

## CAMPI ELETTROMAGNETICI: MISURE ED ESPERIMENTI

F. Bersani, P. Mesirca, D. Platano (mesirca@df.unibo.it; 051 2095304)

### COSA SONO I CAMPI ELETTROMAGNETICI (CEM): UNA BREVISSIMA INTRODUZIONE.

Da sempre esistono fonti naturali di radiazioni elettromagnetiche: il Sole, le stelle e la stessa Terra sono quelle principali. La luce, per esempio, è un'emissione di radiazioni ad altissima frequenza. I nostri stessi corpi, emettiamo radiazioni elettromagnetiche con una frequenza di poco inferiore a quella della luce visibile (raggi infrarossi). Inoltre, la vita sulla Terra si è sviluppata in presenza di un campo magnetico terrestre di entità non trascurabile (circa 50 microtesla).

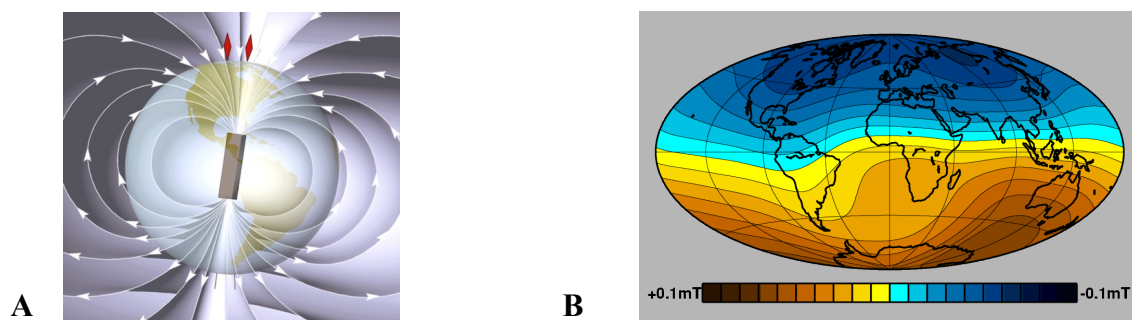


Fig 1. A. Andamento del Campo Magnetico Terrestre; B Intensità del Campo Magnetico Terrestre

Fisicamente i campi elettrici e magnetici hanno origine dalla presenza di cariche elettriche e, rispettivamente, dal movimento delle cariche stesse (corrente elettrica). La variazione nel tempo delle correnti elettriche lungo un filo di materiale conduttore (come per esempio lo è un'antenna), produce campi elettrici e magnetici che si diffondono nello spazio, alla velocità della luce (300.000 Km/s) sotto forma di onde, trasportando energia. Ogni radiazione elettromagnetica è definita dalla sua frequenza. Questa rappresenta il numero delle oscillazioni compiute in un secondo dall'onda e

si misura in cicli al secondo o Hertz (Hz).

L'insieme di tutte le possibili radiazioni elettromagnetiche, al variare della frequenza, viene chiamato spettro elettromagnetico.

