

Elettromagnetofisiologia contemporanea:

“Maxwell’s code and Benveniste’s rebus”



Andrea Martinelli

“Le pietre non piovono dal cielo,

perché in cielo non vi sono pietre”

Antoine Lavoisier

Info e contatti: andrea.martinelli.a@gmail.com

Indice

1. Maxwell's code and Benveniste's rebus	1
2. Il paradosso della modellizzazione della conduzione assonica.....	4
3. Induzione elettromagnetica nel biologico.....	18
4. Microtubuli: aspetti biofisici e network elettromagnetico paraneurale.....	21
5. Benveniste's rebus	33
6. Considerazioni finali.....	36
7. Riferimenti Bibliografici.....	40

Maxwell's code and Benveniste's rebus

Maxwell's code and Benveniste's rebus: un percorso dal pioniere dell'elettromagnetismo (James Clerck Maxwell), fino alla massima espressione della comunicazione fisiologica: le pathways di trasduzione elettromagnetofisiologiche , il tassello mancante nel percorso scientifico di Jacques Benveniste¹.

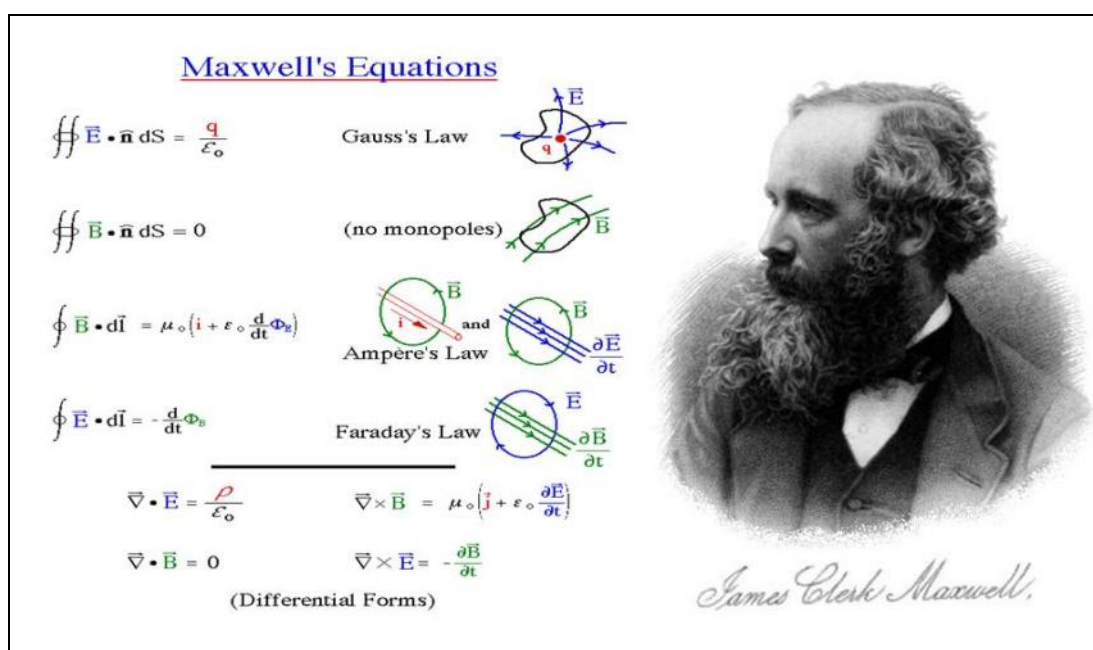


Figura 1- Equazioni di Maxwell

James Clerck Maxwell (fig.1) , fisico matematico inglese (Edimburgo, 1831 - Cambridge, 1879) , con la sua teoria elettromagnetica, nel 1846, fuse due fenomeni che fino ad allora erano sempre stati studiati singolarmente : *Elettricità* e *Magnetismo* dimostrando che sono lo Yin e lo Yang di un fenomeno chiamato *Elettromagnetismo* . Il messaggio di Maxwell non è rappresentato dalle sue famose formule ma dalla *chiave di lettura* di questi fenomeni: la *relazione di biunivocità*

¹ Jacques Benveniste (Parigi, 1935 - 2004) , medico ricercatore francese ,celebre per la scoperta del PAF ("Platelet-Activating-Factor") nel 1971, pioniere dell'omeopatia scientifica ha operato prevalentemente nel campo dell'immunologia e della Biologie Numérique

elettromagnetica, un potente mezzo per comporre o scomporre una modellizzazione bioelettromagnetica.

Componente Elettrica $\longleftrightarrow$ Componente Magnetica

Lo sviluppo di modelli per comprendere la dinamica degli stati polari nei processi di dinamica e comunicazione fisiologica è quasi totalmente di tipo *elettrico*, una trattazione decisamente incompleta.

La relazione biunivoca di Maxwell, per quanto possa apparire semplice e generalizzata è un potente mezzo d'investigazione in quanto, come vedremo in seguito, fa sorgere nella mente del ricercatore la necessità di dover implementare le attuali modellizzazioni elettriche con componenti fin'ora trascurate; la stessa necessità che spinse Jacques Benveniste² ad intuire una forma di comunicazione di tipo elettromagnetico nei processi fisiologici.

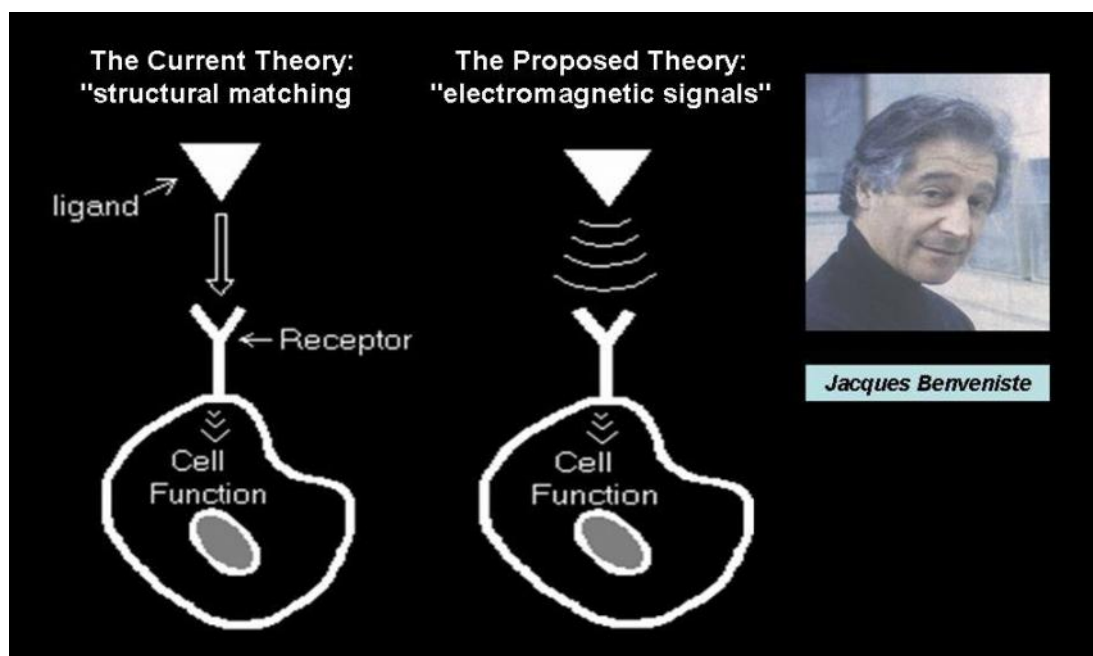


Figura 2- Il modello Benveniste

² Jacques Benveniste : “Io ho una guida assai esigente e ne sono rapito. Il mio intero essere è completamente appagato dalla sua immagine, dal profilo. Dal volto seducente e a volte evasivo, dal sorriso incostante di questa donna che si chiama Scienza. Non mi si può impedire di fare quello che faccio, di andare là dove sto andando”.

In quest'opera tratteremo esclusivamente pathways trasduzionali delle *radiazioni elettromagnetiche non-ionizzanti* (NIR) al limite di 1 GHz.

Con il termine radiazione elettromagnetica non-ionizzante si intendono tutte le Radiazioni aventi un'energia inferiore a 12 eV [elettronVolt], classificabili in tre famiglie :

- **campi a frequenza estremamente bassa** (ELF, extremely low frequency).

I campi ELF hanno generalmente frequenze fino a 300 Hz

- **campi a frequenza intermedia** (IF, intermediate frequency), con frequenze tra 300 Hz e 10 MHz

- **campi a radiofrequenza (RF)** con frequenze da 10 MHz a 300 GHz.

I sistemi che ci forniscono elettricità, e tutti gli apparecchi che la usano, costituiscono le principali sorgenti di campi ELF; gli schermi dei computer, i dispositivi anti-taccheggio e i sistemi di sicurezza sono le principali sorgenti di campi IF; radio, televisione, radar, antenne per la telefonia cellulare e forni a microonde sono le principali sorgenti di campi RF.

Il paradosso della modellizzazione della conduzione assonica

Osservando le attuali modellizzazioni biofisiche riguardanti genesi e cinetica dell'impulso nervoso, notiamo un approccio ed un'analisi del processo di conduzione puramente *elettrico*... (fig.3), coerentemente con ciò, la disciplina che studia questa parte della Fisiologia viene candidamente chiamata *Elettrofisiologia*!

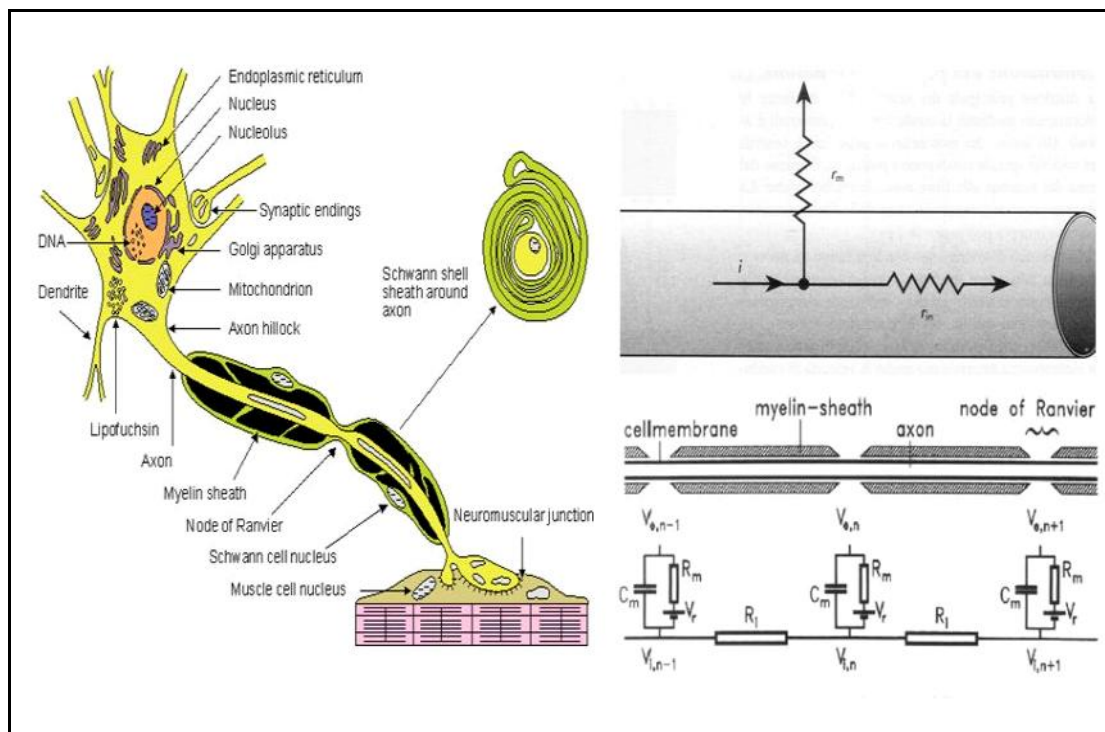


Figura 3 - Modello del *cavo elettrico* e sintesi RC

Avendo compreso la *chiave di lettura* di Maxwell, nasce quindi la necessità di caratterizzare l'impulso nervoso da un punto di vista *elettromagnetico*, una trattazione decisamente più completa!

Dando per assunte le caratterizzazioni elettriche di conduzione assonica, il nostro percorso comincerà nell'identificare la/le leggi fisiche che meglio si prestano, in questa fase teorica, ad extrapolare dai dati *elettrici* in nostro possesso il concetto di *impulso elettromagnetico nervoso*!

La legge che meglio si presta nel definire l'entità del campo magnetico della fibra assonica è una derivazione del principio di Ampère : la legge di Biot-Savart (fig. 4), che in via teorica ci permette di calcolare l'entità della nostra variabile magnetica.

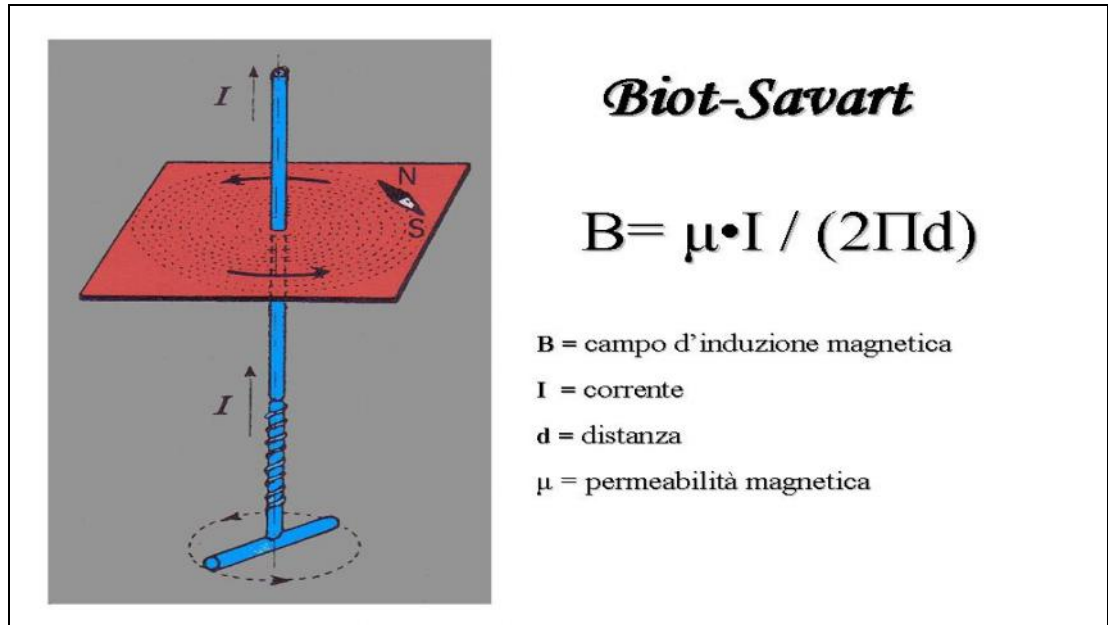


Figura 4 – Legge di Biot-Savart

Il passo successivo del nostro percorso è rappresentato dalla verifica sperimentale e capiremo il significato del termine “*paradosso*” presente nel titolo di questa sezione. La prima di una lunghissima serie di caratterizzazioni della componente magnetica di fibre nervose è rappresentata dall'esperienza di *John P. Wikswo, John P. Barach e John A. Freeman* con il loro pionieristico :

Magnetic Field of a Nerve Impulse: First Measurements³ (1980)

In questa esperienza è stato misurato il campo d'induzione magnetica B prodotto dal potenziale d'azione di un'assone di nervo sciatico di rana toro, utilizzando una sonda Magnetometro SQUID (fig. 5), il campo rilevato è di **120 pT⁴**.

