

Campi elettromagnetici Virus e batteri

Massimo Scalia, Massimo Sperini, Francesca Pulcini, Agata Fantauzzi, Lorenzo Uhl, Albina Pisani, Mauro Santilli

CIRPS (Interuniversity Research Centre for Sustainable Development), Sapienza University of Rome (<http://www.cirps.it/sez-bem/>)

1. Primi studi sull'interazione tra campi elettromagnetici (CEM) con batteri e virus

Alla fine dell'Ottocento nella medicina si iniziano a sperimentare gli effetti terapeutici delle correnti di d'Arsonval, successivamente indicate come radiofrequenze.

Nel 1893 Jacques Arsène d'Arsonval (1851-1940), servendosi della bobina inventata da Nikola Tesla (1856-1943), generando tensioni elevate di alta frequenza e debole corrente [1], assieme a M. Charrin (1857-1907), scoprì l'effetto battericida delle correnti di alta frequenza: per uccidere il *Bacillum Pyocyaneous* era sufficiente esporlo per la durata di 30 minuti a correnti di frequenza $\nu = 200$ kHz ($\lambda = 1.500$ m).

Nel 1893 d'Arsonval affermava: "... Per studiare l'azione di queste correnti sulle cellule viventi ho impiegato il lievito di birra ed il bacillo piociano, grazie alla collaborazione di Charrin. Le correnti di alta frequenza attenuano nettamente il bacillo piociano in qualche minuto. La funzione cromogenica è soppressa quasi subito. Se l'esperienza dura 30 minuti, si arriva ad uccidere il bacillo. Se si inietta questo bacillo nei tessuti di un animale vivente si perviene ad attenuarlo sul posto, mediante correnti che l'animale non risente in alcun modo..." [2].

L'animale inoculato non risentiva in alcun modo delle correnti ad alta frequenza che lo attraversavano; i germi, diversamente, subivano un effetto selettivo di attenuazione.

D'Arsonval eseguì numerose esperienze sull'attenuazione dell'azione della tossina difterica e del veleno di cobra e di vipera. Per eliminare il dubbio che a determinare gli effetti osservati fosse il calore, d'Arsonval raffreddava e controllava la temperatura del terreno di coltura per assicurarsi che non aumentasse sensibilmente.

Queste prime esperienze convinsero d'Arsonval che gli effetti delle correnti di alta frequenza non erano legati solamente al calore prodotto nei sistemi biologici e che andavano presi in considerazione l'esistenza di **effetti specifici**, che oggi definiremmo **non termici**, dei campi.

Dopo queste prime interessanti esperienze, solo nel 1970, nella rassegna di Aleksandr Samuilovich Presman [3], troviamo esposte ricerche riguardanti batteri e virus. Presman riporta studi effettuati negli anni 1944-1946, i quali indicano effetti battericidi non termici. Esposizioni della durata di 5-10 s, con campi della frequenza di 20 MHz e intensità compresa nell'intervallo da 205 a 480 V/cm erano sufficienti a uccidere batteri di varia natura. In una ricerca del 1951, il virus del sarcoma dei polli era completamente inattivato con un campo di frequenza a 3 GHz.

In una rassegna del 1975 [4], Stanislaw Szmigielski (n.1939) e altri [5], nei loro esperimenti evidenziano come un campo a microonde di 3 GHz:

- riduce la moltiplicazione del virus della parainfluenza 3 in cellule infettate, quando l'irradiazione ha una densità di potenza di 20 mW/cm² (274,6 V/m);
- stimola la proliferazione del virus se la densità di potenza è di 5 mW/cm² (137 V/m);
- la durata dell'esposizione è di 24 h.

Nella loro rassegna del 1977, A. R. Shepard e M. Eisembud [6] riportano una ricerca del 1970 nella quale l'esposizione a campi magnetici ed elettrici di bassa frequenza produce

mutazioni nel batterio *Escherichia coli*. Le mutazioni genetiche si avevano quando le colture del batterio erano esposte a un campo magnetico o elettrico della frequenza di 45 o 75 Hz, le intensità erano rispettivamente di 1 o 2 G, oppure 10 o 20 V/m.

Aleksandr P. Dubrov (n.1931), nella sua rassegna del 1978, [7], riporta numerosi studi che indicano una correlazione tra variazione dei parametri del campo magnetico terrestre e dinamica dei processi infettivi di batteri e virus (tasso di riproduzione, patogenicità, mutazioni ed altro ancora).

