive di SAR sfruttando il fatto che variazioni anche minime di temperatura influenzano i tempi di rilassamento T1 e T2 e le frequenze di risonanza.

Il calore infatti causa uno sfasamento della frequenza di risonanza dei nuclei che compongono il tessuto o la sostanza; se si applica questo fenomeno fisico all'idrogeno che è presente in grande quantità in tutti i tessuti biologici è possibile ottenere delle mappature termiche.

L'entità della esposizione a campi RF prodotta dall'utilizzo del telefono cellulare varia in funzione della potenza emessa dal terminale, dalla posizione dell'antenna rispetto alla testa e dalle proprietà specifiche del tessuto biologico oggetto di indagine.

Un telefono cellulare può emettere picchi in potenza pari a 1-2 W; questa esposizione così elevata in genere nel corso di una telefonata può verificarsi per intervalli brevissimi di tempo, dell'ordine della frazione di millisecondo. Le potenze emesse nel corso di una chiamata in genere variano tra 125 e 250 mW.

L'indagine è stata portata avanti dai ricercatori utilizzando potenze di 125-250-500-1000-2000 mW, a coprire tutte le situazioni possibili di esposizione, comprese le più estreme.

Campioni di cervello di bovino e di gel WTS confezionato in modo da simulare la massa cerebrale sono stati esposti 12 minuti, seguiti da 6 minuti di non esposizione ad un campo continuo di frequenza pari a 1.9 GHz in tutto l'intervallo di potenze sopra descritto.

Il campione e l'antenna si trovavano all'isocentro di un tomografo per risonanza magnetica nucleare con campo statico nominale di 3T; sono state utilizzate diverse sequenze cliniche standard con impiego di gradienti di campo magnetico per l'acquisizione di immagini su fette di tessuto dello spessore di 5 mm.

La ricostruzione dell'immagine ottenuta su gel e su campione ex vivo ha messo in evidenza hot spot visibili sul gel già per potenze del segnale RF di 250 mW e sul campione ex vivo a partire dai 500 mW. All'aumentare della potenza emessa, la zona calda aumentava di dimensione e di temperatura; questa tendenza è risultata più marcata per il gel in quanto la maggior omogeneità ha permesso la visualizzazione di fenomeni di lieve aumento della temperatura non riscontrabili nella materia cerebrale, meno omogenea.

Per puro confronto sono stati utilizzati anche i metodi di valutazione standard consistenti nella misura diretta della temperatura interna dei campioni tramite introduzione di un termometro collegato a fibra ottica.

Gli incrementi di temperatura valutati con la metodologia a risonanza magnetica nucleare sono risultati pienamente in linea con quelli ricavati tramite la metodologia classica, permettendo agli studiosi di concludere che, per quanto riguarda gel fisiologici e campioni ex vivo, la valutazione non invasiva dell'incremento di temperatura imputabile alla esposizione a campi RF generati da telefoni cellulari con tecniche NMR è applicabile con successo.

Per quanto riguarda i tessuti in vivo, il parametro dosimetrico SAR, utilizzato comunemente per la valutazione della esposizione a campi a radiofrequenza e microonde può essere rappresentato come funzione del campo elettrico e della temperatura attraverso una serie di parametri (perfusioni del sangue, densità tissutale, conducibilità termica) che, o sono noti da letteratura o possono essere valutati con successo attraverso l'utilizzo di tecniche NMR, come succede ad esempio per i gradienti termici e per la perfusione del sangue.

Gli aumenti di temperatura locali rilevati nei campioni ex vivo sono inferiori ad un grado per un campo di potenza pari a 500 mW applicato per 12 minuti, dell'ordine di due gradi per campi con potenza pari a 1000 mW applicati a loro volta per 12 minuti, con un massimo di 4 gradi di aumento per una esposizione prolungata a campi di potenza pari a 2000 mW. Va però sottolineato che un campione ex vivo rappresenta una sorta di "scenario peggiore" in quanto l'assenza degli effetti legati alla perfusione fa sì che l'assorbimento di energia e l'aumento di temperatura sia maggiore rispetto ad una situazione "in vivo" in cui tutti i meccanismi di dispersione sono pienamente funzionanti. Lo stesso discorso vale per il gel, per il quale gli aumenti di temperatura locali registrati con le tecniche a risonanza sono risultati ancora maggiori. Il gel infatti simula perfettamente il tessuto cerebrale dal punto di vista elettrico e delle proprietà termiche, ma presenta una molteplicità di shift chimici e di effetti di risonanze che complicano le analisi.