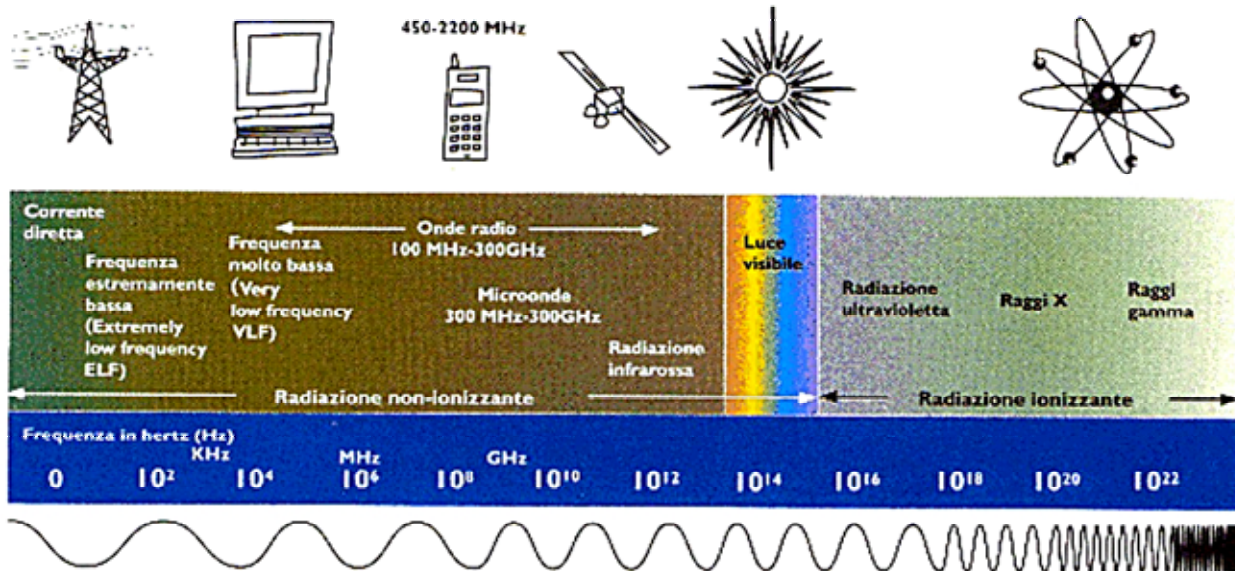


Fig 2. Spettro Elettromagnetico

La prima distinzione che bisogna fare parlando di radiazioni elettromagnetiche è quella tra radiazioni ionizzanti e radiazioni non ionizzanti. A questo scopo è utile ricordare che le radiazioni elettromagnetiche hanno una doppia natura secondo la fisica quantistica: ondulatoria e particellare (“quanti” o “fotoni”)

### **Radiazioni ionizzanti (IR):**

Sono quelle in grado di rompere un legame chimico. Possono pensarsi costituite da quanti di energia ("fotoni") che hanno ciascuno un'energia sufficiente per rompere un legame chimico. Se un fotone è assorbito da una molecola la spezza o la ionizza. Se molti fotoni sono assorbiti molte molecole vengono spezzate. Se, ad esempio, la molecola è il DNA di una cellula, esso può danneggiarsi irreparabilmente, e l'accumulo di mutazioni può provocare un tumore. Dato che l'energia di un fotone è direttamente proporzionale alla frequenza dell'onda, le IR hanno frequenza molto elevata, precisamente dalle frequenze degli ultravioletti in su (vedi Fig2).

### **Radiazioni non ionizzanti (NIR):**

Queste radiazioni non sono in grado di rompere direttamente i legami molecolari delle cellule perché i quanti che le costituiscono non possiedono energia sufficiente. Sono generate da un campo elettromagnetico con frequenza compresa tra 0 e circa  $10^{15}$  Hz e comprende anche la porzione di

spettro dove si trova la luce visibile ( $0,384 \cdot 10^{15}$  Hz per il rosso e  $0,769 \cdot 10^{15}$  Hz per il violetto) . E' alle radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti con frequenza inferiore a quella della radiazioni ultravioletta che ci si riferisce quando si parla di inquinamento elettromagnetico.

Un'ulteriore distinzione, sempre in frequenza, che potrà essere utile è quella che solitamente si fa all'interno delle radiazioni non ionizzanti: A: **Frequenze estremamente basse (ELF - Extremely Low Frequency)** con frequenza minore di 300 Hz. Gli elettrodomestici, gli elettrodotti, gli impianti elettrici, ecc. sono delle sorgenti di campi elettromagnetici ELF. Per tali fonti viene di solito misurato il campo magnetico (unità di misura il Tesla, ma solitamente i valori sono espressi in sottomultipli, per es. millitesla e microtesla. Si usa anche il gauss) in quanto, alle basse frequenze, la componente magnetica si propaga praticamente inalterata attraverso i muri e gli ostacoli di varia natura, mentre il campo elettrico (misurato in V/m) è facilmente schermato dalle pareti e dal terreno. B. **Radiofrequenze (RF - Radio Frequency)**, comprese tra 300 KHz e 300 GHz, che includono anche le cosiddette "microonde" (frequenza > 300 MHz). I cellulari, le stazioni radio base, i radar, i ripetitori radio-televisivi, ecc sono delle sorgenti di campi elettromagnetici ad **alta frequenza** e la componente dell'onda elettromagnetica che più frequentemente viene rilevata è quella del campo elettrico; il campo magnetico è strettamente legato al campo elettrico (Fig.3)