Questa breve sintesi evidenzia che nel secolo scorso le ricerche riguardanti l'interazione dei CEM con batteri e funghi sono poche. Gli esperimenti più interessanti sono quelli di d'Arsonval con CEM di alta frequenza e quelli con campi di 45 e 75 Hz (bassa frequenza). Questi studi escludono gli effetti termici e indicano possibili risposte di risonanza dei CEM incidenti con ioni e dipoli costituenti le strutture biologiche di batteri e virus.

2. Risonanza tra CEM e strutture biologiche

Nella seconda metà del secolo scorso i ricercatori che studiavano l'interazione tra campi elettromagnetici (CEM) e sistemi biologici avevano osservato alcuni effetti particolari. Questi effetti erano in generale causati da campi di bassa intensità e presentavano le seguenti caratteristiche:

- finestre in frequenza ($\Delta\nu$);
- finestre in ampiezza (ΔI);
- finestre nel tempo (Δt);
- effetti cumulativi dipendenti dal tempo (t) di esposizione.

Alcuni studiosi del bioelettromagnetismo ipotizzarono l'esistenza di risonanze elettriche nei sistemi biologici con i possibili seguenti siti d'azione:

- nelle membrane cellulari (pompa sodio-potassio);
- fenomeni elettrochimici associati alle comunicazioni intracellulari;
- scambi ionici tra ambiente extra ed intracellulare.

La teoria della risonanza è stata sviluppata, su differenti basi fisico-chimiche, da diversi autori; si ricordano il modello della *Ion Cyclotron Resonance* (ICR), *Ion Parametric Resonance* (IPR), ed altri ancora.

La verifica sperimentale della risonanza nell'interazione tra campi elettromagnetici ELF (*Extremely Low Frequency*) o a RF (*Radio Frequency*) e sistemi viventi è complicata, a causa delle caratteristiche dissipative del materiale biologico e alla difficoltà di individuare il fenomeno con le tecniche strumentali a disposizione della biologia.

Nonostante le suddette difficoltà il fenomeno della risonanza elettrica è stato impiegato con successo in medicina nel 2015. CEM di 200 kHz (la frequenza usata da d'Arsonval), e intensità di 2,25 V/cm, sono stati usati nella cura del glioblastoma (GB) e del glioblastoma multiforme (GBM) [8]; un tumore cerebrale molto aggressivo. La sopravvivenza media dei pazienti affetti da questo tipo di tumore è di 15 mesi.

In questo trattamento dei tumori con i CEM, indicato nella letteratura scientifica come TTF (acronimo di *Tumor Treating Fields*), l'effetto è non termico (non c'è riscaldamento del tessuto cerebrale) e selettivo, in quanto agisce solo sulle cellule cancerose lasciando intatte quelle sane. Sulle cellule cancerose si osserva:

- arresto della proliferazione;
- distruzione nel momento della divisione cellulare.

L'azione sembra selettiva sui microtubuli e in particolare sul dipolo elettrico associato alla tubulina. Gli effetti si manifestano quando il campo esterno è applicato per 24 h e dopo 3-6 giorni di azione si ha un notevole rallentamento della crescita delle cellule cancerose e una loro massiccia distruzione. In quattro mesi di trattamento si osserva la guarigione del paziente.

3. Risonanza tra CEM e strutture biologiche: tumori, funghi, batteri e virus

Fadel Mohamed Ali Aga, un biofisico del Dipartimento di Biofisica, della facoltà di Scienze dell'Università del Cairo, insieme ad altri ricercatori, ha applicato diverse tipologie di CEM per inibire la crescita di: cellule cancerose nei topi (2002); funghi (2009); batteri vari (2012-2017) e virus (2014-2019).

Fadel ha elaborato il modello della *Metabolic Biomagnetic Resonance* (MBMR). Questa teoria ipotizza che durante l'attività metabolica le cellule emettono CEM di debole intensità e di bassa frequenza. Se alla cellula infettata da microorganismi o virus viene applicato un debole campo esterno, della stessa frequenza di quello generato durante l'attività metabolica, attraverso il fenomeno della risonanza elettrica, con uno stimolo esogeno, è possibile controllare e inibire l'attività dell'agente patogeno.