³ Science, Vol 208 (4439), pp 53-55, 1980

⁴ pT = pico Tesla

Successivamente, si sono susseguiti numerosi esperimenti di caratterizzazione magnetica ma è raro trovare modelli elettromagnetofisiologici nei testi di fisiologia contemporanea e l'effetto di *Laboratory Electromagnetic Noise* è scarsamente ed erroneamente applicato, da tutto ciò deriva

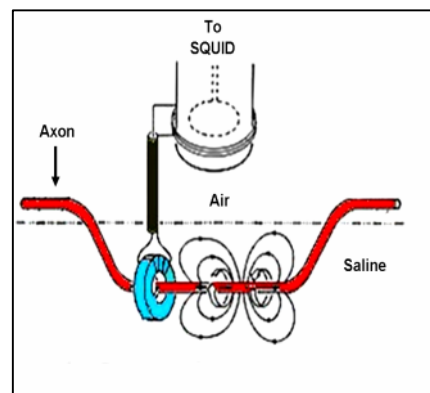


Figura 5 – Schema operativo

l'uso del termine “*paradosso*”; le tecniche di DNA Ricombinante hanno raggiunto livelli altissimi e paradossalmente sentiamo ancora parlare di modello elettrico RC nel calcolo delle costanti di spazio nella propagazione d'impulso assonica atavica ed imperfetta Elettrofisiologia.

Successivamente, c'è stato un notevole sviluppo di teorie ed apparati per *magnetodiagnostica* : magnetoencefalografi, magnetocardiografi ed altri , indispensabili per implementare i dati dell'*elettrodiagnostica* (fig.6), ma in data odierna sono rarissime le strutture in cui trovare simili apparati, ironicamente comprensibile..... non si può pretendere che un'operatore possa usare queste metodiche conoscendo soltanto le parametrizzazioni elettrofisiologiche.....

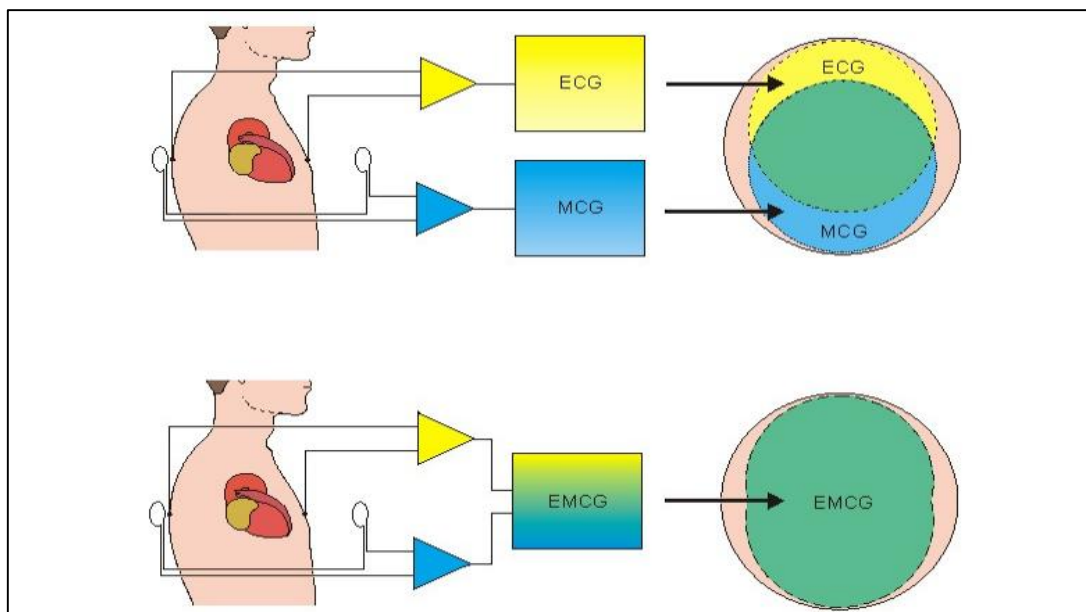


Figura 6 – Integrazione tecnica elettrocardiografica e conseguente aumento performance diagnostica (ECG= Elettrocardiogramma , MCG =Magnetocardiogramma, EMCG = Elettromagnetocardiogramma)

Osservando un tracciato *magnetocardiografico*⁵ (fig.7) , notiamo l'opportunità di poter extrapolare un numero maggiore di dati fisiologici in quanto è lampante che il tracciato in questione abbia un numero di *armoniche*⁶ maggiore, quindi un maggior numero di parametri cardiaci da analizzare.

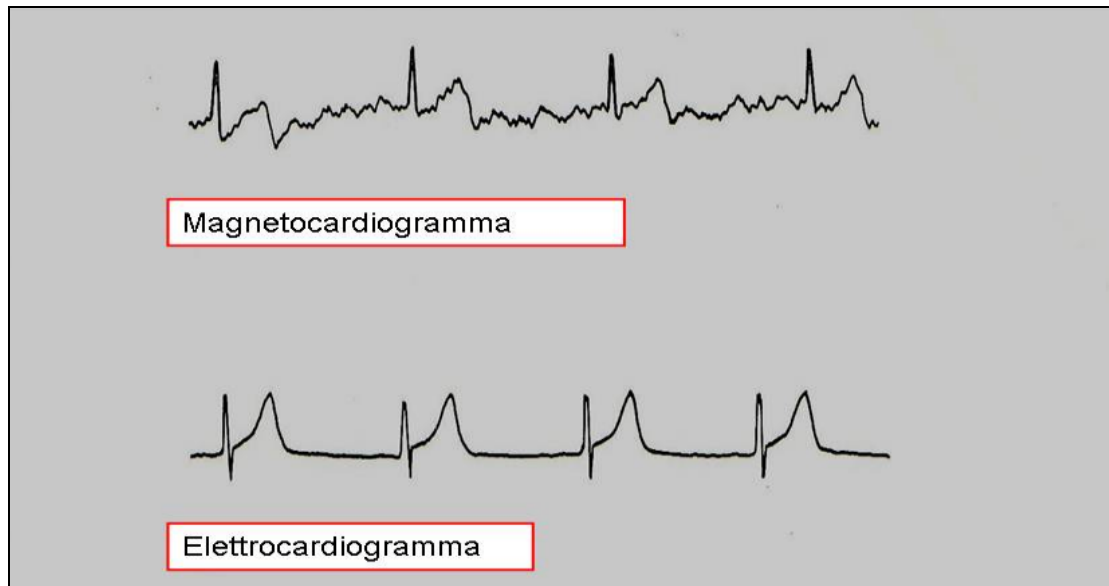


Figura 7 – Tracciato magnetocardiografico ed elettrocardiografico



Figura 8 – Paziente sottoposto a magnetocardiografia



Figura 9 – Paziente sottoposto magnetoencefalografia

⁵ Il primo studio di magnetocardiografia è stato realizzato da *Baule and McFee* nel 1963, il tracciato in figura 7 è stato realizzato da Barbanera S., Carelli P., Modena I. e Romani G. L. nel 1977; le metodiche sono state ampiamente sviluppate e questo tipo di esame è diventato di routine pochissimi in centri specializzati. La citazione dei primi pionieristici esperimenti è volutamente provocatoria al fine di far riflettere di dover implementare l'elettrofisiologia.

⁶ Riferito allo sviluppo in serie di Fourier

Analizzando le principali caratterizzazioni magnetofisiologiche (fig. 10), cominciamo ad avere coscienza del *range* dell'assetto magnetico endogeno.

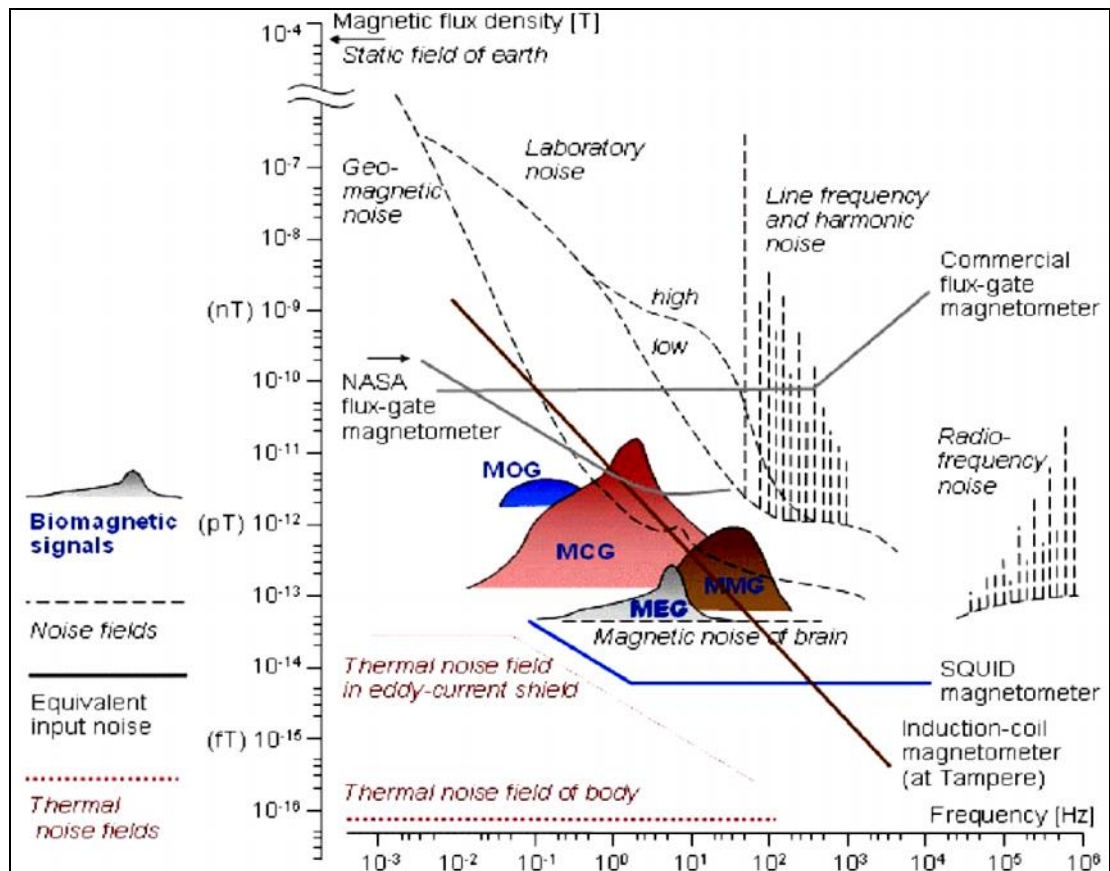


Figura 10 – Alcuni range magnetofisiologici (MOG= Magnetooculogramma , MCG =Magnetocardiogramma, MMG = Magnetomiogramma, MEG= Magnetoencefalogramma)

Considerando semplicemente gli ordini di grandezza, osserviamo che il nostro assetto è dell'ordine dei *picoTesla* ; la focalizzazione di ciò ci aiuta ad analizzare il rapporto tra assetto magnetico endogeno ed assetto esogeni, con articolare attenzione allo sviluppo di capacità critiche nel dimensionamento dei parametri (magnetici o elettromagnetici) nella sperimentazione di laboratorio. Un'esempio interessante è il rapporto tra *assetto geomagnetico* ed *assetto endogeno* risolvendo il rebus del dr.Hartmann⁷.

⁷ Ernst Hartmann (1915-1992), pioniere della *geobiologia*

Il dott. Hartmann, negli anni '50 con la stesura nel libro *Krankheit als Standortproblem* (malattia come problema dovuto al luogo), ebbe la superba intuizione delle modulazioni e delle perturbazioni fisiologiche indotte dal locale assetto geomagnetico.



Figura 11 – Ernst Hartmann

I tempi erano prematuri per supportare teoricamente le sue osservazioni, ma con la sua “GRIGLIA H” diede una prima correlazione tra alterazione di campo geomagnetico ed evento patologico; la spiegazione di tutto ciò inizia dalla valutazione delle grandezze in gioco (può apparire ripetitivo, ma come si potrebbe effettuare una comparazione del genere se ad oggi la più alta forma di biofisica umana, è rappresentata dai soli modelli elettrofisiologici, naturalmente con tutto il rispetto per la fluidodinamica di Starling, e con un assoluto ribrezzo per le modaiole disquisizioni di *fisiologia quantistica*).

L'assetto geomagnetico varia in intensità, dall'equatore ai poli, da circa 0.2 a 0.7 Gauss,

$$1\text{T} = 1 \text{ Weber/m}^2 = 10^4 \text{ G}$$

quindi:

$$20 \div 70 \mu\text{T}$$

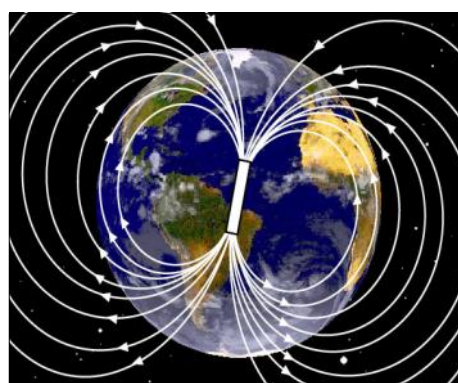


Figura 12 – La terra di W.Gilbert

Considerando che l'assetto elettromagnetico endogeno ha un range di $0.5 \div 200 \mu\text{T}$, dovremmo renderci conto dell'enorme divario quantitativo tra assetto endogeno ed esogeno, dal punto di vista magnetico la fisiologia umana è modulata (o perturbata con effetto magnetogeopatogeno) da un campo magnetico esogeno di un fattore 10^6 superiore!

L'effetto di magnetogeopatia in questo caso deriva dalla presenza di *isoforme ed alterazioni geomagnetiche* in quanto il campo magnetico terrestre non è uniforme, quindi a minime variazioni geomagnetiche corrispondono notevoli alterazioni dei parametri magnetofisiologici endogeni (fattore 10^6)!