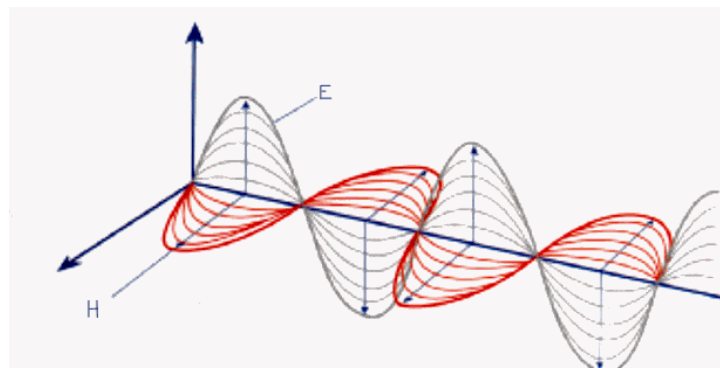


Fig 3. Onda elettromagnetica

La distinzione fra emissioni a bassa ed alta frequenza è essenziale perché diversi sono i meccanismi di interazione con la materia vivente (per esempio, il corpo umano). Infatti, i campi **a bassa frequenza** inducono delle correnti elettriche all'interno del campione esposto, che possono alterare l'equilibrio elettrico naturale. Alle basse frequenze il campo elettrico ed il campo magnetico sono di solito circoscritti in prossimità della sorgente che li genera. Inoltre, il campo elettrico è presente se l'elettrodomestico è collegato alla rete elettrica, indipendentemente dal fatto di essere acceso o spento. L'intensità del campo magnetico invece è proporzionale alla corrente: se la corrente è nulla

(per esempio, quando la radio è spenta, anche se collegata alla rete elettrica) il campo magnetico è nullo. B. i campi elettromagnetici ad **alta frequenza** cedono energia ai tessuti sotto forma di calore e possono provocarne il riscaldamento. Alle alte frequenze i campi elettrici e magnetici sono intimamente legati. La caratteristica del campo elettromagnetico prodotto da queste sorgenti è la capacità di diffondersi per lunghe distanze ed è su questa capacità che si basa il principio di funzionamento dei sistemi di telecomunicazione.

**IL PROBLEMA:** Lo sviluppo delle moderne tecnologie e delle telecomunicazioni ha determinato un aumento senza precedenti delle sorgenti di campi elettrici e magnetici utilizzate per i diversi impieghi.

Le nuove tecnologie hanno agevolato la vita quotidiana di milioni di persone ma negli ultimi tempi hanno generato anche notevoli preoccupazioni per i **possibili effetti sulla salute**, connessi all'esposizione per lunghi periodi a campi elettromagnetici.

**UN ALTRO PUNTO DI VISTA:** Dall'altra parte della medaglia va però sottolineata un'importante applicazione dei CEM, della quale forse pochi sono a conoscenza, che è quella nell'ambito della medicina, che, da un punto di vista scientifico, è forse ancor più stimolante. La marconi-terapia, la risonanza magnetica nucleare, le terapie post-traumatologiche per la riparazione delle ossa, l'ipertermia per la cura dei tumori, ecc. ne sono esempi concreti. Addirittura, proprio ultimamente è stato dimostrato (dal gruppo di Bologna) che con i CEM a 50 Hz, si può indirizzare il differenziamento delle "famose" cellule staminali (quelle che possono diventare cellule nervose o cellule del tessuto osseo o cellule cardiache o ecc, a seconda dei casi) in cellule simile a quelle del cuore (cardiomiociti). Potrebbe essere questa una nuova via biotecnologica per "dirigere" le cellule staminali.