I segnali bioelettrici generati nel corso dell'attività metabolica delle cellule sono di qualche decina di hertz, pertanto, il campo elettromagnetico esterno per poter interferire deve avere la stessa frequenza di tale segnale.

Ricerche con cellule cancerose

Un CEM di frequenza estremamente bassa (Extremely Low Frequency) – EMF-ELF – nello specifico 0,5 e 5 Hz, può inibire la crescita dei tumori nel topo. C'è un problema! L'impedenza Z del tessuto è data da:

$$Z = \frac{1}{2\pi f C}$$

In cui C è la capacità del tessuto ed f la frequenza del segnale applicato. Dalla formula si vede che $Z \rightarrow \infty$ per $f \rightarrow 0$. Applicando sulla cute tensioni a queste frequenze l'impedenza di questa impedisce al segnale di arrivare nei tessuti profondi.

Per risolvere questo problema Fadel M. Ali e il suo gruppo pensarono di applicare due tensioni di alta frequenza ortogonali fra di loro ma con le frequenze leggermente diverse, f_1 ed f_2 ; in questo modo per l'effetto di interferenza (battimenti), la frequenza che si ottiene è la differenza tra le due frequenze ($f_1 - f_2$). L'alta frequenza permette di raggiungere le cellule tumorali bersaglio all'interno del topo. Tenendo conto della superficie degli elettrodi, viene applicato alla superficie della cute un CEM con frequenza ($f_1 - f_2 = 1$ MHz) di intensità di 10 kV/m.

Con questa tecnica sperimentale è stato osservato che i topi trattati con le tensioni di 5 Hz evidenziavano una notevole riduzione della massa tumorale rispetto ai controlli non trattati. Nessuna differenza con 0.5 Hz [9]. Nel 2014 lo studio viene ripetuto con gli stessi risultati positivi [10]. In una conferenza svoltasi a Milano nel 2018, Fadel M. Ali ribadisce la validità della tecnica dell'interferenza elettromagnetica [11].

Nel 2011 Fadel M. Ali prova a sostituire il campo elettrico con uno magnetico di 2 G, 4,5 Hz, ma non ottiene risultati significativi [12]. Il campo magnetico impiegato non possiamo considerarlo debole $1\text{G} = 1 \times 10^{-4}\text{ T} = 100\ \mu\text{T}$; $1\text{T} = 10^4\text{ G}$

Ricerche sui funghi

I funghi che infettano le piantagioni hanno conseguenze economiche e quindi rappresentano un serio problema per l'agricoltura; per risolverlo si impiegano i fungicidi (anticrittogamici). Questi ultimi possono avere a loro volta effetti sullo stato di salute delle persone che nella loro dieta assumono verdure contaminate dagli anticrittogamici. L'impiego delle radiazioni ionizzanti per eliminare i funghi può essere applicato solo a limitate quantità di verdure e non direttamente nei campi.

Nella ricerca di Fadel M. Ali e del suo gruppo, una capsula di Petri (8 cm diametro) contenente una coltura di funghi (*Sclerotium Cepivorum*) estratti da radici di cipolla infettate, viene inserita in un condensatore circolare a piastre parallele (dello stesso diametro della Capsula di Petri).

Nell'esperimento di Fadel M. Ali e del suo gruppo al condensatore viene applicata una tensione sinusoidale di frequenza 10 MHz e tensione picco-picco 20V (onda portante). La modulazione è rappresentata da un'onda quadra di ampiezza $\pm 2\text{V}$ e frequenza di 20 Hz.

La scelta della frequenza di 20 Hz per l'onda quadra è stata determinata esponendo per 2 h la coltura del fungo a onde modulate di varia frequenza. I parametri esaminati erano: tasso di crescita, numero di sclerozi (agglomerati) presenti nella capsula di Petri, analisi del DNA del fungo, delle colture esposte e dei controlli. Il tasso di crescita non era influenzato, ma, alla frequenza di 20 Hz cessava la produzione di sclerozi. A questa frequenza furono osservati deterioramenti e/o alterazioni delle proprietà genetiche del DNA del fungo, responsabili della produzione dello sclerozio. Fadel M. Ali considera 20 Hz una risonanza biologica del fungo [13].