Gli studiosi hanno quindi ipotizzato che l'aumento di temperatura valutabile in vivo è sicuramente minore rispetto al dato fornito dal gel e dal tessuto cerebrale ex vivo a causa degli effetti legati alla perfusione e concludono che il metodo indicato, per ora utilizzato solo su campioni sintetici o ex vivo possa in futuro essere applicato con successo in vivo su tutta la massa cerebrale per la valutazione di aumenti di temperatura anche inferiori al grado dovuti alla esposizione ai campi a radiofrequenza generati dal telefono cellulare.

## Glossario

**SAR – Specific Absorption Rate – tasso di assorbimento specifico (S.A.R.):** esprime la potenza assorbita per unità di massa (W/Kg). Serve per quantificare la potenza assorbita da un organismo biologico quando interferisce con un campo elettromagnetico o un'onda - Viene utilizzato nella definizione dei limiti di esposizione per campi a radiofrequenza

**T1 – tempo di rilassamento spin reticolo:** Da un punto di vista chimico il  $T_1$  di una sostanza è determinato dalla libertà di movimento delle molecole in essa contenute:  $T_1$  è elevato per acqua e fluidi acquosi fermi, a causa della scarsa interazione fra le molecole; è elevato anche per le strutture solide, nei quali i rigidi legami intermolecolari ostacolano un'efficiente interazione energetica; è breve per le soluzioni e i parenchimi, in relazione comunque alla quantità di acqua.

**T2 - tempo di rilassamento spin spin:** Da un punto di vista chimico il  $T_2$  di una sostanza è determinato dalla libertà di movimento delle molecole in essa contenute: in acqua pura il  $T_2$ , determinato sul rilassamento degli atomi di idrogeno, è massimo mentre raggiunge valori brevi per i solidi a struttura cristallina

**Frequenza di risonanza (o frequenza di Larmor):** frequenza a cui un atomo dà assorbimento nel caso in cui vengano utilizzate onde elettromagnetiche come vettore di energia.

**Gel WTS – (Water-Triton-Salt Gel):** Gel acquoso che presenta caratteristiche simili al cervello dal punto di vista elettrico e della densità

**Isocentro:** sfera contenuta all'interno del bore di un tomografo per risonanza magnetica nucleare nella quale il campo magnetico statico è estremamente uniforme ed assume il valore nominale. In questa zona vengono acquisite le immagini

**Perfusione del sangue:** Parametro legato alla modalità di distribuzione del sangue in un organo o tessuto. La perfusione di un organo è data quantitativamente dalla volume di sangue che passa per il letto capillare dell'organo per unità di tempo.

**Shift chimico o spostamento chimico:** fenomeno fisico per il quale un atomo risente energeticamente delle interazioni provocate dal suo intorno chimico. Nella spettroscopia NMR questo si traduce in una micro variazione della frequenza di risonanza

---

## Danno al DNA e diminuzione della capacità riproduttiva per effetto della esposizione a campi magnetici a bassa frequenza

I campi elettromagnetici a bassa frequenza (50-60 Hz) sono una presenza costante negli ambienti residenziali, urbani e lavorativi e i potenziali effetti derivanti dalla loro esposizione sull'uomo e sugli organismi viventi sono tutt'ora oggetto di studio da parte della comunità scientifica.

Nel corso degli ultimi 30 anni, la ricerca in questo ambito è stata portata avanti in varie direzioni, sia tramite studi in vivo e in vitro, sia attraverso indagini epidemiologiche; tuttavia, i risultati ottenuti dalle varie ricerche sono tutt'ora poco conclusivi e necessitano di ulteriori conferme e approfondimenti.