## **UN APPROFONDIMENTO**

Due concetti sono ancora essenziali per potere capire meglio la problematica che sta alla base dello studio dei campi elettromagnetici e la loro interazione con i sistemi biologici. Questi sono i concetti di effetto termico e di effetto non termico: **gli effetti termici** sono dovuti alla dissipazione di energia elettromagnetica all'interno dei tessuti con conseguente aumento della temperatura (nel caso limite "cottura"). Questi effetti sono ben noti da decenni, hanno una semplice spiegazione fisica e fisiologica e sono molto ben capiti; sono presenti per intensità di campo piuttosto elevate.

Abbassando l'intensità l'effetto termico scompare, o meglio, diventa trascurabile. E' in queste condizioni che si parla di **possibili effetti non termici**. Il problema qui è molto complesso dato che

non esiste un meccanismo semplice e convincente che spieghi l'interazione fra campo e cellule a livello non termico. Addirittura un certo numero di studiosi non riconosce neppure l'esistenza di questo tipo di effetti.

Effetto Termico



Effetto Non termico



## DI COSA CI OCCUPIAMO

Cerchiamo di valutare gli effetti biologici, soprattutto gli eventuali effetti non termici, dei campi elettromagnetici sia a bassa che ad alta frequenza. Questa attività costituisce ormai una disciplina a se stante e viene indicata col nome di **Bioelettromagnetismo**. In particolare, all'interno di questa nuova disciplina il nostro laboratorio, tra l'altro, si è specializzato nella realizzazione di sistemi espositivi per gli esperimenti biologici e nella misura dei campi, oltre che nella pianificazione e nell'analisi degli esperimenti in collaborazione con i partners biologici. I sistemi espositivi non sono altro che delle attrezzature in grado di produrre campi elettromagnetici con caratteristiche adatte per esporre cellule, animali, e, a volte, uomini. Sono strutture estremamente controllate in tutti i parametri fisici in gioco (l'intensità del campo, la frequenza, la forma d'onda, la temperatura, ecc) e quindi permettono di esporre il campione biologico in condizioni ben determinate che possono essere riprodotte in qualsiasi altro laboratorio.

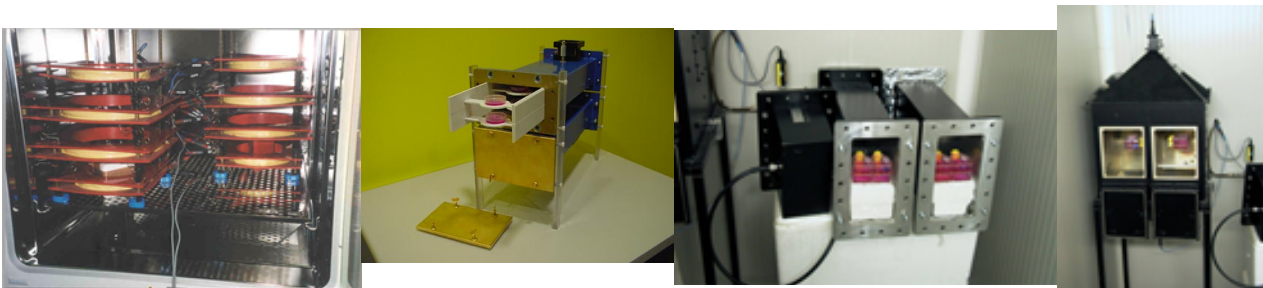


Fig 4. Esempi di espositori. Da sinistra: 1. sistema a bassa frequenza composto da bobine; 2. guide d'onda risonanti; 3. guide d'onda trasmissive; 4. cella TEM.

L'altra occupazione, cioè l'analisi dati, è quasi più importante della costruzione dei sistemi di esposizione. Infatti i risultati che scaturiscono dagli esperimenti con i CEM sono sempre molto difficili da interpretare da un punto di vista statistico perché la dimensione degli effetti, quando ci sono, è spesso piccola e deve essere evidenziata con adeguati metodi statistici. Una ulteriore linea di ricerca è lo studio dei meccanismi di interazione, soprattutto a livello "non termico".