Il Marciume bruno della patata (*Potato Brown Rot*) o avvizzimento batterico delle solanacee è una malattia della patata causata dal batterio *Ralstonia solanacearum*. Per l'Egitto, esportatore di patate è un grande problema. La pericolosità della malattia, l'elevato numero di piante ospiti del batterio e l'assenza di efficaci mezzi di difesa chimici e biologici rendono l'avvizzimento batterico una avversità temibile, per la quale è necessario adottare una strategia di lotta a carattere preventivo. In Italia, dal 21 febbraio 2008 è in vigore il D.M. 30 ottobre 2007 che dispone la lotta contro la *Ralstonia solanacearum* in tutto il territorio nazionale. Tutte le partite di patate importate dall'Egitto, per l'elevato rischio di contaminazione da parte del batterio, sono sottoposte a rigorosi controlli fitosanitari.

Nella ricerca vengono utilizzate onde quadre variabili in frequenza da 0,1 a 50 Hz. Fadel M. Ali e il suo gruppo hanno scoperto che la crescita del batterio *Ralstonia solanacearum* viene inibita in vitro con due specifiche frequenze: 0,5 e 0,7 Hz. Questi due valori dipendono dalla varietà della patata. In sintesi, l'effetto ottimale si ottiene esponendo il batterio ad una frequenza dell'onda quadra di 1Hz per 60 min. L'intensità del campo varia nell'intervallo da 30 a 500 V/cm. Non viene indicata la frequenza e l'ampiezza dell'onda sinusoidale portante impiegata.

L'esperimento è poi stato proseguito direttamente sui campi coltivati. Fadel M. Ali non dice come è realizzato il sistema di irradiazione (probabilmente un trasmettitore AM). I risultati della ricerca indicano che il trattamento, per un'ora, sul terreno o sul tubero, con campi in modulazione di ampiezza, alla "frequenza di risonanza", causano la morte del 100% del

batterio *Ralstonia solanacearum*. Questa nuova tecnologia elettromagnetica, indicata dall'autore come *Electromagnetic Resonance Waves*, usata nei terreni coltivati a patate, è stata adottata dal Ministro Egiziano dell'Agricoltura come mezzo di controllo del marciume bruno della patata [14].

Ricerche sui batteri

Lo stafilococco aureo (*Staphylococcus aureus*) è un batterio, il quale deve il suo nome alla colorazione dorata delle colonie che forma; è responsabile di infezioni suppurative acute che possono essere dislocate in diversi distretti dell'organismo quali: pelle, apparato scheletrico, apparato respiratorio, apparato urinario, sistema nervoso centrale.

Fadel M. Ali e il suo gruppo hanno utilizzato onde quadre variabili in frequenza da 1 a 10 Hz. La portante era una forma d'onda sinusoidale di frequenza 30 MHz. Le cuvette, il piccolo recipiente (parallelepipedo) in vetro o plastica, in cui si trovavano le varie colture, sono state collocate tra due elettrodi posti sulla superficie esterna del recipiente. L'esposizione della coltura di stafilococco aureo con un'onda quadra della frequenza di 0,8 Hz determina l'inibizione della riproduzione del batterio.

La *Salmonella Typhi* è un batterio appartenente alla "famiglia" della *Salmonella enterica* ed è responsabile della febbre tifoide. Questo microrganismo può essere trasmesso per via oro-fecale, viene quindi espulso con le feci umane e può contaminare acque, cibi, o con il contatto diretto con una persona infetta, in caso di una scarsa igiene.

Fadel M. Ali e il suo gruppo nel 2012 provano a trattare il batterio della *Salmonella Typhi* e topi infettati con questo batterio con un campo magnetico di 0,5 T, 0,8 Hz. La crescita del batterio in coltura e nel topo è inibita [15]. Il campo magnetico impiegato è abbastanza intenso.

Successivamente Fadel M. Ali e il suo gruppo (2014) hanno sperimentato con segnale sinusoidale il trattamento del batterio della salmonella. Portante 10 MHz, 10 Vpp; modulante 0,8 Hz, 2V; intensità del campo 200 V/m, 75 min di esposizione. I risultati sono superiori rispetto all'uso del campo magnetico. Non si sono eseguite prove con topi infettati [16].