Nell'articolo pubblicato sul numero di marzo della rivista internazionale "Cell Biochemistry and Biophysics" ed intitolato "ELF Alternating Magnetic Field Decreases Reproduction by DNA Damage Induction", gli autori, un gruppo di biologi dell'Università di Atene presentano una indagine condotta sugli effetti della componente magnetica dei campi alternati ELF sulla capacità riproduttiva di un importante organismo modello, la *Drosophila melanogaster*.

Questo insetto è uno degli organismi più studiati nella genetica e nella ricerca biologica ed è spesso utilizzato negli studi in vivo su animali poiché si tratta di un insetto piccolo e facile da allevare in laboratorio ed il suo ciclo vitale è caratterizzato da un breve tempo di generazione (circa 2 settimane) e da una elevata produttività (ogni singola femmina può deporre fino a 600 uova in 10 giorni). Inoltre i maschi non mostrano ricombinazioni cromosomiche, facilitando di conseguenza gli studi genetici ed il sequenziamento del suo genoma è stato completato nel 1998.

Studi precedenti sulla *Drosophila melanogaster* avevano messo in evidenza che l'esposizione a campi magnetici ELF pulsati o alternati determinava diversi effetti sull'attività riproduttiva dell'insetto, tra cui l'incremento della mortalità embrionale, l'induzione di mutazioni letali nelle cellule riproduttive, la diminuzione della capacità riproduttiva e l'aumento lieve ma statisticamente significativo della mortalità delle uova fecondate.

Uno studio ancor più recente ha evidenziato che l'esposizione della generazione parentale e della prima generazione filiale (F1) portava ad una riduzione nelle generazioni successive della capacità di deporre le uova.

Altre indagini invece non hanno riportato effetti sugli insetti che possano essere associati all'esposizione ai campi ELF.

Dal momento che i risultati su questo argomento sono discordanti e non conclusivi, l'obiettivo della presente ricerca è lo studio dei potenziali effetti dei campi ELF sulle capacità riproduttive della *Drosophila*, ricercando anche eventuali danni a livello del DNA delle cellule implicate nei processi riproduttivi durante l'oogenesi.

Gli insetti sono stati separati in due identici gruppi, ciascuno dei quali formato da dieci maschi e dieci femmine appena nati, mantenuti separati per le prime 48 ore di vita. Questo perché gli insetti, subito dopo la schiusa, non sono sessualmente maturi e necessitano di un periodo di tempo pari a 12 ore per le femmine e a 45 ore per i maschi per raggiungere la completa

capacità riproduttiva; la separazione iniziale assicura che tutte le uova deposte nel periodo successivo verranno fecondate.

Il gruppo utilizzato come controllo non è stato esposto ad alcun campo, mentre gli insetti dell'altro gruppo sono stati esposti durante i loro primi 5 giorni di vita adulta a tre differenti intensità di campo magnetico alternato a 50 Hz (0,1, 1,1 e 2,1 mT); al termine della esposizione i maschi e le femmine di ciascun gruppo sono stati uniti per consentire la riproduzione.

Dall'analisi dei risultati è emersa una diminuzione del 4.3% della capacità riproduttiva degli insetti esposti alla componente magnetica del campo ELF; in questo caso la potenza statistica è estremamente bassa ma lo stesso risultato è stato replicato per 12 volte e questa ripetibilità avvalorava quanto trovato, sebbene la ripetizione condotta nello stesso laboratorio con le medesime condizioni di crescita e gli stessi fattori confondenti potrebbe aver indotto delle polarizzazioni nei risultati; sarebbero perciò necessarie ulteriori ripetizioni di questo esperimento con il medesimo protocollo in laboratori diversi.

Successive analisi molecolari hanno inoltre evidenziato nel gruppo degli esposti una frammentazione del DNA, osservata però solamente a livello dei checkpoints relativi agli stadi maggiormente sensibili dell'oogenesi (stadi ultraprecoci o precoci) non in tutte le fasi dello sviluppo. Studi precedenti con esposizione degli insetti a campi a microonde avevano invece evidenziato un danno a livello del DNA in tutti gli stadi dello sviluppo. Questo risultato, se replicato, potrebbe costituire un dato estremamente importante che confermerebbe la ipotizzata diversità dei meccanismi di interazione a livello microbiologico tra campi e bassa frequenza e microonde.