Questo è un discorso tecnico derivante da parametrizzazioni scientifiche svolte negli ultimi decenni, ma per dare una nota di colore al discorso, nel 1600 il fisico inglese W. Gilbert nel “De Magnete”, asserì che “*l'intera Terra è un grande magnete*” ed al tempo stesso diede una fiabesca interpretazione della sorgente magnetica terrestre, individuando enormi draghi alitanti fuoco nel core terrestre; ciò è interessante da un punto di vista etno-antropologico, in quanto molte antiche culture avevano identificato zone con particolari assetti geomagnetici da evitare o da sfruttare a scopi terapeutici e queste zone nella cultura cinese, tibetana antica e celtica venivano marcate sulle mappe da figure di draghi.....

Hartmann ebbe una brillante intuizione, ma le credenze dei bioarchitetti sono in totale contrasto persino con le conoscenze scientifiche dell'elettromagnetismo più elementari. La forma del campo elettromagnetico terrestre è infatti ben conosciuta anche nelle armoniche più deboli, grazie agli studi satellitari (fig. 13-14-15), mentre le proprietà dell'elettromagnetismo sono descritte alla perfezione dalle leggi di *Maxwell* e non vi è spazio nè per l'esistenza di una maglia elettromagnetica (dato che le linee di campo non si possono mai incrociare) nè per l'esistenza di una griglia di nodi emettenti onde elettromagnetiche (dato che sarebbero stati facilmente individuati da tempo con un semplice rivelatore), ma l'intuizione di Hartmann rimane pur sempre brillante!

Figura 13 – Assetto geomagnetico (fonte MAGSAT)

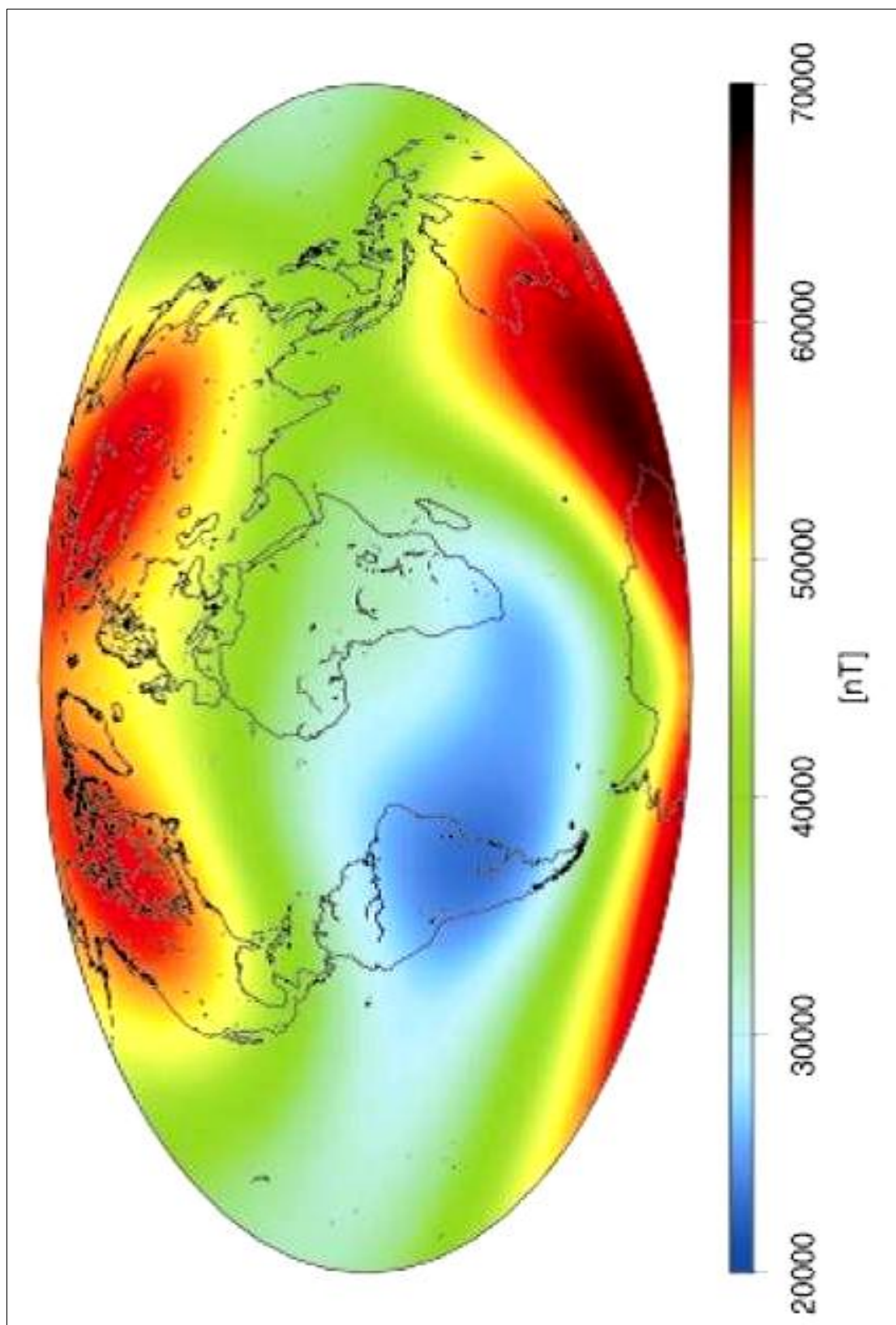
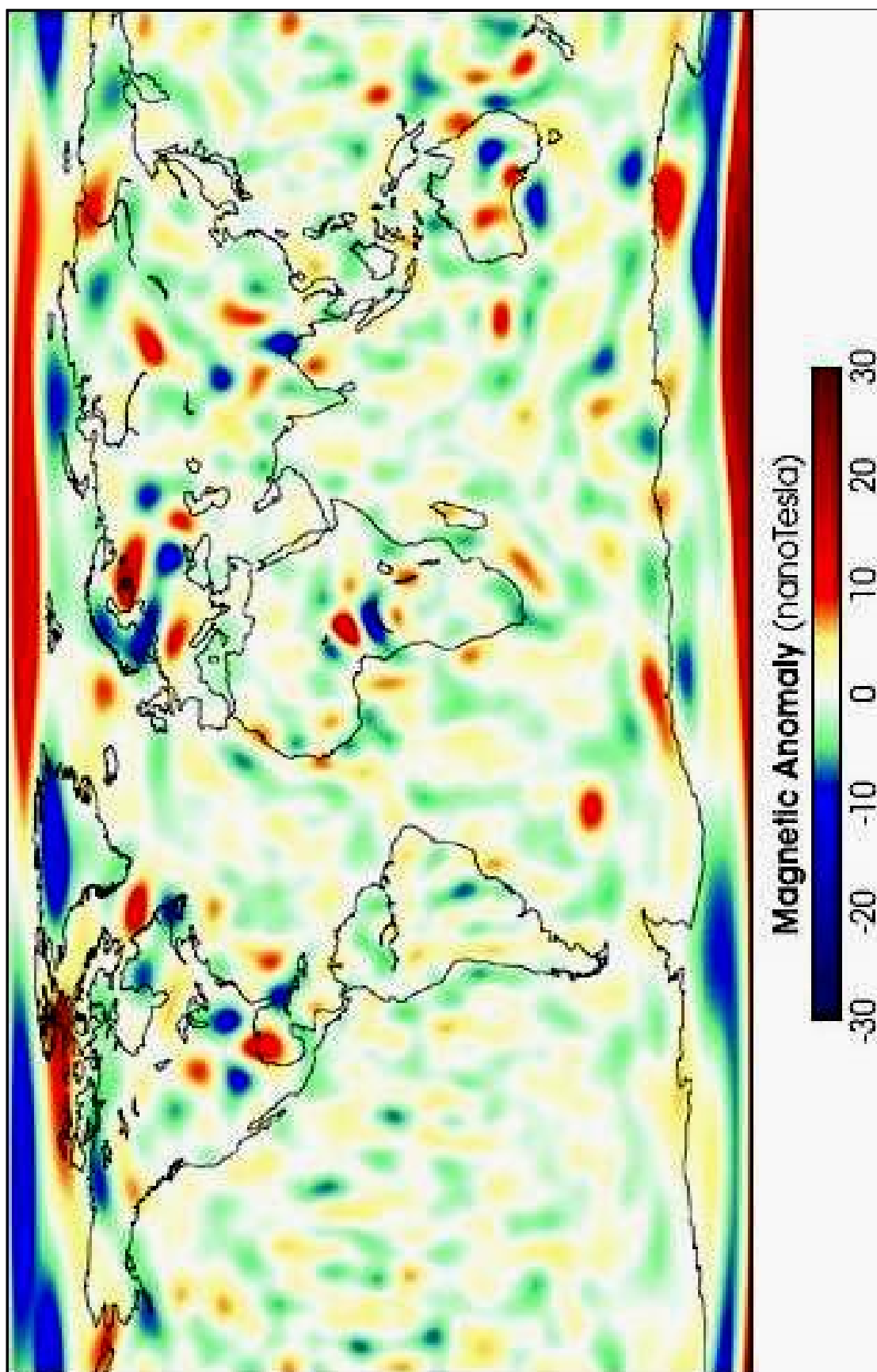


Figura 14 – Anomalie geomagnetiche planetarie (fonte MAGSAT)



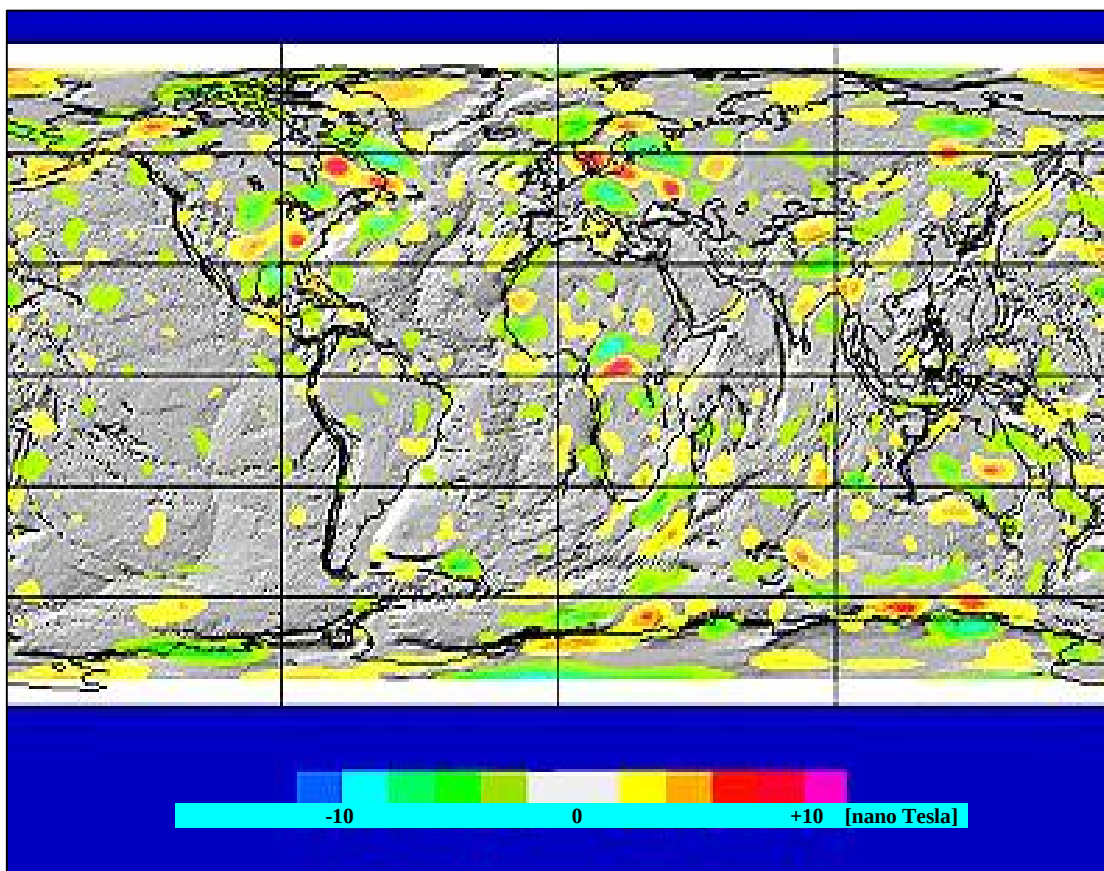


Figura 15 – Anomalie geomagnetiche planetarie (fonte MAGSAT)

Nel 1952, un ricercatore di Monaco di Baviera, W.O. Schumann, presentò una ricerca in cui dichiarava che, tra la ionosfera e la terra, si crea un campo magnetico pulsante alla frequenza di 10 Hz. Tale pulsazione venne definita come di Risonanza di Schumann⁸. La terra si comporta come un enorme circuito elettrico elettromagnetico. L'atmosfera è un conduttore debole e se non ci fossero fonti di carica, la relativa carica elettrica attuale si disperderebbe in circa 10 minuti. Dobbiamo quindi immaginare che esista una cavità risonante tra il bordo della terra e quello più basso della ionosfera di circa 55 Km, la cavità risonante Terra-Ionosfera.

⁸ In realtà il progetto originale fu sviluppato con numerose applicazioni decenni prima dal brillante scienziato croato Nikola Tesla

Le risonanze di Schumann sono onde elettromagnetiche che esistono e si propagano in questa cavità, esse non sono causate dalla morfologia terrestre, dalla crosta al mantello o al nucleo, ma sono collegate con l'attività elettrica nell'atmosfera, ed ampiamente modulate dall'effetto antropico a causa dell'esagerato sviluppo ed utilizzo di apparati elettrici/elettromagnetici, con la conseguenza di creare nicchie di Schumann aventi frequenze che fuoriescono abbondantemente dal range di 7.8-12 Hz con picchi di oltre 40Hz.