Nel 2017, effettua una sperimentazione all'*Almaza Military Hospital* del Cairo. Usando elettrodi distanziati tra di loro di 150 cm, applica a questo condensatore gigante, un'onda quadra che ha la frequenza di risonanza dei batteri. Nel condensatore vengono posti pazienti con infezioni batteriche della cute. L'intensità del campo alla cute è di 2 V/m [17]. (Abstract)

Nel 2018 Fadel M. Ali e il suo gruppo trattano il batterio *Proteus Mirabilis*, responsabile delle infezioni del tratto urinario con un campo magnetico di 50 mG, 0,6 Hz. [Campo non debole!] La crescita del batterio è inibita. Il solenoide usato è alto 16 cm e ha un diametro di 11 cm [18].

Nel 2019, Fadel M. Ali e il suo gruppo trattano con successo, direttamente per mezzo di un'onda quadra di 0,6 Hz il *Mycobacterium della Tuberculosis*. L'intensità del campo è di 400 V/m, la durata dell'esposizione 45 min [19].

Ricerche sui virus

La febbre della Rift Valley (*Rift Valley Fever*) – RVF – è una malattia infettiva dei grandi erbivori come i bovini, le pecore, le capre, i cervi o le antilopi, in generale dei ruminanti, presente in Africa, in particolare nell'area della Rift Valley e nella penisola arabica. La Rift Valley oppure, "fossa tettonica" o anche Grande fossa tettonica nei testi in italiano, è una

vasta formazione geografica e geologica che si estende per quasi 6000 km in direzione nord-sud, dal sud-ovest dell'Asia nell'attuale Siria all'est dell'Africa in Mozambico. La RVF è un'importante zoonosi, ovvero una malattia infettiva che può essere trasmessa dagli animali all'uomo, direttamente (contatto con la pelle, peli, uova, sangue o secrezioni) o indirettamente (tramite altri organismi vettori o ingestione di alimenti infetti). Numerose specie di zanzare sono vettori di RVFV ed assumono il virus durante il pasto di sangue su un animale infetto; in questo modo trasmettono il virus da animale ad animale e da animale a uomo. Un'altra possibile via di infezione è il contatto diretto e prolungato con sangue ed organi interni di animali infetti, rischio che riguarda soprattutto allevatori, veterinari ed addetti alla macellazione. Le maggiori epidemie di febbre delle Rift Valley seguono a periodi di forti piogge, che incrementano le popolazioni di zanzare e quindi la loro capacità di trasmettere il virus.

Nel 1977, in Egitto un'epidemia di febbre della Rift Valley fece registrare 200.000 casi con 60 decessi. Nell'uomo la malattia si presenta nella maggior parte dei casi come una sindrome simile all'influenza, con febbre e dolori muscolari, che guarisce senza necessità di ricovero; nei casi più gravi invece si ha coinvolgimento epatico con ittero, trombocitopenia, tendenza al sanguinamento ed emorragia della retina con conseguente perdita di capacità visiva. In media il tasso di mortalità nell'uomo è intorno all'1%.

Nella ricerca Fadel M. Ali e il suo gruppo si è servito di:

- una coltura del ceppo del RVFV;
- una coltura di *Vero cells*.

Gli esperimenti *in vitro* sono realizzati su colture di cellule "immortali", le quali contengono il virus, in genere attenuato, che servono per effettuare esperimenti di laboratorio. Fadel M. Ali e il suo gruppo hanno usato la RVFV *pan tropic Menya Strain* (Menya/Sheep/258). Nel linguaggio dei biologi si traduce come Ceppo di semi di RVFV varietà Menya Pantropic. Di solito nei testi che parlano di esperimenti con ceppi virali si trova scritto *The attenuated RVFV MP-12 strain*. In Egitto, il fornitore dei ceppi virali è la *Applied Research Sector, VACSERA*. Negli Stati Uniti i ceppi virali sono forniti dall'*United States Army Medical Research Institute for Infectious Diseases*.

Le *Vero cells* sono una varietà di cellule "immortali" utilizzate nelle colture cellulari. Questo ceppo è stato ricavato dalle cellule epiteliali renali estratte dal *Cercopiteco verde*, un primate della famiglia Cercopithecidae. Questa scimmia ha una lunghezza del corpo tra 40 e 60 cm, la coda può arrivare a 70 cm e il peso varia tra 4 e 6 kg. Le *Vero cells* furono sviluppate il 27 marzo 1962 da Yasumura e Kawakita all'Università di Chiba a Chiba, in Giappone. Il nome *Vero* deriva dall'abbreviazione di *verda reno*, che in esperanto significa rene verde (*vero* in esperanto significa verità).

