

CAMPI
ELETTROMAGNETICI IN
DIAGNOSI E TERAPIA

2010-2011

Prof.ssa Rita Massa.

Sommario

Lezione I 21/03/2011.....	1
Lezione II del 22/03/2011.....	7
Lezione III del 24/03/2011.....	18
Lezione IV del 31/03/2011	30
Lezione V del 4/04/2011	39
Lezione VI del 5/4/2011	50
Lezione VII del 07/04/2001	65
Lezione VIII del 11/04/2011	72
Lezione IX del 12/04/11.....	90
Lezione X del 14/04/11.....	102
Lezione XI del 18/04/11.....	112
Lezione XII del 19/04/2011	129
Lezione XIII del 28/04/2011.....	141
LEZIONE XIV DEL 03/05/2011	152
Lezione XV del 05/05/2011	163
Lezione XVI del 10/05/2011.....	172
Lezione XVII del 12-05-2011	185
Lezione XVIII SEMINARIO 17/05/2011	196
Lezione XIX 19/05/11	208
Lezione XX 24/05/11	221
Lezione XXI del 30-05-2011	230

Lezione I 21/03/2011

Organizzazione

Argomenti di laboratorio:

- Misure di campo e protezionistica per la sicurezza elettromagnetica
- Adattamento in diagnosi e radioterapia
- Software per la dosimetria elettromagnetica

Contenuti del corso:

- Impiego di campi elettromagnetici in ambito biomedicale per applicazione in diagnosi e terapia.
- RM: Campo statico e campi a radiofrequenza; utilizzo di particolari strumentazioni; camera opportunamente schermata e verifica nel tempo dei parametri che vengono mantenuti.
- Tipologie di antenne
- Applicazione di Laser in medicina (ottica): sia la sorgente (il laser) sia come si veicola il campo (le fibre ottiche), vantaggi, svantaggi e peculiarità.
- Applicazioni nell'ipertermia
- Dosimetria numerica (CAD: aiutano nella progettazione e successivamente nell'applicazione del sistema)
- Tomografia a microonde (in diagnosi del tumore al seno mediante campi elettromagnetici e radiazioni non ionizzanti)
- Impulsi ultracorti: creare degli impulsi la cui durata è talmente piccola (dell'ordine dei nanosecondi) che sono in grado di penetrare all'interno della cellula senza rompere la membrana plasmatica ed interagire direttamente con il nucleo, mitocondri, etc. all'interno della cellula stessa.
- Protonoterapia: si basa sull'utilizzo di protoni per la cura del tumore; il vantaggio è che queste particelle penetrano nel tessuto e rilasciano energia ad una certa distanza, in altre parole attraversano i tessuti senza ionizzare e possono rilasciare energia solo ad una certa distanza riducendo fortemente i danni collaterali dovuti alla radioterapia.
- - Campi elettromagnetici a scopo biologico per la cura delle piante (cura, disinfestazione senza alterare le caratteristiche organolettiche) - .

- Sicurezza elettromagnetica -

Per quanto riguarda le normative qualcosa è cambiato per le basse frequenze mentre per le alte frequenze non ci sono grosse novità e ciò ci fa capire che erano delle buone normative (parliamo del 1998). Studi successivi non hanno cambiato di molto la convinzione che per certi valori di campo non ci sono effetti che non siano diversi da quelli termici.

Una genetista ha chiesto ad un gruppo di effettuare degli esperimenti per verificare se anche le microonde possono indurre risposta adattativa. Cos'è la risposta adattativa? Se con radiazioni

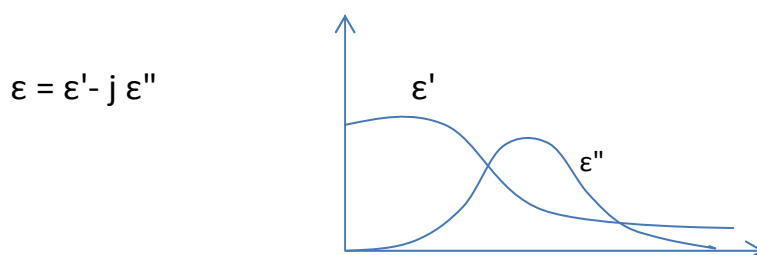
ionizzanti si espone un sistema cellulare (ciò è noto anche in vivo) o delle persone ad un mutaggio (la radiazione ionizzante è un mutaggio) e poi si espongono quelle stesse persone ad una dose alta, l'effetto della dose alta è inferiore rispetto a quello che si osserverebbe se quelle persone venissero esposte alla sola dose alta. Se abbiamo una cellula e la esponiamo ad una dose di raggi X elevata ad es. 1,5 Gray il danno al DNA è notevole e la percentuale di cellule che sopravvivono è bassa perché c'è stato un danno diretto al DNA. Se prima di esporre ad 1,5 Gy si espone ad un valore più basso es. 1 cGy (centiGray) il danno è decisamente inferiore (parliamo del 40-50 %).