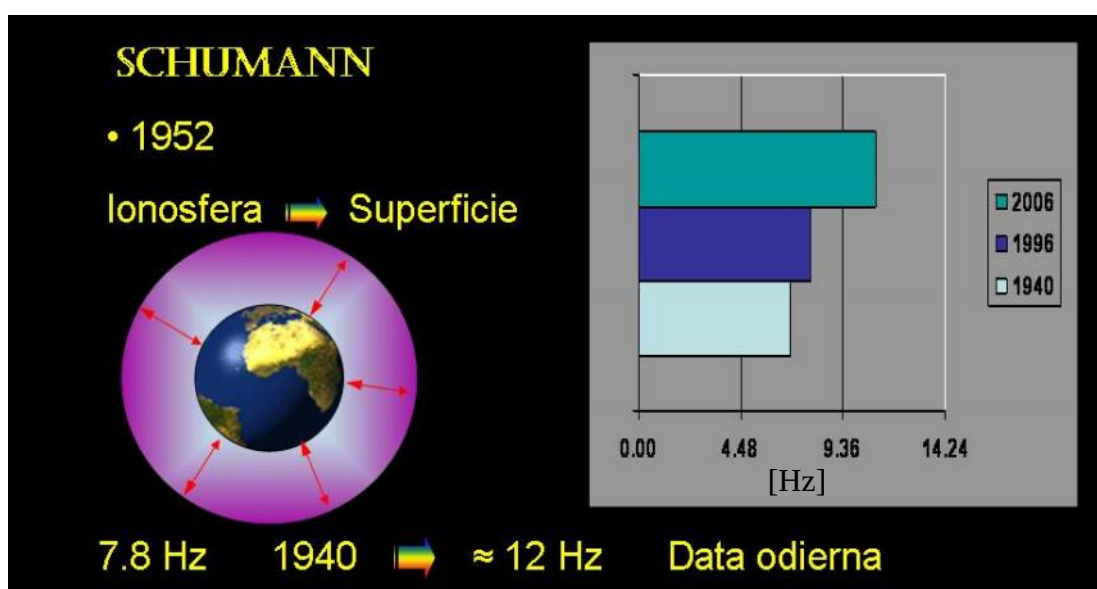


Figura 16 – Risonanza di Schumann

Dall'analisi di queste variazioni e dalle caratterizzazioni magnetofisiologiche (Fig. 10), ci rendiamo conto della completa *sudditanza magnetica* neurofisiologica del nostro corpo e comprendiamo ad esempio i meccanismi dell'alterazione dei flussi migratori animali.

Il paradosso è rappresentato dall'osservazione che l'ignorare la magnetofisiologia toglie al mondo scientifico una variabile importantissima, con il risultato di veder eseguire colture biologiche investite da campi magnetici di **20-30 Gauss** (**2 – 3 mT**),

incredibile⁹, si usano campi un miliardo di volte superiore al range della linea cellulare in analisi....., ancor più incredibile e che *stranamente* (l'uso di questo termine è volutamente ironico) nei laboratori in cui vengono usate queste grandezze si senta parlare spessissimo di *effetto Joule*.....

Bisogna sempre tenere presente che il corpo umano è caratterizzato da un setting elettromagnetico, variabile da poche unità a circa **200 pT**, ciò è importante sia in fase di ricerca, sia per cominciare a rendersi conto che ad esempio anche in ambito domestico siamo irradiati da campi elettromagnetici aventi intensità d'induzione magnetica decisamente *imbarazzanti* se paragonate ai valori del setting elettromagnetico endogeno.

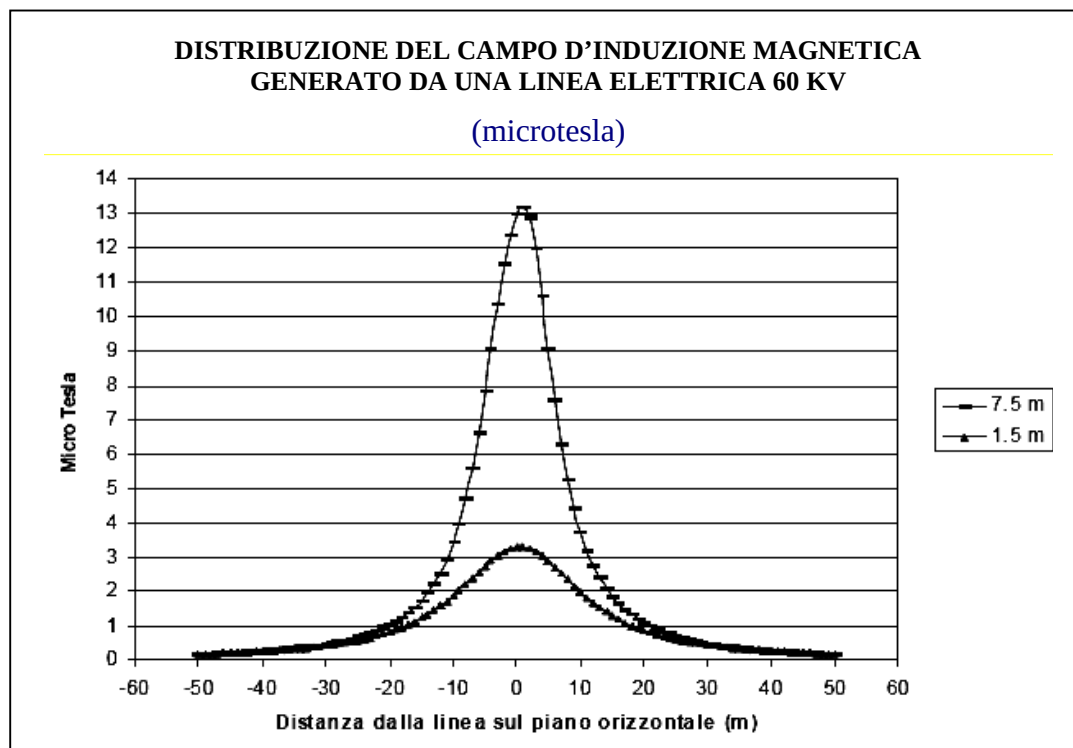
Apparato elettrico	A 3 cm (μT)	A 30 cm (μT)	A 1 m (μT)
Asciugacapelli	6 – 2000	0,01 – 7	0,01 – 0,03
Rasoio elettrico	15 – 1500	0,08 – 9	0,01 – 0,03
Aspirapolvere	200 – 800	2 – 20	0,13 – 2
Lampada fluorescente	40 – 400	0,5 – 2	0,02 – 0,25
Forno a microonde	73 – 200	4 – 8	0,25 – 0,6
Lavatrice	0,8 – 50	0,15 – 3	0,01 – 0,15
Ferro da stiro	8 – 30	0,12 – 0,3	0,01 – 0,03
Lavastoviglie	3,5 – 20	0,6 – 30	0,07 – 0,3
Per la maggior parte degli apparati domestici l'induzione magnetica alla distanza di 30 cm è molto al di sotto del limite per il pubblico fissato dalle linee guida e pari a 100 μT			

(Fonte: Ufficio Federale per la Sicurezza dalle Radiazioni, Germania, 1999).

Le distanze di normale funzionamento sono indicate in grassetto

⁹ Sono gli stessi parametri utilizzati per le terapie elettromagnetiche transcraniali, una derivazione delle terapie elettroconvulsive, meglio conosciute come elettroshock! - Grunner O. **Cerebral use of a pulsating magnetic field in neuropsychiatry patients with long-term headache**. EEG EMG Elektroenzephalogr Verwandte Geb Dec;16(4):227-230 (1985) (**t=3 ms**; induction **B=1.9 mT**; gradient=**0.5 mT/cm**)

Ragionare in termini di *induzione magnetica* ci permette di avere un'indicazione immediata del nostro grado di esposizione ad una sorgente elettromagnetica!



Un'analisi di biocompatibilità elettromagnetica dovrebbe necessariamente partire da una comparazione con il range elettromagnetico endogeno, ma spesso non è possibile, in quanto raramente viene fornito il valore dell'induzione magnetica prodotta da un'apparecchiatura elettrica/elettromagnetica, vengono invece preferite caratterizzazioni di carattere energetico come ad esempio il *Tasso di assorbimento specifico di energia* (SAR)¹⁰ che dovrebbe essere preso in considerazione solo nei casi in cui si possa presentare un effetto di tipo termico.

¹⁰ SAR: Tasso di assorbimento di energia per unità di massa corporea espresso in W/Kg. Nell'ambito delle NIR per valutare l'esposizione sono state definite ben otto grandezze fisiche:

- Corrente di contatto
- Densità di corrente
- Intensità di campo elettrico
- Intensità di campo magnetico
- Induzione magnetica
- Densità di potenza
- Assorbimento specifico di energia
- Tasso di assorbimento specifico

Molti pensano che questo sia l'unico effetto da esorcizzare nel biologico ma in realtà è un effetto che si osserva in casi limite alle alte radiofrequenze, prima di arrivare a ciò, ci sono molteplici effetti sul set-point fisiologico (naturalmente in totale assenza di *effetto joule*) , di questi, il duplice effetto dell' *induzione elettromagnetica* nel biologico sarà trattato nel capitolo successivo.

Induzione elettromagnetica nel biologico

Benché i principi dell'elettromagnetismo e delle sue interazioni con la materia siano stati ampiamente descritti oltre un secolo fa, i meccanismi di trasduzione di un segnale elettromagnetico nelle *modulazioni* e *perturbazioni* fisiologiche sono stati scarsamente trattati ed in parte storpiati dalle inspiegabili e compartimentate trattazioni puramente elettriche o puramente magnetiche, di cui la stragrande maggioranza inservibili perché analizzate in ranges assolutamente non fisiologici .

Vedremo ora due dei principali processi trasduttivi elettromagneto-fisiologici (trattati da un punto di vista unicamente e squisitamente elettromagnetico) in merito a:

- canali voltaggio-dipendenti
- extrasistole cardiaca indotta

applicando il *principio d'induzione elettromagnetica* nei casi rispettivamente di *circuito aperto* e *circuito chiuso*.

Fenomeno dell'induzione elettromagnetica

Definiamo col nome di *induzione elettromagnetica* il fenomeno della *generazione di una f.e.m.*¹¹ per mezzo di un *campo elettromagnetico* (campo induttore) , in un circuito in esso immerso (circuito indotto).

- Nel caso il circuito indotto è *aperto*, la f.e.m. indotta si manifesta come una d.d.p.¹² ai capi del circuito

¹¹ f.e.m. = forza elettromotrice

¹² d.d.p. = differenza di potenziale

- Nel caso il circuito indotto è *chiuso*, la f.e.m. indotta si manifesta come una corrente elettrica circolante nel circuito

Analizziamo ora in che modo un campo elettromagnetico esogeno interagisce con un particolare tipo di canale ionico presente nei vari bilayer cellulari , il *canale voltaggio dipendente* (fig.17,n°3).

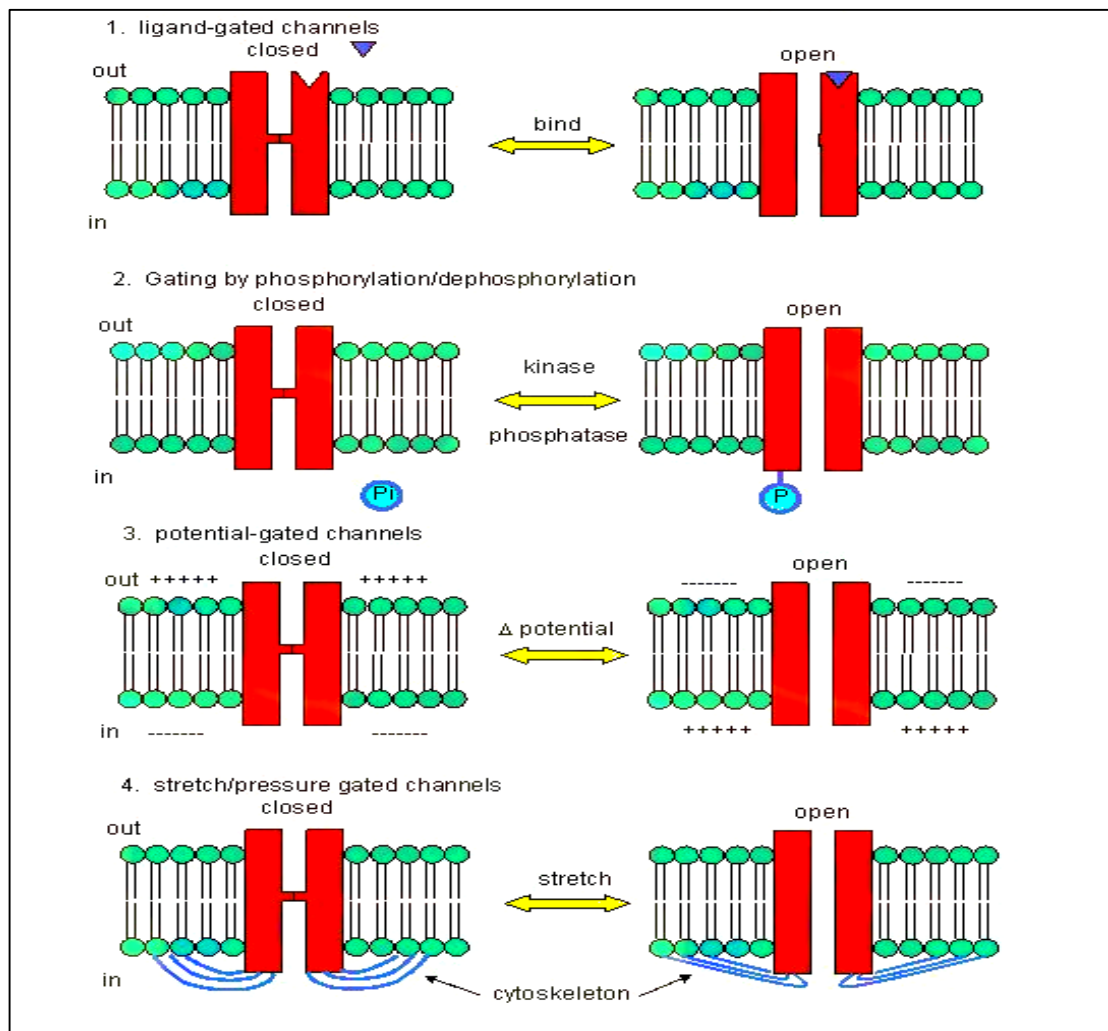


Figura 17- Classificazione canali ionici

La cinetica (apertura/chiusura) di questa tipologia di canali è governata dalla locale d.d.p. o dal locale assetto polare del bilayer fosfolipidico che dir si voglia (fig.18), quindi in questo caso l'interfaccia d'azione del processo d'induzione elettromagnetica è necessariamente il bilayer.