Le *Vero cells* sono ampiamente utilizzate in biologia, malattie come la tubercolosi o il vaiolo sono state debellate grazie agli studi *in vivo* su queste cellule; attualmente si usano per le ricerche sull'AIDS e l'ipertensione. In generale, le *Vero cells* vengono utilizzate per vari scopi, tra cui:

- come cellule ospiti per i virus in crescita;
- per misurare la replicazione in presenza o assenza di un farmaco di ricerca;
- nei test per la presenza del virus della rabbia;
- per la crescita di stock virali a fini di ricerca;
- come cellule ospiti per i parassiti eucariotici, specialmente dei tripanosomatidi.

Fadel M. Ali e il suo gruppo hanno sperimentato con l'onda sinusoidale modulata con onde quadre variabili in frequenza da 1 a 10 Hz, profondità di modulazione (ampiezza della modulante) $V = \pm 1$ V. La portante era una forma d'onda sinusoidale il cui valore $V_{pp} = 10$ V e frequenza 10 MHz. Le cuvette, il piccolo recipiente (parallelepipedo) in vetro o plastica, in cui si trovavano le varie colture, sono state collocate tra due elettrodi posti sulla superficie esterna del recipiente.

La sospensione del RVFV (campioni virali) e delle *Vero cells* sono state esposte alle frequenze di modulazione nell'intervallo da 1 a 10 Hz, per la durata di 30 m e per ciascuna frequenza. Ogni prova è stata ripetuta tre volte e dopo l'esposizione, con un microscopio sono state contate le cellule morte e quelle vive. Questa procedura serviva per trovare la frequenza di "risonanza". Il confronto con i campioni non trattati indicava che non c'erano differenze significative tra i due gruppi. Il campo elettrico applicato era di 1 V/cm.

Le *Vero Cells* infettate con il RVFV mostravano un significativo aumento del tasso di crescita quando la frequenza dell'onda quadra era di 4,4 Hz; diversamente si aveva l'inibizione della crescita per la frequenza di 5,2 Hz. Fadel M. Ali afferma che 4,4 e 5,2 Hz sono rispettivamente la frequenza di risonanza per la stimolazione e l'inibizione del tasso di crescita delle cellule infettate dal virus. Ovviamente la differenza è rispetto alla coltura di controllo [20].

Nella tabella seguente sono riassunti i risultati degli esperimenti *in vivo* con 48 topi divisi in sei gruppi:

GRUPPO	INFETTATI CON RVFV	ESPOSTI 30 m/day *	Durata media della vita in giorni **
A1	SI	NO	10
A2	NO	4,4 Hz	16
A3	NO	5,2 Hz	19
A4	SI	4,4 Hz	12
A5	SI	5,2 Hz	25
A6	NO	NO	35

* Per 4 giorni; ** il calcolo inizia dal giorno in cui i gruppi A1, A4 e A5 sono stati infettati

Nell'analisi dei risultati si deve tenere presente che in un animale, a differenza delle colture cellulari il campo applicato viene fortemente attenuato dall'impedenza associata ai tessuti, in particolare la cute.

Anche colture cellulari Huh-7 and HepG-2 infettate con il virus dell'epatite C (HCV), mostravano una significativa diminuzione della crescita quando esposte alla frequenza di modulazione di 5,2 Hz per 30 m/giorno. L'azione antivirale iniziava quattro giorni dopo l'esposizione [21].

Gli studi effettuati in Egitto, oltre ad escludere gli effetti termici, indicano possibili risposte di risonanza in colture di cellule infettate con batteri e virus. I campi elettrici incidenti usati per generare il campo sono nell'intervallo di frequenza 1-10 Hz. Questo fatto si presta ad essere studiato con l'apparato elettronico APEC 300.

4. Studio della risposta in frequenza a colture cellulari infettate con batteri e virus

APEC 300 è un apparecchio elettronico, il quale realizza sui materiali biologici e no, due tipi di misura:

- piccolissime differenze di potenziale;
- impedenza a basse frequenze.

In generale, differentemente dalla rilevazione del potenziale, la misurazione dell'impedenza viene eseguita applicando una stimolazione elettrica.

Inoltre, APEC-300 è un dispositivo elettronico in grado di sollecitare materiali biologici e no, con forme d'onda in corrente e tensione.