Un altro punto importante riguarda il fatto che la frammentazione del DNA è stata osservata in tutte e tre le tipologie di cellule riproduttive (nutrici, follicolari e oociti); negli studi precedenti il danno a livello del DNA degli oociti era stato osservato soltanto in seguito all'esposizione alle microonde, di conseguenza, il fatto che l'esposizione ai campi ELF induca una frammentazione del DNA degli oociti costituisce un risultato innovativo. Il danno a livello del genoma dell'oocita potrebbe determinare la comparsa di mutazioni ereditabili dalle generazioni successive.

Dal presente studio si può quindi dedurre che l'esposizione ai campi ELF porta ad una lieve diminuzione della capacità riproduttiva associata ad una frammentazione a livello di DNA nella *Drosophila Melanogaster*; bisogna comunque considerare che l'indagine è stata condotta su un organismo estremamente differente da quello umano, con un genoma semplice, questo fa sì che i dati ottenuti non possano essere estrapolati, né all'uomo, né ai mammiferi in genere. Per poter avvalorare questi risultati occorrerebbe, oltre ad un aumento della potenza statistica, una ripetizione delle analisi su organismi più complessi, con una catena del DNA costituita da un maggior numero di basi azotate.

Inoltre, sarebbe importante definire i meccanismi cellulari e molecolari che stanno alla base di questi effetti, per avere un quadro ancor più chiaro e conclusivo.

## **Glossario:**

**ricombinazione cromosomica:** processo che genera in una cellula nuovi geni o combinazioni cromosomiche che non si trovavano in questa cellula o nei progenitori. La ricombinazione permette di ottenere corredi genetici contenenti nuovi assortimenti di geni

**sequenziamento del genoma:** è la determinazione dell'ordine dei diversi nucleotidi che costituiscono il DNA. La sequenza del DNA contiene tutte le informazioni genetiche ereditarie che sono alla base dello sviluppo di tutti gli organismi viventi e all'interno di questa sequenza sono codificati i geni di ogni organismo, nonché le istruzioni per esprimerli nel tempo e nello spazio. La conoscenza del genoma risulta quindi utile in ogni campo della biologia e l'avvento di metodi per il sequenziamento del DNA ha accelerato significativamente la ricerca.

**checkpoint:** punti di controllo localizzati a livello delle transizioni di fase in molti cicli biologici, che permettono, in caso di errori, di arrestare il processo correggendo le eventuali anomalie che potrebbero compromettere la vitalità e la funzionalità cellulare.

**cellule nutrici:** cellule che producono molte delle molecole necessarie allo sviluppo dell'oocita

**cellule follicolari:** cellule che circondano completamente l'ovocita e sono la sorgente dei segnali che polarizzano l'uovo

**ovocita:** cellula germinale che si forma in seguito alla divisione cellulare; ciascuna cellula si divide quattro volte per produrre un clone di 16 cellule delle quali soltanto una è destinata a diventare l'ovocita, mentre le altre diventeranno cellule nutrici

---

## Workshop ITU sui campi elettromagnetici

L'ITU (Unione Internazionale delle Telecomunicazioni) in associazione con il Ministero dello Sviluppo Economico organizza per il 9 maggio a Torino un workshop sulla tematica riguardante l'Esposizione dell'Uomo ai Campi Elettromagnetici.

Il workshop ha come obiettivo primario il fornire una panoramica sulle questioni relative ai campi elettromagnetici a vantaggio di coloro che se ne occupano a livello politico ed economico-aziendale.

Il workshop riunirà specialisti del settore, tra cui politici, ingegneri, progettisti, funzionari del governo, legislatori e altri e si svolgerà nell'ambito dell'ottavo Simposio su ICT, ambiente e cambiamenti climatici che vedrà anche il primo meeting dell'ITU sulle città sostenibili. Ulteriori informazioni si trovano sul sito:

<http://www.itu.int/en/ITU-T/climatechange/Pages/events-201305.aspx>

La registrazione, gratuita, può essere fatta al seguente indirizzo:

[http://www.itu.int/online/regsys/ITU-T/misc/edrs.registration.form?\\_eventid=3000513](http://www.itu.int/online/regsys/ITU-T/misc/edrs.registration.form?_eventid=3000513).