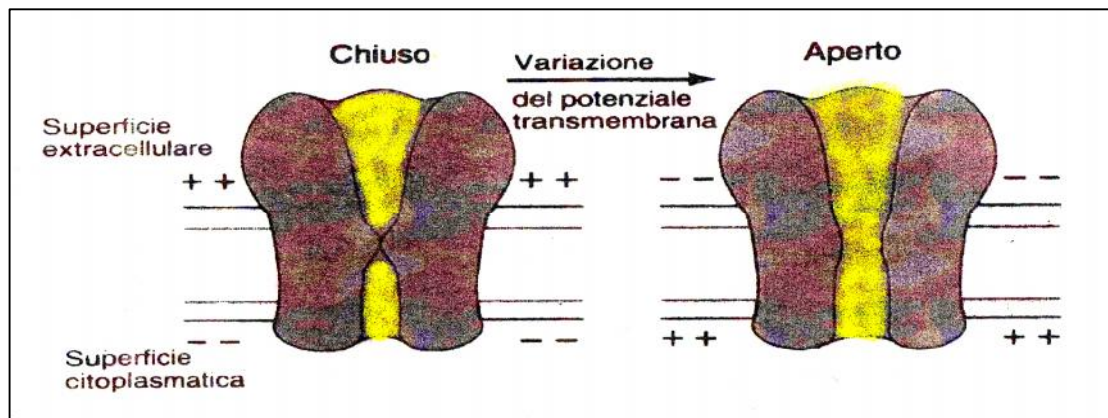


Figura 18- Modello di un canale voltaggio-dipendente

Considerando gli equilibri e le cinetiche di Goldman e di Gibbs-Donnan, possiamo, in termini relativistici, modellizzare la membrana plasmatica come un circuito indotto di tipo *aperto*, da ciò deriva che per effetto d'induzione, la d.d.p del bilayer viene alterata (Fuhr et al 1986), di conseguenza il canale voltaggio dipendente sarà modulato (in termini di cinetica) dalla variazione di d.d.p. indotta dal campo applicata (Stevenson et al 1985, D'inzeo et al 1995, Grassi et al 2004).

Un caso limite è osservabile in figura 19, in cui l'effetto elettromagnetico provoca una inversione di potenziale elettrico transmembrana, con conseguente azione sulla *conduttanza ionica* del canale.

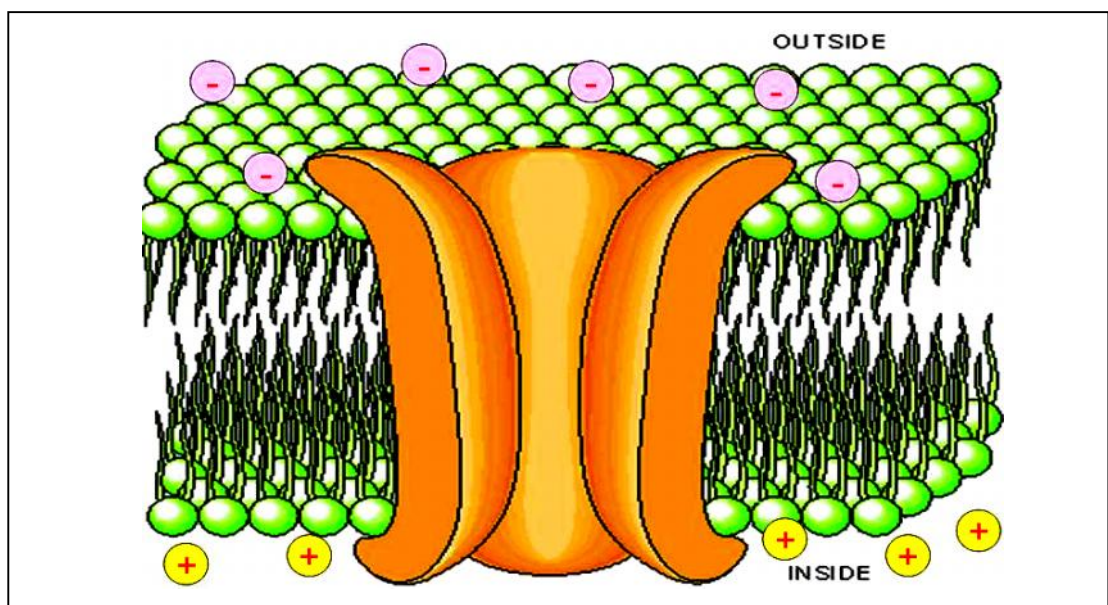


Figura 19- Inversione locale di potenziale

L'entità della variazione di *conduttanza ionica* può essere extrapolata da tecniche

combinare di voltage-clumping e patch-clumping sul singolo canale ionico (fig.20), da cui è evidente l'effetto che ha una variazione di d.d.p. della membrana investita da un CEM¹³ sulla *conduttanza ionica* del canale voltaggio-dipendente, con il risultato di avere piccole fluttuazioni del *potenziale di membrana a riposo* ed effetti molto più evidenti nei *potenziali d'azione*, in quanto caratterizzati da una serie sequenziale di attivazioni/disattivazioni voltaggio dipendenti di canali ionici caratterizzati da differenti potenziali soglia.

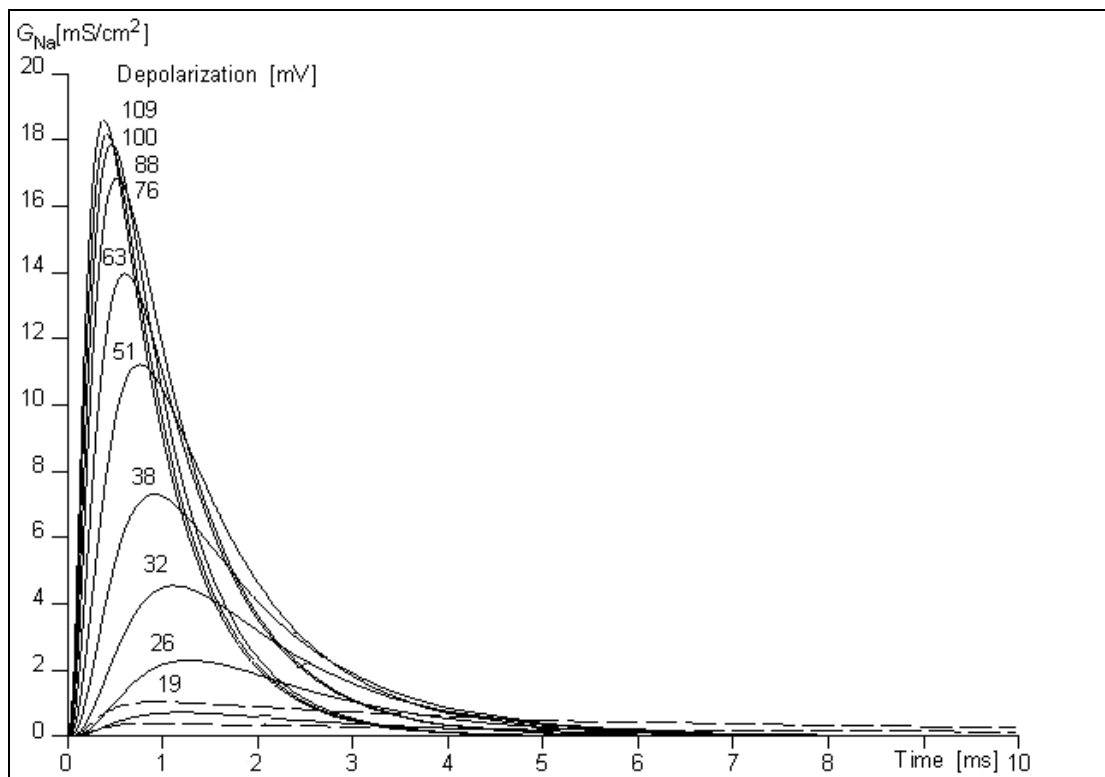


Figura 20- Rapporto tra conduttanza ionica (G) e differenza di potenziale transmembrana (Da "Bioelectromagnetism" Oxford Press 1995)

Per meglio comprendere in che modo il CEM induca fluttuazioni del *potenziale di membrana a riposo* dobbiamo analizzare il modello elettrico di membrana di Hodgkin-Huxley.

¹³ CEM = Campo elettromagnetico

Alan Hodgkin ed Andrew Huxley modellizzarono la membrana plasmatica con un circuito elettrico di tipo *ohmico-capacitivo* , chiamato comunemente *RC* (fig.21).

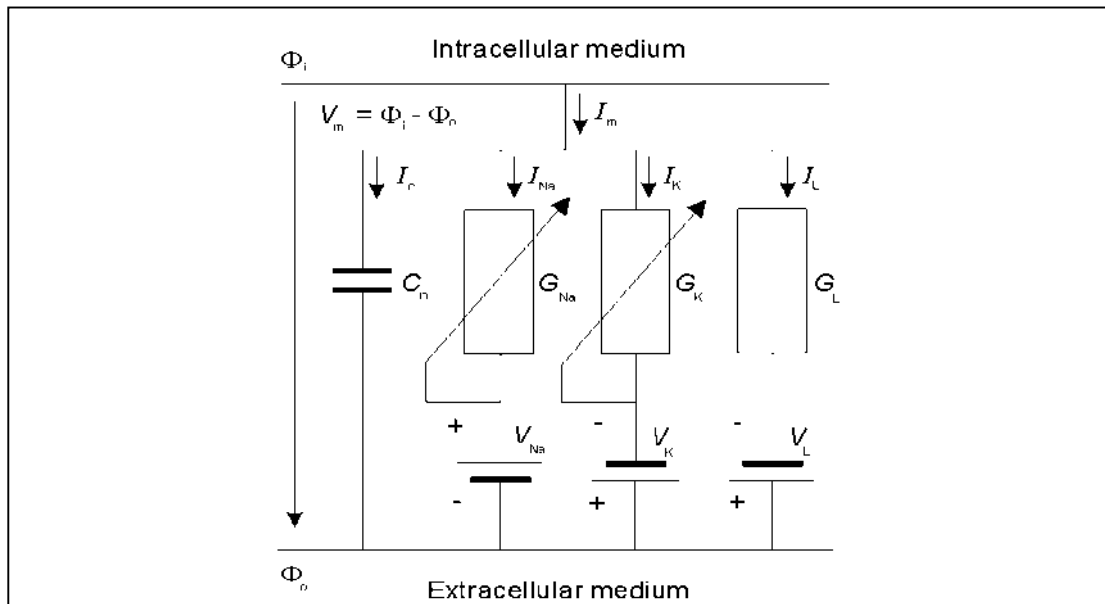


Figura 21 – Modello RC di Hodgkin-Huxley

Questo modello considera il flusso di corrente transmembrana in termini di sommatoria di quattro singole correnti elettriche:

1. Corrente da flusso di ioni sodio I_{Na}
2. Corrente da flusso di ioni potassio I_K
3. Corrente di *leakage* , generate quasi totalmente dal flusso di ioni cloro I_L
4. Corrente capacitiva I_C

I tre generatori di tensione continua presenti nel circuito presentano una forza elettromotrice pari al potenziale elettrico calcolato secondo l'equilibrio elettrochimico definito dall'equazione di Nernst , naturalmente per ogni specie ionica.

- Equazione del *potenziale elettrochimico di Nernst* per un generico ione k .

$$V_k = -\frac{RT}{z_k F} \ln \frac{c_{i,k}}{c_{o,k}}$$

dove V_k = potenziale di Nernst in condizioni di equilibrio elettrochimico [V]

R = costante dei gas [8.314 J/(mol·K)]

T = temperatura assoluta [K]

z_k = valenza ionica

F = costante di Faraday [9.649×10^4 C/mol]

$c_{i,k}$ = concentrazione intracellulare ione

$c_{o,k}$ = concentrazione extracellulare ione

- Equazioni del *potenziale elettrochimico di Nernst* dedicate al modello Hodgkin-Huxley.

$$V_{Na} = -\frac{RT}{zF} \ln \frac{c_i^{Na}}{c_o^{Na}}$$

$$V_K = -\frac{RT}{zF} \ln \frac{c_i^K}{c_o^K}$$

$$V_L = -\frac{RT}{zF} \ln \frac{c_i^L}{c_o^L}$$

Applicando i principi di Kirchoff al circuito RC, otteniamo l'equazione della conduttanza di membrana

$$V_m = (G_k \times V_k) / \Sigma G + (G_{Na} \times V_{Na}) / \Sigma G + (G_{Cl} \times V_{Cl}) / \Sigma G$$

dove $\Sigma G = G_k + G_{Na} + G_{Cl}$

Da questa formula si comprende in che modo il CEM, modulando la conduttanza ionica di un canale voltaggio-dipendente possa indurre fluttuazioni del potenziale transmembranario a riposo.

Analizzeremo ora il caso in cui la f.e.m. indotta si manifesta come una *corrente elettrica* all'interno di una fibra nervosa con l'esempio dell'*extrasistole miocardica*

indotta da CEM , siamo in presenza quindi dell' effetto d'induzione elettromagnetica su di un circuito indotto di tipo *chiuso* (fig.22) .

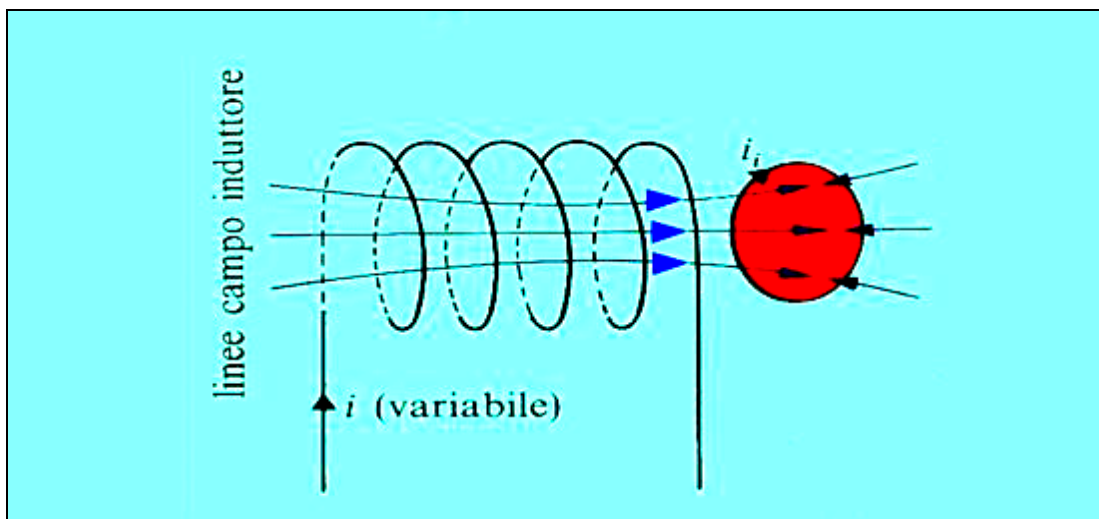


Figura 22- Schema induzione elettromagnetica in *circuito chiuso*.

Il circuito indotto , in questo caso, è rappresentato dal *miocardio specifico* o *sistema di conduzione del cuore* (fig.23).

Il *sistema di conduzione* cardiaco è formato da cellule miocardiche che hanno perso le loro capacità contrattili acquisendo in modo specifico funzioni di genesi e conduzione d'impulso elettrico.