Se anziché utilizzare 1cGy si utilizzano le **microonde** o la **radiofrequenza** con valori bassissimi (non si ha ora effetto genotossico perché si sa che inducono solo effetto termico!) e poi esporlo ad un mutaggio chimico-fisico e verificare se è in grado di indurre risposta adattativa. Se, in una particolare fase del ciclo cellulare, si applica il segnale anche per un particolare valore di potenza si riesce a far diminuire il danno che si ottiene con un mutageno chimico-fisico dei raggi X. Non c'è un effetto mutageno.

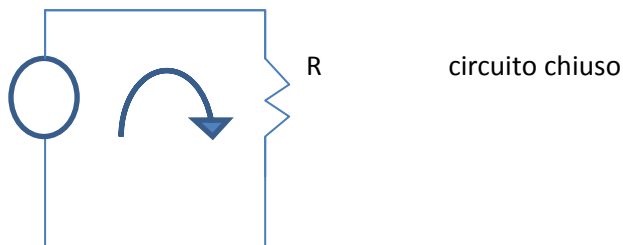
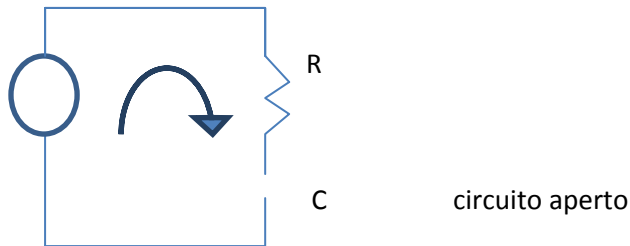
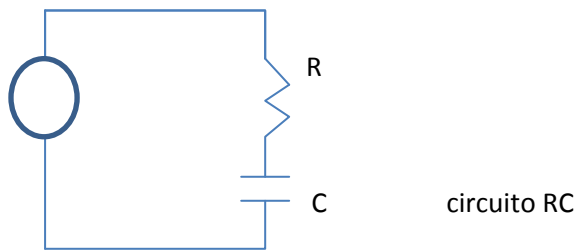
La metodologia per poter affrontare queste misure riguardano la possibilità di utilizzare una strumentazione o a banda larga o a banda stretta. Dal punto di vista della normativa italiana non è cambiato niente quindi resta la normativa DPCM del 2003 dove i 6 V/m restano molto discussi perché è il valore di attenzione che la normativa italiana ha indicato nel caso di esposizione prolungata. Come sono nate queste normative? Sulla base di studi, effetti e dei livelli che si sono riscontrati per cui esposizione in particolari condizioni inducono un effetto termico per quanto riguarda RF e microonde, induzione di correnti per le basse frequenze. Possiamo fare una distinzione tra:

- BF Basse frequenze: densità di correnti j [A/m²]
- HF Alte frequenze: SAR (potenza assorbita/unità di massa) [W/Kg]
- SHF Super-alte frequenze: la frequenza è talmente elevata che $\epsilon'' \rightarrow 0$ però comunque la conducibilità aumenta. Abbiamo una penetrazione di pochi mm ed è come se il corpo si comporta da conduttore ma non abbiamo più un volume è più una superficie quindi il SAR non ha più interesse perché il volumetto è piccolo perciò anziché parlare di SAR parliamo di densità di potenza [W/m²]

I tessuti tipicamente hanno perdite quindi la permittività dei tessuti è un parametro complesso. L'andamento della permittività in funzione della frequenza è del tipo:



dove ϵ' rimane per una certa banda costante e poi cambia, mentre ϵ'' a frequenze estremamente basse è nullo poi aumenta per poi diventare nuovamente zero. Questo andamento è rappresentato da un circuito RC dove R rappresenta la capacità di dissipare l'energia, C di conservare l'energia. Queste due grandezze sono entrambe contenute in ϵ' ed ϵ'' .