---

## Campi magnetici ELF in veicoli elettrici e alimentati a benzina

Il presente studio, condotto nel 2013 da Tell e collaboratori e pubblicato sulla rivista internazionale "Bioelectromagnetics" in un articolo intitolato "ELF Magnetic Fields in Electric and Gasoline-Powered Vehicles", costituisce una ricerca pilota condotta allo scopo di verificare i livelli di campo magnetico a bassa frequenza emessi dai motori dei veicoli elettrici confrontati con quelli dei veicoli alimentati a benzina.

In questi ultimi anni, infatti, in alcuni Paesi del mondo la diffusione delle auto elettriche sta raggiungendo livelli molto elevati e si presume che nel prossimo decennio l'utilizzo da parte della popolazione di questa tipologia di mezzo di trasporto aumenti in maniera esponenziale; negli Stati Uniti, ad esempio, è stato ipotizzato che la percentuale di diffusione dei veicoli elettrici ed ibridi aumenterà considerevolmente nel prossimo decennio passando dallo 0,6% rilevato nel 2010, al 3,6% previsto nel 2015, fino ad arrivare all'11,5% nel 2020.

Se nel 2010 il numero di veicoli con alimentazione elettrica circolanti sulle strade americane era stimato intorno a 1.6 milioni di unità, per il 2015/2020 ci si aspetta un sostanziale aumento, fino a raggiungere la cifra di 34 milioni di veicoli. Risultati simili sono attesi anche per altri Paesi del mondo.

Lo studio proposto ha quindi come scopo quello di valutare e comparare i livelli di campo magnetico a bassa frequenza (range 40 Hz – 1 kHz) emessi nei veicoli elettrici e in quelli alimentati a benzina, e di verificare se i parametri rilevati rimangono al di sotto dei limiti di legge, nel caso specifico si parla dei livelli di riferimento e delle restrizioni di base riportati nelle Linee Guida dell'ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection).

L'indagine è stata condotta su 14 veicoli di cui 6 a benzina e 8 elettrici, tutti costruiti tra il 2000 e il 2009; tra gli 8 mezzi di trasporto elettrici erano presenti anche tre veicoli ibridi.

I livelli di campo magnetico presenti nell'abitacolo della automobili sono stati determinati tramite sei misuratori a larga banda in grado di effettuare un campionamento ogni 4 secondi ed i risultati sono stati trattati tramite tests statistici di correlazione.

Il campo magnetico medio misurato sulle vetture elettriche è risultato dell'ordine di 0.095 mT contro un livello medio di 0.051 mT rilevato sulle macchine a benzina, valori molto più alti

sono stati misurati sui camion (0.146 mT per quelli alimentati elettricamente 0.081 mT per quelli a benzina). Si tratta in ogni caso di valori che rimangono ampiamente al di sotto dei livelli di riferimento per l'esposizione del pubblico indicati dall'ICNIRP per il range di frequenze specifico.

Per quanto riguarda il confronto diretto tra le emissioni ELF delle due tipologie di vetture è emerso che i livelli di campo magnetico sono nettamente superiori, quasi il doppio, nelle auto elettriche rispetto a quelle a benzina.

A corollario di tutto va aggiunto che i livelli di campo magnetico misurati all'interno degli abitacoli delle auto elettriche sono risultati molti vicini a quelli riscontrati nelle aree residenziali e nella stragrande maggioranza dei posti di lavoro.

L'approccio alla valutazione della esposizione ai campi ELF prodotti dalle vetture elettriche rimane comunque una sfida da portare avanti in quanto questa tipologia di auto sta diffondendosi rapidamente.

Si tratta di un compito non semplice in quanto i campi magnetici prodotti da questa tipologia di vettura sono estremamente variabili nel tempo e presentano disposizioni spaziali non simmetriche. In virtù di questo occorre sicuramente perfezionare la strumentazione di misura e svolgere ulteriori studi per aumentare la potenza statistica.