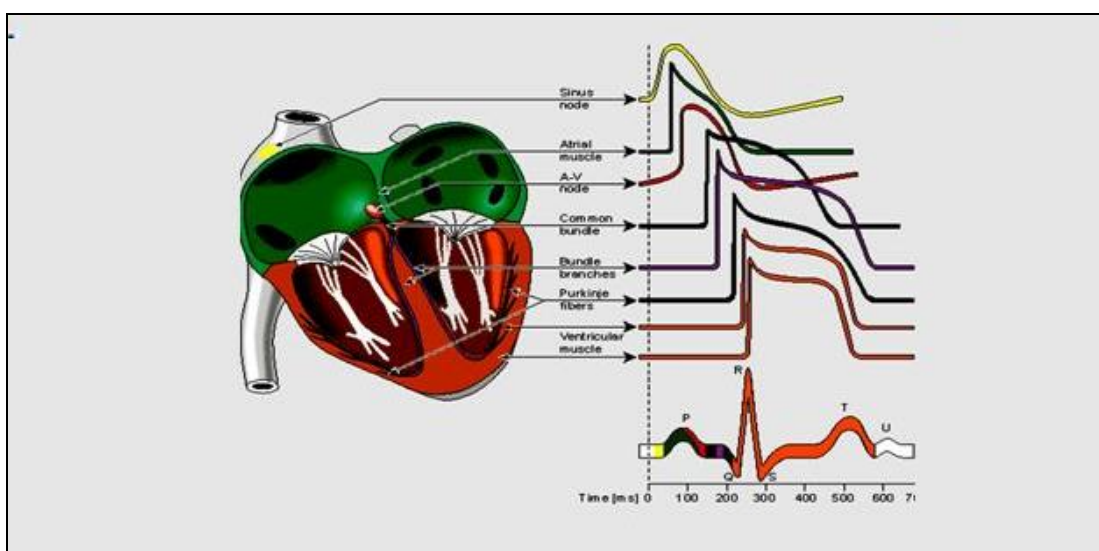


Figura 23- Sistema di conduzione cardiaco

Esiste una commissione europea per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti denominata ICNIRP¹⁴, la quale studia soprattutto gli *effetti sanitari immediati* da esposizione, il limite di riferimento per l'induzione di extrasistole nel cuore umano è fissato a **130mT**.

Come avviene ciò?

Nel caso di *circuito indotto chiuso*, la f.e.m. indotta si manifesta come una corrente elettrica circolante nel circuito, quindi il CEM investendo il cuore, provocherà la formazione di *correnti indotte* in tutto il *sistema di conduzione*, che interferiranno con la genesi e la propagazione degli impulsi elettrici cardiaci (fig.24).

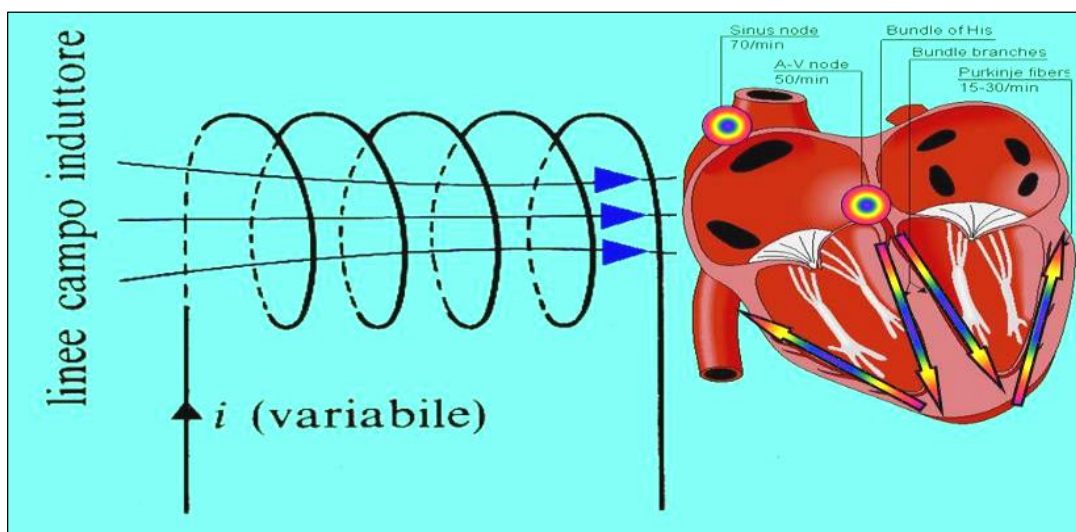


Figura 24- Principali siti d'azione delle correnti indotte da un campo elettromagnetico

L'induzione di un'extrasistole si verifica a partire da campo d'induzione magnetica di 130 mT, ma sia chiaro che seppur apparentemente silenti, esistono perturbazioni dell'assetto elettrico cardiaco anche al di sotto di questo limite assimilabili all'effetto del CEM sulla membrana plasmatica; il problema è rappresentato dal definire, in assenza di un fenomeno macroscopico come l'alterazione del ritmo contrattile (sotto i 130 mT), quale sia, in termini di parametri bioelettrici, la

¹⁴ ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

percentuale di alterazione indotta da un CEM necessaria per poter definire uno stato di *sofferenza elettrochimica cellulare*.

Le due pathways di trasduzione elettromagneto-fisiologica illustrate in questa sezione sono accomunate dalla difficoltà operativa nello schermare le interfacce meccano-biologiche degli apparati di *voltage-clamping* e *patch-clamping*.

**Ogni distretto anatomico in cui sia presente un canale voltaggio-dipendente
è un target elettromagnetico.**

**Ogni distretto anatomico in cui sia presente una fibra nervosa
è un target elettromagnetico.**

L'intero essere umano è un target elettromagnetico!

Microtubuli: aspetti biofisici e network elettromagnetico

paraneurale¹⁵

Nell'esperimento *John Wikswo et al (1980)* in cui è stato misurato il campo d'induzione magnetica prodotto dal potenziale d'azione di un'assone di nervo sciatico di rana toro, la sonda toroidale (in celeste) è stata posta ad una distanza di 1.3 mm dalla superficie del nervo ($r \leq 0.3\text{mm}$), quindi bisogna considerare che in vivo il campo d'induzione magnetica di 120 pT

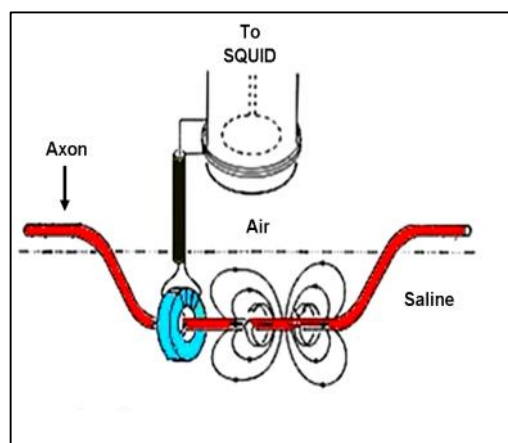


Figura 25 – Schema operativo

andrà ad investire le strutture adiacenti con un'induzione magnetica ovviamente $\geq 120\text{pT}$ in una distanza $\leq 1.3\text{mm}$. Avendo fatto questa considerazione di fisica elementare applicabile ad ogni fibra nervosa ed al suo ambiente circostante, ci rendiamo conto che il *Network elettrico* nervoso, per la natura stessa del segnale ha bisogno di un *via elettrica* e di *contatti* per propagarsi, mentre il *Network elettromagnetico* nervoso no; quindi la *segnaletica elettromagnetica* è una forma di comunicazione intra/intercellulare decisamente più sofisticata della comunicazione elettrica in virtù della meravigliosa complessità della *Teoria Ondulatoria dei campi elettromagnetici*.

¹⁵Teoria presentata al convegno: "Campi magnetoelettrici nuove frontiere per la medicina" Martinelli A. - **Microtubuli: aspetti biofisici e network elettromagnetico paraneurale**. Atti del I° Convegno Biofisica Elettrodinamica, S.I.B.E. Bologna Dic 2005 ;22-25 <http://www.SIBEONLINE.it>

Esistono altre forme di comunicazione biofisiche scarsamente trattate, tra queste , le interazioni di tipo *ultrasonico* (Bistolfi et al 2001) , tipiche di alcuni biopolimeri. Suddette interazioni sono particolarmente interessanti per la relazione con i campi elettromagnetici endogeni , con cui sono in relazione tramite gli effetti :

TEMA → Trasduzione elettromagnetoacustica

TEMA-invertito → Trasduzione acustoelettromagnetica

I microtubuli ed i microfilamenti, componenti del citoscheletro, presentano una caratteristica molto interessante : la Piezoelettricità (Fukada E. 1983).

La Piezoelettricità¹⁶ è la proprietà che hanno alcuni materiali, di manifestare una differenza di potenziale in seguito a deformazione meccanica ed allo stesso modo manifestare una deformazione meccanica in seguito all'applicazione di una differenza di potenziale (fig.26).

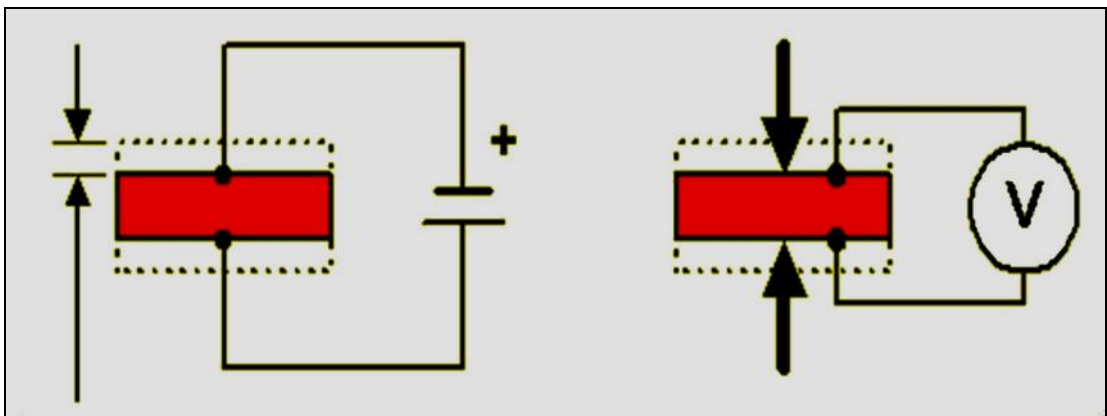
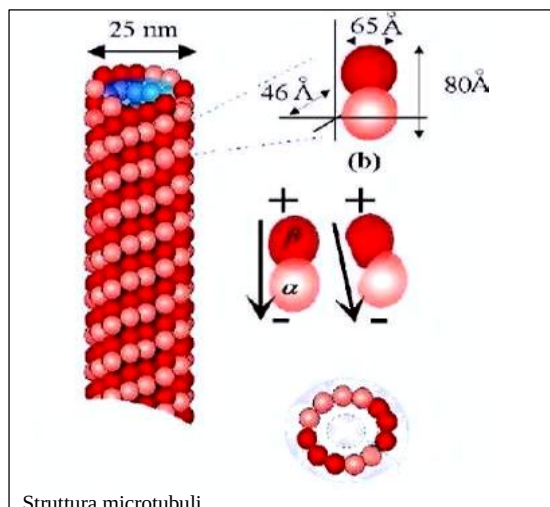


Figura 26 – Il fenomeno piezoelettrico.

Benché questa proprietà sia caratteristica di alcuni tipi di cristallo, anche microtubuli e microfilamenti presentano quest'effetto , analizzeremo in questa sede soltanto i microtubuli .

¹⁶ La Piezoelettricità, secondo la meccanica classica può essere descritta dall'equazione $\Delta E = \delta \times \Delta x/x$; dove ΔE indica la variazione di potenziale, $\Delta x/x$ la compressione o dilatazione relativa e δ il coefficiente piezoelettrico caratteristico del materiale.

I microtubuli sono strutture tubulari cave (diametro esterno di 25 nm, diametro interno di 15 nm) composte da dimeri formati da α -tubulina e β -tubulina. Essi Conferiscono alle cellule resistenza e rigidità, e contribuiscono a stabilizzare la posizione degli organuli. Possono facilitare il trasporto intracellulare di varie molecole, grazie all'interazione



con particolari proteine motrici. Durante la mitosi, i microtubuli formano il fuso mitotico, ed infine sono i principali componenti dei cetrioli, delle ciglia e dei flagelli.

Il grande numero di funzioni svolte nella realtà intracellulare, osservate sotto la luce dell'effetto piezoelettrico ci porta a comprendere la rivoluzione del mondo biofisico, con dibattiti aperti tutt'oggi, ma solo in merito alla modellizzazione teorica di questo fenomeno, il solito duello biofisico tra i sostenitori di un'interpretazione in termini di *meccanica classica* e chi invece sostiene un'analisi di tipo *quantistico*, quest'ultima meno adatta vista l'entità macroscopica del fenomeno.

L'evidenza rimane, i microtubuli emettono vibrazioni ultrasoniche¹⁷ (Sirenko et al 1996, Pokorny et al 1997, Portet et al 2004,), in un range di frequenza da 10 MHz a 10 GHz !

Questo è l'effetto TEMA, cioè una trasduzione elettromagnetico-acustica in cui i

¹⁷ Gli ultrasuoni sono onde elastiche con frequenza da 20 KHz a 10 GHz. Nelle metodiche ecotomografiche, ecodoppler e doppler le onde acustiche sono generate da un trasduttore piezoelettrico generalmente con una frequenza da 2 a 10 MHz.

campi bioelettromagnetici endogeni¹⁸, investendo i microtubuli, provocano per effetto piezoelettrico, deformazioni elastiche dei microtubuli, da cui onde elastiche che si propagano nel citosol.