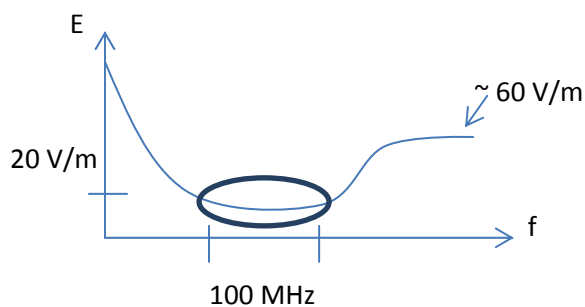
In bassa frequenza l'impedenza associata al condensatore è $1/j\omega C$ perciò per potenze estremamente basse tende $C \rightarrow \infty$ e quindi diventa un circuito aperto cioè non circola corrente. A potenze estremamente elevate $C \rightarrow 0$ e diventa un cortocircuito.

La ϵ' ed i fenomeni di ϵ'' sono legati ai fenomeni di polarizzazione di isteresi e dielettrica. Polarizzazione che sappiamo essere dovuta a polarizzazione elettronica, atomica o per orientamento e a seconda poi dell'oggetto che stiamo considerando, atomo, molecola, struttura, tessuto abbiamo diverso comportamento al variare della frequenza e della temperatura. In bassa frequenza il fenomeno che prevale è l'induzione di correnti quindi oltre alla ϵ dobbiamo tenere conto anche della conducibilità statica σ_s . In bassa frequenza non abbiamo effetti di tipo dissipativo dovuti all'isteresi dielettrica ma sicuramente abbiamo conducibilità elettrica dovuta al movimento di ioni. In bassa frequenza possiamo distinguere campo elettrico da campo magnetico. Man mano che aumenta la frequenza campo elettrico e

campo magnetico sono fortemente collegati (equazioni di Maxwell) e abbiamo la propagazione. Il campo elettrico fondamentale agisce sulla polarizzazione delle molecole ma in bassa frequenza questo fenomeno non c'è, l'unico fenomeno che osserviamo è l'induzione di movimento di cariche e quindi delle densità di correnti. Densità di correnti che possono essere innescate dal campo elettrico ma anche dal campo magnetico. In bassa frequenza (in genere fino ad 1 MHz) prevale la densità di corrente j perché c'è questa conducibilità. Parliamo di "densità di correnti" e non di "correnti" perché a parità di corrente possono nascere effetti diversi a secondo della sezione attraverso cui la corrente scorre: se parliamo di polsi, caviglie, la sezione è più stretta e lì, se la corrente è uguale per tutto il corpo, la densità di corrente è maggiore rispetto ad altri distretti.

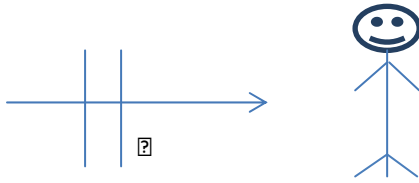
I body scanner utilizzano frequenze millimetriche per cui non penetrano molto all'interno del corpo umano e mediante algoritmi è possibile ricostruire il corpo umano e valutare così la presenza di oggetti non necessariamente metallici ma anche materiali plastici, ceramici o liquidi dove la permittività è diversa da quella del tessuto.

Valutiamo il campo elettrico in funzione della frequenza:



Osserviamo che per frequenze bassissime il campo elettrico può essere estremamente elevato è 5 KV/m il campo elettrico consentito perché non penetra corrente in quanto non c'è interazione del corpo umano con il campo elettrico e soprattutto con il campo magnetico. Poi incomincia a diminuire perché aumenta la frequenza il campo penetra maggiormente e può indurre effetti di tipo termico. Abbiamo un valore intorno ai 20 V/m in una banda intorno ai 100 MHz, poi risale nuovamente e rimane costante; per frequenze intorno ai 100 MHz il corpo umano si comporta come un'antenna ($\sim \lambda/2$); se si comporta come un'antenna allora c'è accoppiamento non solo tra campo elettrico e campo magnetico perché ci sono delle perdite e/o perché la permittività è elevata ma è proprio **effetto di risonanza**: a parità di campo elettrico e a quella frequenza il corpo umano assorbe di più rispetto ad una frequenza minore o maggiore (proprio perché le dimensioni del corpo umano sono $\lambda/2$ cioè parliamo di 1,50/1,70 m). Finita questa zona di emergenza perché appunto c'è la risonanza è consentito aumentare di nuovo il campo elettrico e poi si assesta ad un valore $\sim 60 \text{ V/m}$.