---

## Effetti della esposizione a campi ELF su gravidanza, crescita fetale e sviluppo

Nel corso degli ultimi decenni, gli effetti della esposizione ai campi elettromagnetici, sia ad alta che a bassa frequenza, sugli organismi viventi sono stati ampiamente studiati, sia attraverso attività di ricerca in vivo, sia tramite indagini in vitro, portate avanti con lo scopo di fornire risposte maggiormente conclusive e definitive sull'argomento.

Soltanto pochi studi epidemiologici sono stati condotti in quest'ambito e hanno comunque portato a risultati non conclusivi e poco chiari.

Preoccupazione è sorta anche per quanto riguarda gli effetti dei campi elettromagnetici sugli organismi in via di sviluppo, con particolare riferimento al periodo gestazionale.

Le considerazioni qui riportate partono da un articolo pubblicato da Mahram e Ghazavi su Archives of Iranian Medicine ed intitolato "The Effect of Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields on Pregnancy and Fetal Growth, and Development" che presenta uno studio di coorte portato avanti allo scopo di determinare gli effetti della esposizione ai campi bassa frequenza su donne in stato di gravidanza residenti nelle vicinanze di cavi ed elettrodotti, con particolare riferimento alla valutazione di eventuali effetti sulla durata della gestazione e sulla crescita e sviluppo fetale.

Gli studi fin ora effettuati su animali (ratti, conigli, maiali) non hanno messo in evidenza un una relazione di causalità tra esposizioni ai campi a 50-60 Hz ed effetti significativi sulla crescita e sullo sviluppo fetale. Un unico studio ha rilevato un consistente aumento di malformazioni scheletriche secondarie sui ratti imputabile, sulla base di quanto indicato dai ricercatori, all'effetto della componente magnetica del campo. Il mondo scientifico non si è trovato completamente d'accordo con queste affermazioni: alcuni gruppi di lavoro ritengono infatti che le alterazioni osservate siano effetti di fluttuazioni statistiche indipendenti dalla esposizione al campo magnetico, altri ritengono che il campo magnetico, così come risulta in grado di influenzare la velocità di crescita e sviluppo del tessuto osseo, possa essere anche alla base delle malformazioni evidenziate.

Per quanto riguarda l'uomo gli studi fin qui effettuati sulle esposizioni residenziali hanno mostrato una evidenza limitata di aumento del rischio di aborti spontanei per esposizione della madre al campo magnetico a bassa frequenza durante la gravidanza, il rischio aumenta con l'aumentare del valore massimo di picco dell'induzione magnetica e non in funzione del valore medio pesato sul tempo di esposizione. Non risultano invece aumenti del rischio per eventi diversi dall'aborto spontaneo (malformazioni, parto pretermine, ecc.).

L'indagine presentata, svoltasi in Iran, ha proprio come scopo il verificare questi ipotetici effetti della componente magnetica del campo a bassa frequenza sulle prime fasi della gestazione e sull'esito della stessa.

Il gruppo degli esposti comprendeva 222 donne in stato di gravidanza che avevano vissuto per un periodo di tempo definito in zone caratterizzate da elevati livelli di campo ELF (in genere prodotti da elettrodotti o cabine di trasformazione), mentre il gruppo dei controlli era

composto da 158 donne in stato di gravidanza che avevano vissuto in una zona caratterizzata da bassi livelli di campo ELF.

Sono state escluse dallo studio le donne che avevano fatto uso prolungato di forno a microonde, quelle portatrici di patologie che potevano interferire con l'esito della gravidanza, con la crescita e lo sviluppo fetale e quelle colpite da patologie quali pre-eclampsia o eclampsia.

Nelle zone di residenza sia delle gestanti esposte che di quelle non esposte, sono state fatte misure separate della componente elettrica e magnetica del campo nel corso delle 24 ore di una giornata tipo.

Le donne appartenenti al gruppo degli esposti risiedevano in case ubicate ad una distanza da elettrodotti compresa tra pochi metri e 25 metri; i valori medi dell'induzione magnetica e del campo elettrico misurati per questo gruppo sono risultati rispettivamente pari a 0.31 mT e 6.6 kV/m, mentre per il gruppo dei non esposti il valore dell'induzione magnetica media era di 0.041 mT e quello del campo elettrico medio era pari a 0.0235 kV/m.