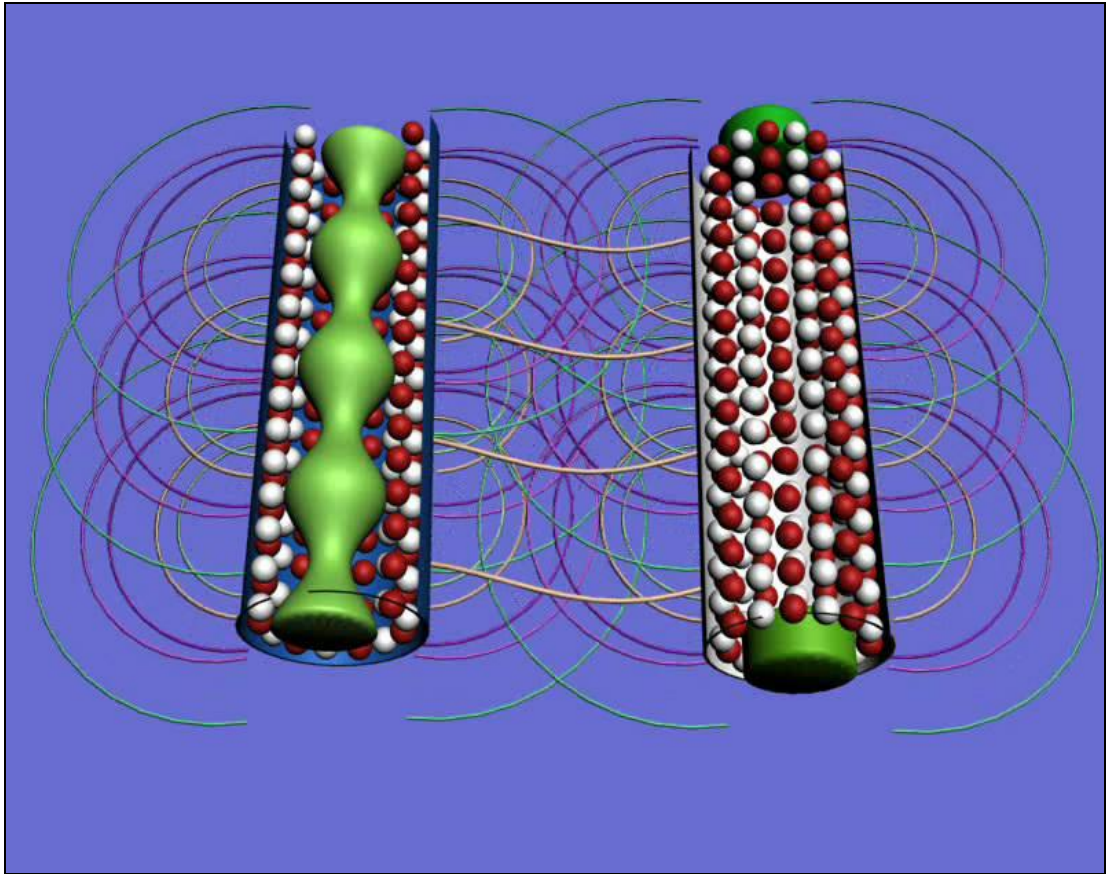


Figura 27 – . Modello di coppia di microtubuli interconnessi da 4 MAPs (microtubule associated proteins) ed onde ultrasoniche .Martinelli -Cesari (2005)

Le onde acustiche possono sollecitare elasticamente strutture vicine ma soprattutto generare elegantemente un effetto TEMA-*invertito*: in questo caso le onde acustiche prodotte per effetto TEMA , investendo un altro microtubulo provocheranno sempre per effetto piezoelettrico un alterazione pulsante di carica superficiale del microtubulo investito dall'onda elastica , e quindi un tipo di trasduzione acusto-elettromagnetica.

¹⁸ Sono naturalmente da considerare eventuali perturbazioni da sorgenti elettromagnetiche esogene.

Da tutto ciò è nata l'idea di *Network Elettromagnetico paraneurale* e di *Feedback Translation*.



L'uso del termine Translation al posto di Transduction, è voluto al fine di entrare nell'ottica di *linguaggio* elettromagnetofisiologico intra ed intercellulare, molti ricercatori infatti cominciano ad usare termini come *Cell Wide Web* e *Body Wide Web*.

Un affascinante fenomeno , tutt'ora in fase di studio, è la possibile generazione di *ghost-potentials* nel citosol dovuti alla sonicazione indotta nel mezzo dalle onde elastiche (Montalibet et al 2001), ci troveremmo allora nella condizione mostrata in figura 28, dove le onde elastiche, con un azione simile all' "Effetto Debye" di interazione acusto-elettrica , genereranno *ghost-potentials* da sonicazione.

Quest'ultimo tipo di fenomeno dovrebbe essere preso in considerazione nella valutazione del possibile impatto delle tecniche di Imaging ultrasonico sul corpo umano.

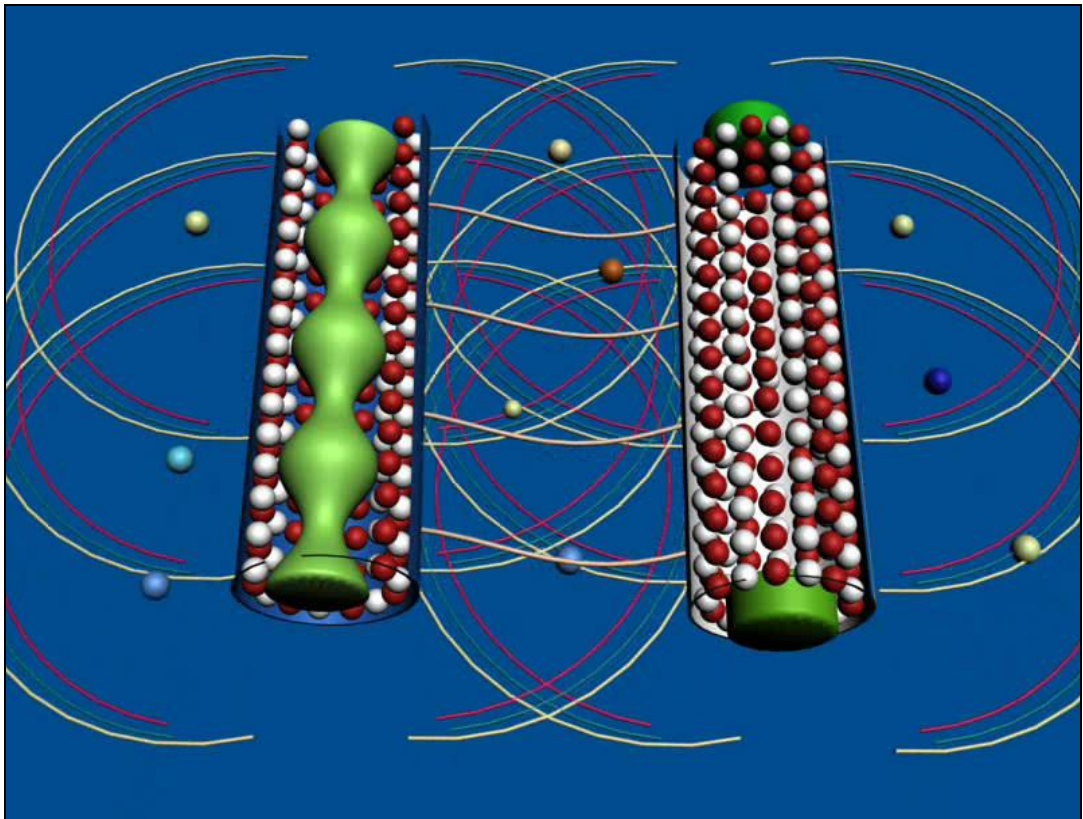


Figura 28 – .Ipotesi formazione Ghost-Potentials indotti da sonicazione del citosol .Martinelli -Cesari (2005)

Benveniste's rebus

L'avventura umana di Jacques Benveniste , medico ricercatore francese ,celebre per la scoperta del PAF ("Platelet-Activating-Factor"), pioniere dell'omeopatia scientifica e della Biologie Numérique si conclude a Parigi il 3 ottobre 2004, angosciato dalla ricerca di modellizzazioni elettromagnetofisiologiche che spiegassero le sue evidenze sperimentali.

L'attività di ricerca di Benveniste può essere divisa in tre parti:

- Ricerca nel settore immunologico
- Studio dell'effetto delle *alte diluizioni* (omeopatiche)
- Biologie Numérique

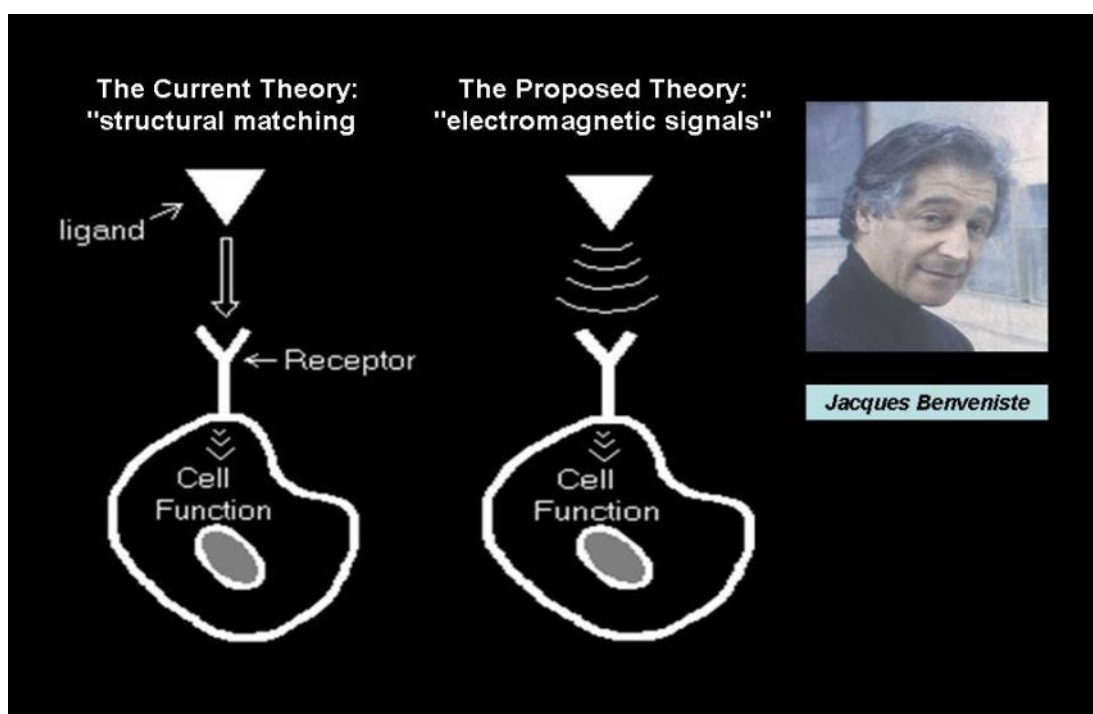


Figura 30- Il modello Benveniste

La necessità di Benveniste di trovare modelli bioelettromagnetici nacque dall'esigenza di dover dare un supporto teorico alle evidenze sperimentali delle sue

ricerche nell'ambito delle *alte diluizioni*, tutto ciò ebbe inizio nel 1988, con la pubblicazione su Nature del contestato articolo :

“Human basophil degranulation triggered by very dilute antiserum against IgE”.

Benveniste realizzò il sogno degli omeopati, testare in vitro gli effetti di principi attivi a dosaggi altamente diluiti, nello specifico valutò la degranulazione di basofili umani indotte da alte diluizioni anticorpi anti-IgE. La sua osservazione fu che naturalmente cominciando a diluire la soluzione anti-IgE, gli effetti anticorpali sui basofili diminuivano anch'essi , ma come non si aspettava la reazione di degranulazione riprendeva con estremo vigore dalla nona diluizione decimale (1×10^{-10}) , con picchi e cali di attività fino alla centovesima diluizione decimale (1×10^{-120}) (fig.31).

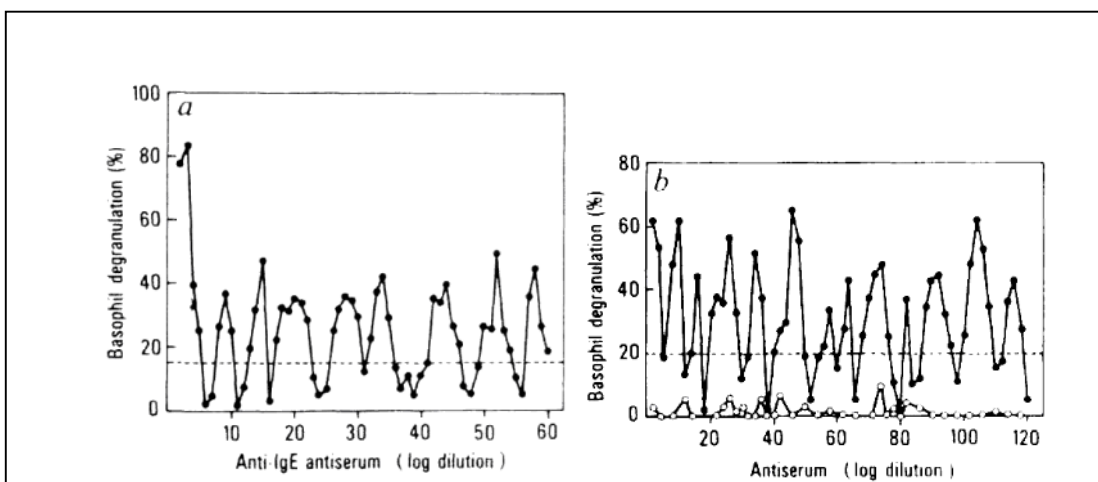


Figura 31 – Risultati dei tests di degranulazione dei basofili indotte da *alte diluizioni* di siero anti-IgE.

Il sogno del mondo omeopatico si trasformò in incubo, perchè sebbene ci fossero evidenze sperimentali, la quasi totalità del mondo scientifico attaccò duramente Benveniste ed il suo lavoro, per la mancanza di valide basi teoriche.

La citazione di questo esperimento è importante per capire che fu proprio questo problema a far scaturire in Benveniste la necessità trovare nuovi modelli fisiologici di trasduzione fisiologica che dessero una spiegazione teorica ai fenomeni che stava

osservando, con il risultato di lasciarci la grande intuizione dell'esistenza di una pathway trasduzionale fisiologica di tipo elettromagnetico.

Jacques Benveniste tralascia le *alte diluizioni* e nell'ultima parte della sua carriera si dedica alla *Biologie Numérique*, dove cerca di simulare binding molecolari con segnali elettromagnetici (usò anche onde acustiche); l'errore concettuale fu quello di non considerare l'organismo umano da un punto di vista elettromagnetofisiologico , ostinandosi nel dimostrare una sequenza d'azione del tipo:

Campo elettromagnetico → Trasduzione $n(\text{H}_2\text{O})$ clusters → Effetto Biologico
con il risultato di non riuscire a trovare alcun modello teorico valido , non basta citare la *Teoria dei domini di coerenza dell'acqua* per giustificare la sequenza d'azione di un prodotto omeopatico!

Benveniste ebbe quindi una brillante intuizione , ma essendo orfano (per sua stessa ammissione) dei principi del Bioelettromagnetismo, sbagliò l'impostazione teorica delle sue ricerche.

Considerazioni finali

L'Elettromagnetofisiologia deve rientrare prepotentemente nella biologia, ma soprattutto bisogna sviluppare una grande capacità critica dei processi di interazione bioelettromagnetica, non bisogna lasciarsi affascinare dall'orientamento di fibroblasti in coltura sotto un campo statico, se il campo è di 70 Gauss, né tantomeno valutare espressioni geniche con campi d'induzione dell'ordine dei milliTesla; per continuare a mappare le *pathways di traduzione elettromagnetofisiologiche* bisogna entrare nell'ottica di avvicinarsi quanto più possibile al range fisiologico elettromagnetico, e solo successivamente definirne le modulazioni e le perturbazioni indotte da sorgenti esogene.