### **COLLABORAZIONE CON IL LAB DI FISIOLOGIA UMANA GENERALE (D. Platano)**

In questo laboratorio si studiano gli effetti dei campi elettromagnetici ad alta frequenza sui canali del calcio di neuroni di corteccia cerebrale cresciuti in vitro.

Che cosa sono i canali del calcio?

I canali del calcio sono delle proteine presenti nelle membrane delle cellule, che permettono alle cellule di comunicare tra loro attraverso segnali di tipo elettrico. Infatti essi si comportano come minuscoli resistori, perché permettono il passaggio di piccolissime correnti elettriche (dell'ordine di  $5 \times 10^{-12}$  Ampere (!!)). Per intenderci, mille miliardi di questi canali possono far passare la corrente in grado di accendere una lampadina!

Troppo poco? Eppure è possibile misurare e "vedere" queste correnti attraverso una tecnica molto sofisticata (che ha fruttato il premio Nobel ai suoi due inventori, il Dott. Neher, fisico e il Dott. Sakmann, medico) che si chiama patch-clamp (vedi postazione di lavoro in figura 5)

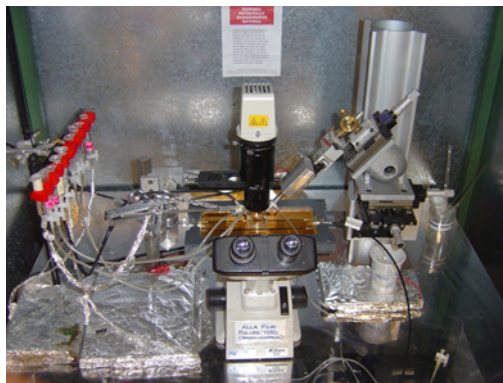


Fig 5. Postazione per patch clamp

e che noi utilizziamo in laboratorio. Facendo aderire un finissimo elettrodo di vetro alla superficie della cellula (come mostrato in figura 6) è possibile misurare la corrente che attraversa i canali modificando la differenza di potenziale presente tra i due lati della membrana cellulare.

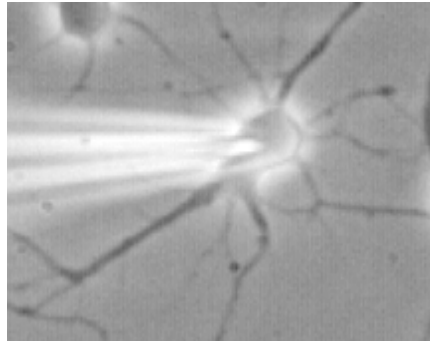


Fig 6. Neurone con elettrodo di vetro sulla superficie

Questo tipo di studio è molto importante perchè permette di approfondire conoscenze sul ruolo dei canali in molti processi biologici (come ad esempio la secrezione di neurotrasmettitori) o patologici (ed esempio in alcune malattie neurodegenerative)

## **Attività per i partecipanti:**

l'attività da svolgersi all'interno della giornata in questo laboratorio sarà divisa in due parti:

1. misure di CEM ambientali e generati da sistemi espositivi
2. applicazioni dei sistemi espositivi in esperimenti biologici che utilizzano tecniche avanzate di elettrofisiologia

### **Prima parte (c/o Dip di Fisica)**

misura di campo magnetico di fondo all'interno del laboratorio con sonda EMDEX II e relativa interpretazione dei dati:

misura dei campi emessi da telefonini con sonda PMM8053 e relativa interpretazione dei dati

mappatura di campo magnetico generato in laboratorio all'interno di un sistema espositivo con gaussmetro di precisione LW BELL7010

### **Seconda parte (c/o Dip di Fisiologia Umana e Generale)**

misura di correnti cellulari tramite la tecnica elettrofisiologia del patch clamp in cellule esposte a campi a radiofrequenza.