Quanto vale la densità di potenza per un campo elettrico di 20 V/m se l'esposizione è paragonabile a quella di un'onda piana o un'onda piana equivalente? Questi valori sono i valori efficaci del campo elettrico nell'ipotesi che l'esposizione del corpo umano sia paragonabile all'esposizione del corpo ad un'onda piana o localmente piana. Quindi stiamo pensando che sul corpo umano incide un'onda piana:



Con ξ direzione di propagazione

Quando si parla di ONDA PIANA, essa si può identificare con dei piani paralleli e perpendicolari alla direzione di propagazione in cui campo elettrico e campo magnetico giacciono e che sono a loro volta tra di loro perpendicolari; non solo, sono anche costanti quindi piani equi-fase ed equi-ampiezza. Siamo in uno spazio libero quindi un'onda piana omogenea che si sta propagando.

Quali sono le caratteristiche di un'onda piana?

Oltre al fatto che campo elettrico e campo magnetico sono perpendicolari tra di loro e perpendicolari alla direzione di propagazione, il rapporto tra le ampiezze del campo elettrico e del campo magnetico sono uguali all'impedenza caratteristica del vuoto in questo caso (o del mezzo se siamo in un mezzo).

$$|E|/|H| = \xi = 377\Omega \quad (\text{nello spazio libero})$$

A quanto è uguale la densità di potenza di questa onda piana che si propaga nel vuoto se il campo elettrico è di 20 V/m?

$$|S| = \frac{1}{2} \frac{|E|^2}{\xi} \quad \text{questi sono valori efficaci}$$

Se il segnale fosse sinusoidale il valore efficace rispetto al valore massimo è $1/\sqrt{2}$. Per le normative i valori che troviamo indicati che sono quelli misurati dal sensore sono i valori efficaci del campo elettrico non i valori istantanei, i valori massimi. Nel caso del segnale sinusoidale il valore efficace è $1/\sqrt{2}$ del valore massimo. Quando scriviamo:

$$S = \frac{1}{2} E \times H \quad (\text{E ed H perpendicolari tra di loro nel caso di onda piana quindi S è perpendicolare ad E ed H})$$

S è lungo la direzione del vettore di propagazione perché è perpendicolare ad E ed H ed ha come valore: $\frac{1}{2} \frac{|E|^2}{\xi}$; ma se anziché avere il campo elettrico abbiamo il valore efficace

del campo elettrico come misura allora: $\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2}$ (uno è associato al campo elettrico ed uno al campo magnetico)

Quindi se devo considerare i valori efficaci S sarà dato da E vettore H e non da $\frac{1}{2} E \times H$ se E e H rappresentano i **valori efficaci**.

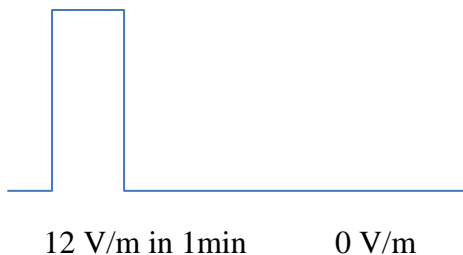
Se 20 V/m è il valore efficace misurato del campo elettrico misurato. Quanto vale la densità di potenza?

$$\frac{400}{377} \sim 1 \text{ W/m}^2$$

Nella radiazione ionizzante sono presenti gli effetti cumulativi, per quanto riguarda la radiazione non ionizzante l'atteggiamento è quello di precauzione che mira ad abbassare il livello da 1 W/m^2 a $0,1 \text{ W/m}^2$ quindi di un fattore 10. Se abbiamo $0,1 \text{ W/m}^2$, qual è il campo elettrico che è quello che poi vado a misurare che non deve essere superato? $\sim 6 \text{ V/m}$.

Quindi ipotesi di onda piana equivalente che incide sul corpo umano noi sappiamo che nella peggiore delle ipotesi cioè quando stiamo nella "zona di emergenza" il valore efficace è 20 V/m a cui corrisponde 1 W/m^2 , ci mettiamo in condizioni di precauzione (perché non sappiamo cosa succede per esposizioni prolungate) $0,1 \text{ W/m}^2$ a cui corrispondono 6 V/m che a questo punto sono su tutta la banda (alte frequenze). Qualunque sia la frequenza non deve superare i 6 V/m . Se si abbassa ulteriormente è tanto di guadagnato.

Questi valori sono indicati per un tempo mediato di 6 minuti: ciò significa che se ho un segnale abbastanza elevato per un certo tempo e poi nullo per il resto dei 6 minuti ho rispettato i 6 V/m nei 6 minuti!



Il grosso problema della RM è il gradiente di campo (il campo statico) che può provocare effetti di sbandamento. Per fare le misure bisogna indicare i limiti anche nel semplice movimento del collo che deve essere eseguito in maniera non brusca per evitare di subire questi fenomeni di sbandamento.

Lezione II del 22/03/2011

SPETTRO ELETTRICOMAGNETICO