La capacità critica è fondamentale nello studio del bioelettromagnetismo, ne daremo un esempio analizzando gli elettrodotti ad *alta tensione*¹⁹ (fig.32) da un punto di vista di biocompatibilità elettromagnetica; è opportuno osservare che la comunità scientifica definisce con il termine *elettrosmog* l'inquinamento elettromagnetico da radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti....., notiamo immediatamente una prima imprecisione: il termine *elettrosmog* non è appropriato, trattandosi di campi elettromagnetici!



Figura 32 – Elettrodotto ad alta tensione

¹⁹ Classificazione elettrodotti - Basse e medie tensioni [0 ÷ 1 KV]

- Alta tensione [oltre 1 KV]

Dimostriamo ora che da un'analisi bioelettromagnetica:

un elettrodotto ad alta tensione, a parità di potenza, genera un campo d'induzione magnetica inferiore al medesimo campo generato da un elettrodotto a bassa e media tensione

quindi, da questo punto di vista è preferibile che la trasmissione elettrica sia ad alta tensione, vediamo il perché! La trasmissione elettrica avviene tra una sorgente (centrale elettrica od altro) ed un punto di utilizzo (fig.33).

In prossimità della sorgente e del punto di utilizzo ci sono dei dispositivi chiamati *trasformatori* che rispettivamente innalzano ed abbassano la tensione di rete, diamone la motivazione!

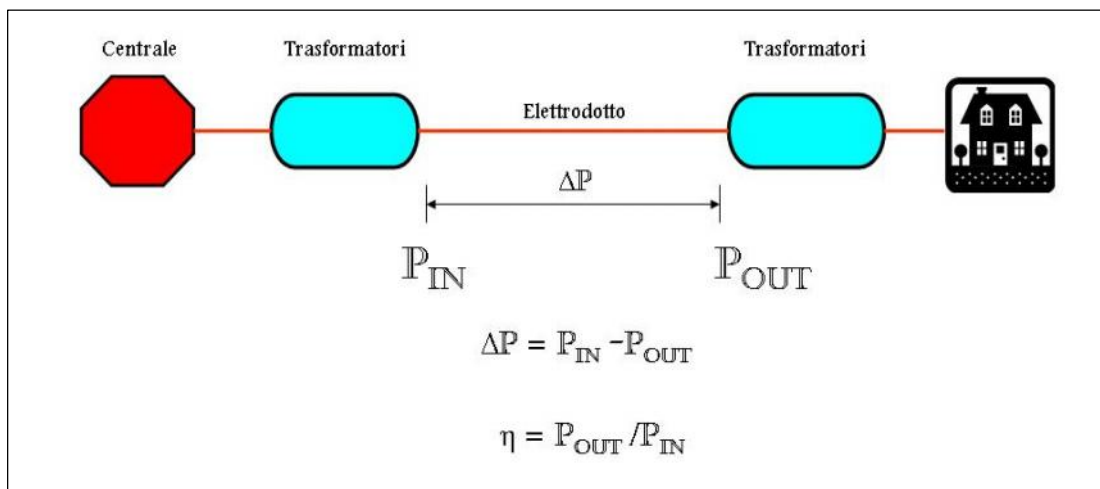


Figura 33 – Schema generale di una linea elettrica

Una linea elettrica è caratterizzata da un rendimento η definito dal rapporto tra la potenza elettrica in ingresso dell'elettrodotto e quella in uscita, dove ΔP è dovuta a perdite di tipo termico

$$\Delta P = R \times I^2$$

dove R = resistenza elettrica della linea

I = corrente elettrica della linea

La strategia per minimizzare le perdite sta nel ridurre l'intensità di corrente mediante l'ausilio di trasformatori .

Un trasformatore è un dispositivo che trasforma i parametri di tensione e corrente elettrica in ingresso, modificandone l'entità in uscita senza che la potenza venga alterata (fig.34)

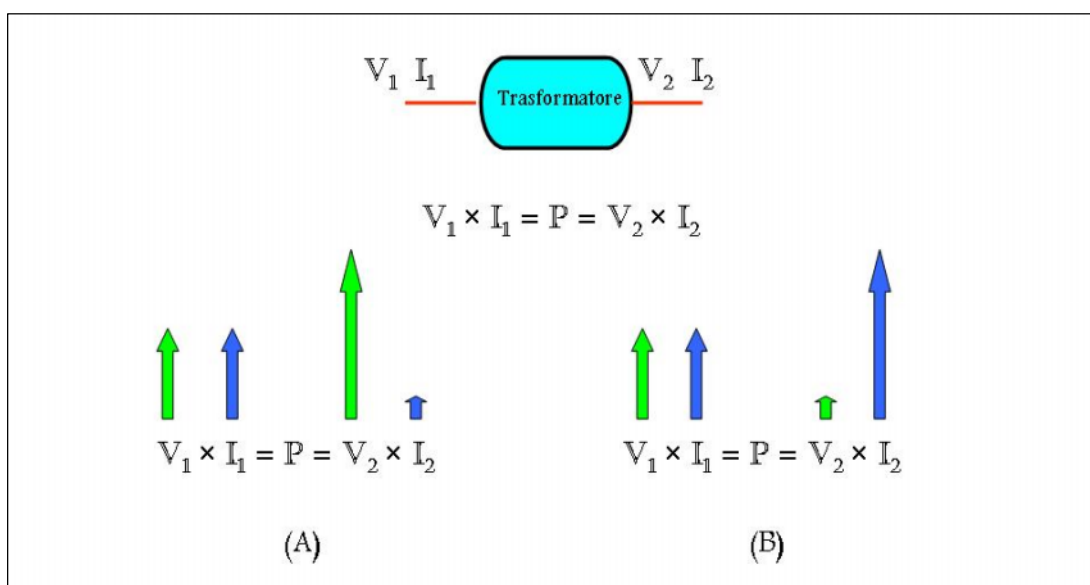
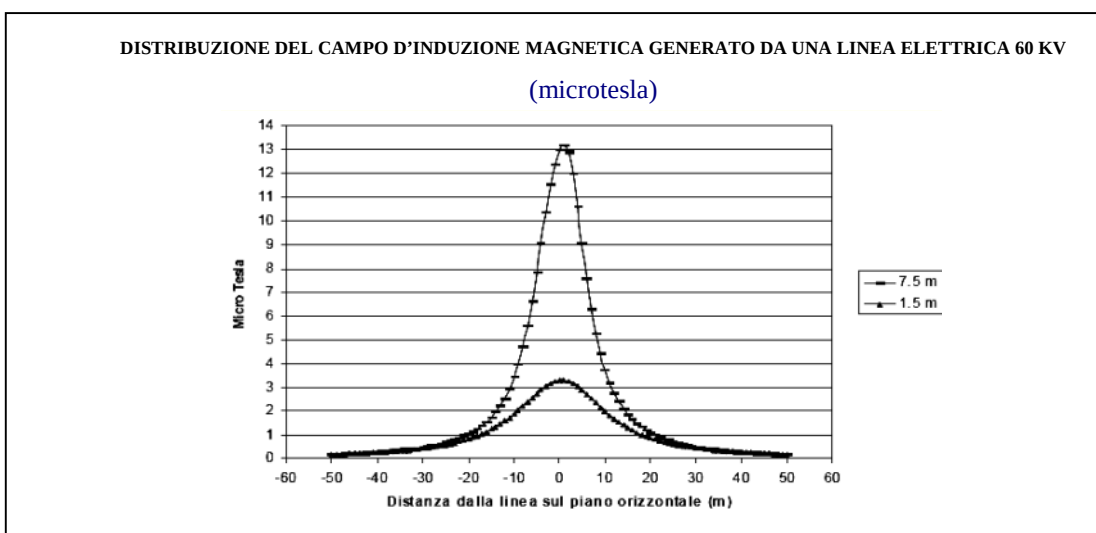


Figura 34 – Principio di funzionamento di un trasformatore ideale

Nel caso degli *elettrodotti ad alta tensione* la necessità di minimizzare la perdita di potenza con conseguente aumento del rendimento (fig.34 (A)), ci porta ad abbassare la corrente elettrica con conseguente diminuzione del campo d'induzione magnetica²⁰.

Abbiamo convalidato la nostra affermazione



²⁰ In base al principio di BIOT-SAVART

Lo studio critico del *Bioelettromagnetismo*, ed in particolare delle *pathways di trasduzione elettromagnetofisiologiche* assume, alla luce dei concetti e delle analisi esposte in quest'opera una notevole importanza in Biologia, ed in ultima battuta non dimentichiamo mai di esserci evoluti e vivere su una sfera magnetica.

Riferimenti Bibliografici

1. Abidor IG et al - **Experimental and theoretical investigation of the nature of a rapid change in the lipid bilayer membrane capacitance in an electric field** *Biol Membrany* 3 627 (1986)
2. Baker PF, Hodgkin AL, Shaw TI - **The effects of changes in internal ionic concentrations on the electrical properties of perfused giant axons.** *J. Physiol. (Lond.)* 164: 355-74 (1962)
3. Barbanera S. Carelli P., Modena I., Modena I., Romani G. L.- **A Gradiometer for the study of magnetic fields generated by the human heart** *J.Phys. Vol. 11* (1978);
4. Benveniste J. - **Ma vérité sur la Mèmoire de l'eau – Éditions Albin Michel,** (2005)
5. Bezanilla F. - **Voltage dependent gating. In Ionic Channels in Cells and Model Systems** ed. R Latorre, pp. 37-52, Plenum Press, New York(1986).
6. Bistolfi F., Brunelli B. **On electromagnetic acoustic transduction in biology and medicine: a speculative review.** *Physica Medica* XVII:37-66, (2001)
7. Bistolfi F. -**Dalla biofisica delle proteine al sistema di cellule MC .Ottobre-Dicembre (2002) N°4 Fisica in medicina**
8. Cole KS, Curtis HJ **Electrical impedance of the squid giant axon during activity.** *J. Gen. Physiol.* 22: 649-70. (1939)

9. D'inzeo G, Pisa S, Tarricone L. - **Ionic Channel Gating Under Electromagnetic Exposure - A Stochastic Model.** *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*; 29 (3) p289-304 FEB (1993)
10. Dayenas, F. Beauvais, J. Amara, M. Oberbaum, B. Robinson t, A. Miadonna t, A. Tedeschit, B. Pomeranz, P. Fortner§, P. Belon, J. Sainte-Laudy, B. Poitevin & J. Benveniste - **Human basophil degranulation triggered by very dilute antiserum against IgE-** *Nature* Vol. 333 30 June (1988)
11. Fuhr G et al - **Membrane potentials induced by external rotating electric fields.** *J Bioelectricity* 6 (1986)
12. Fukada E. **Piezoelectric properties of biological polymers.** *Q. Rev. Biophys.* 16: 59-87, (1983)
13. Grassi C, D'Ascenzo M, Torsello A, Martinotti G, Wolf F, Cittadini A, Azzena GB - **Effects of 50 Hz electromagnetic fields on voltage-gated Ca²⁺ channels and their role in modulation of neuroendocrine cell proliferation and death.** *Cell Calcium.* (2004)Apr;35(4):307-15.
14. Grunner O. - **Cerebral use of a pulsating magnetic field in neuropsychiatry patients with long-term headache.** *EEG EMG Z Elektroenzephalogr Verwandte Geb* Dec;16(4):227-230 (1985).
15. Hameroff, S.R., and Penrose, R. - **Orchestrated reduction of quantum coherence in brain microtubules: A model for consciousness.** *Neural Network World* 5 (5) 793-804 (1995).
16. Harrison J.S. - **Piezoelectric polimers .** *NASA Langley Research Center.* (2001)

17. Hulliger J. - **Markov-type Evolution of Materials into a Polar State.**
Chem.Eur.J.N_o (2002)
18. Irwin DD, Rush S, Evering R, Lepeshkin E, Montgomery DB, Weggel RJ -
Stimulation of cardiac muscle by a time-varying magnetic field. *IEEE Trans. Magn. Mag-6:(2)* 321-2 (1970)
19. Jossinet L, Lavandier R., Cathignol D. - **The phenomenology of acousto-electrical interaction signals in aqueous solutions of electrolytes.**
Ultrasonics 36: 607-613,(1998)
20. Kaivarainen A. - **Hierarchic model of consciousness from molecular Bose condensation to synaptic reorganization.** *Neuroquantology* (3) 180-219 (2005).
21. Korpinen L, Partanen J, Uusitalo A. - **Influence of 50 Hz Electric and Magnetic Fields on the Human Heart.** *Bioelectromagnetics*; 14 (4) p329-340(1993)
22. Liboff AR & McLeod BR - **Kinetics of channelized membrane ions in magnetic field** *BioElectroMagnetism* 9 (1988) 39
23. Martinelli A. - **Microtubuli: aspetti biofisici e network elettromagnetico paraneurale.** *Atti del Convegno “Campi magnetoelettrici nuove frontiere per la medicina”* Bologna Dic 2005 . <http://www.SIBEONLINE.it>
24. Mazzoldi P., Nigro M., Voci C. - **Fisica** *Edises* (1998)
25. Montalibet A., Jossinet J., Matias A., Cathignol D. - **Electric current generated by ultrasonically induced Lorentz force in biological media,**
Med. Biol. Eng. Comput., (2001), vol 39, p 15-20.

26. PanagopoulosDJ, Chavdoula ED, Nezis IP Margaritis LH – **Cell death induced by GSM 900MHz and DCS 1800MHz mobile telephony radiation** . *Mutation Research* 626, 69-78 (2007)
27. Pokorny J., Jelinek F. Trkal V. et al.- **Vibrations in microtubules**. *j. Biol. Physics* 23: 171-179, 1997
28. Portet G. S. ,Tuszyński J. A, Hogue C., Dixon J. M. - **Elastic vibrations in seamless microtubules** . *European Biophysics Journal*(2004).
29. Ramon C; Powell MR - **Modification of Cardiac Contraction Rate by Pulsed Magnetic Fields** - *Preliminary Report. Bioelectromagnetics; 13 (4) p303-311* 1992
30. Sakmann B, Neher E - **Patch clamp techniques for studying ionic channels in excitable membranes**. *Annu. Rev. Physiol.* 46: 455-72 (1984).
31. Sirenko M, Strosio M, Kim K - **Elastic vibrations of microtubules in a fluid**. *Phys. Rev. E* 53, 1003–1010 (1996)
32. Stevenson AP & Tobey RA - **Potassium ion influx measurements on cultured Chinese hamster cells exposed to 60-Hz electromagnetic fields** *BioElectroMagn.* 6 1985 189
33. Wikswo JP, Barach JP, Freeman JA. - **Magnetic field of a nerve impulse: first Measurements**. *Science* 1980 Apr 4; 53-55