In alcune abitazioni localizzate in stretta vicinanza con i cavi e gli elettrodotti il valore del campo elettrico è arrivato anche a 12 kV/m

Lo studio si è svolto su base questionario, per ciascuna gravidanza sono state registrate le seguenti informazioni: durata della gestazione (a termine o pretermine), tipologia del parto (vaginale o cesareo), eventuale motivazione della decisione di ricorrere a parto cesareo, peso, lunghezza, circonferenza cranica del neonato alla nascita, presenza o assenza di anomalie congenite.

Dall'analisi dei risultati, non è stata evidenziata alcuna significativa differenza tra il numero di parti vaginali e cesarei tra le donne dei due gruppi. Non è stata inoltre evidenziata alcuna differenza tra i due gruppi per quanto riguarda il peso, la lunghezza e la circonferenza cranica dei neonati alla nascita.

Per quanto riguarda le anomalie congenite, sono stati riscontrati sei casi di anomalie varie nei neonati appartenenti al gruppo esposto (2 anomalie cardiache, 1 palatoschisi, 1 piede equino, 1 ipotiroidismo congenito, 1 anomalia a carico della massa cerebrale) e tre casi di anomalie in quelli del gruppo di controllo (1 anomalia cardiaca, 1 palatoschisi, 1 malformazione genito-urinaria).

Un paragone significativo tra le anomalie rilevate non è stato possibile a causa della ridotta potenza statistica.

Lo studio analizzato ha dimostrato che l'esposizione residenziale ai campi ELF di donne in stato di gravidanza non ha effetto sulla durata della gestazione, su parametri neonatali quali peso, lunghezza e circonferenza cranica e non porta a parti pretermine né allo sviluppo di anomalie congenite.

I risultati sono pienamente in linea con la tendenza indicata dalla letteratura scientifica degli ultimi dieci anni, di assenza di associazione tra effetti nocivi al feto e al neonato ed esposizione della madre ai campi elettrici e magnetici a bassa frequenza.

A conferma ulteriore ci sono gli studi effettuati su grossi mammiferi con esposizioni a campi elettrici a bassa frequenza di intensità fino a 150 kV/m e a campi magnetici con induzione fino a 20 mT che non hanno messo in evidenza nessun nesso di causalità tra esposizione ed effetti su feti e neonati, così come non sono emerse tendenze alla comparsa di malformazioni esterne, viscerali o scheletriche.

Gli unici studi positivi su animali hanno riguardato anomalie dello sviluppo fetale in embrioni di volatili esposti a campi magnetici ELF durante le prime fasi dello sviluppo, va però sottolineato che gli studi effettuati su volatili, se estrapolati all'uomo non hanno lo stesso peso e lo stesso significato degli studi svolti su mammiferi.

L'indagine iraniana oggetto di analisi nel presente articolo non si è focalizzata sugli aborti spontanei, per i quali alcuni studi, non replicati, hanno mostrato limitate evidenze di aumento del rischio in funzione della esposizione della madre alla componente magnetica dei campi ELF; questo specifico tema adrebbe indagato con maggior attenzione.

In ogni caso, lo studio presentato, pur essendo affetto da lacune, quali ad esempio proprio la mancanza di dati sugli aborti spontanei, conferma quanto già indicato dalla letteratura scientifica; pertanto, valutando tutte le componenti esaminate sia in vivo su animali, sia in vitro, sia a livello epidemiologico sull'uomo è possibile affermare che l'evidenza di una associazione tra esposizione della madre a campi a bassa frequenza (sia elettrici che magnetici) ed effetti sullo sviluppo del feto, del neonato, sulla durata della gestazione e sulla presenza di anomalie è molto debole.

## **Glossario**

***pre-eclampsia***: o gestosi, è una sindrome che si può verificare a partire dalla ventesima settimana di gestazione ed è caratterizzata dalla presenza, singola o in associazione, di sintomi quali edema, proteinuria o ipertensione . È una patologia che deve essere tenuta sotto controllo perché può portare gravi danni sia alla madre che al feto

***eclampsia***: è una grave patologia della gravidanza, potenzialmente letale, caratterizzata dalla presenza di convulsioni. Essa rappresenta la complicanza più temibile della pre-eclampsia.