In particolare, nei sistemi biologici, nell'ambito dell'elettrofisiologia, il potenziale cutaneo è l'espressione dell'attività elettrica dell'organo cutaneo (epidermide + derma + sottocutaneo) e la sua misura può essere effettuata direttamente con APEC-300, registrando attraverso degli elettrodi i segnali di questa attività secondo le stesse modalità con cui si procede con l'elettrocardiogramma (ECG) e l'elettroencefalogramma (EEG). L'impedenza cutanea caratterizza le proprietà elettriche dell'organo cutaneo (resistenza e capacità) e la misura viene eseguita con particolari elettrodi a cui è applicata una tensione o corrente elettrica.

Nella configurazione potenziale si può misurare a) la differenza di potenziale (d.d.p.) tra due aree di un corpo (solido o liquido); b) tra due aree di un corpo riferite a massa (lo zero del potenziale, la terra); c) il potenziale di un'area del corpo. In particolare, APEC-300 è in grado di misurare i segnali bioelettrici rilevati non solo sulla cute ma sulla superficie di un sistema biologico non umano (piante, colture cellulari, ecc.).

In conclusione, APEC-300 è stato progettato, realizzato e calibrato in modo da poter eseguire le misure di d.d.p. e di impedenza non solo su distretti del corpo umano ma anche su acqua e soluzioni acquose, colture cellulari, corpi solidi inorganici.

La frequenza della misura si estende nell'intervallo da 0 a 30 Hz e il minimo valore di tensione rivelabile è di 100 nV ($1\text{nV} = 1 \text{ nanoVolt} = 10^{-9} \text{ Volt}$, cioè un miliardesimo di Volt). Il tempo di durata della singola registrazione può essere regolato fino ad un massimo di 300 s e viene memorizzato.

Per ogni misura del livello di potenziale cutaneo, APEC 300 dispone di un software interno in grado di produrre la corrispondente analisi in frequenza del segnale emesso, evidenziando quindi le componenti di Fourier ai diversi ordini. Questa particolare prestazione consente di associare a ogni misura una sorta di impronta elettromagnetica, tipica del materiale sottoposto a esame, di una soluzione acquosa, del distretto corporeo, dell'organismo biologico – animale, vegetale – o della coltura cellulare sottoposta alla misura.

Il generatore di funzioni di APEC 300 può fornire a scelta (è visualizzato sullo schermo) le seguenti forme d'onda: **continua** (*direct current*), **sinusoidale** (*alternating wave form*), **triangolare** – *peaked wave* - (positiva, negativa, positiva + negativa), **quadra** – *square wave* - (positiva, negativa, positiva + negativa), **onda cinese** (*chinese spike*). Con l'esclusione della tensione *continua*, per tutte le altre forme d'onda la frequenza può essere selezionata da 1 Hz a 100 Hz a passi di 1 Hz. La forma d'onda può essere applicata sia in tensione che in corrente. Tensione e corrente possono essere variati fino ad un valore massimo, rispettivamente, di 5 V e 10 μA .

Una ricerca su colture cellulari infettate con batteri e virus effettuata con APEC 300 permetterebbe:

- di misurare il potenziale elettrico delle colture infettate da trattare e non (controllo);
- di rilevare lo spettro in frequenza nell'intervallo da 0 a 30 Hz delle colture infettate da trattare e non (controllo);
- di esporre le colture infettate a campi elettrici di varia forma nell'intervallo di frequenza da 1 a 100 Hz e intensità da 1 a 5 V/cm;
- di misurare il potenziale elettrico delle colture infettate dopo l'esposizione;

- di rilevare lo spettro in frequenza nell'intervallo da 0 a 32 Hz delle colture infettate dopo l'esposizione.

Bibliografia

- [1] Tesla N.: *Experiments with alternate currents of high potential and high frequency*; delivered before the Royal Institution of Electrical Engineers, London, February 3, 1892
- [2] D'Arsonval J. A. e Charrin M.: *Electricité et microbes. Action des courants induits de haute fréquence sur le bacille pyocyanique*; Archives d'Electricite Medicale, vol.1, pag. 253-254, 1893
- [3] Presman A. S.: *Electromagnetic field and life*; Plenum Press, N.Y., 1970
- [4] *Fundamental and applied aspects of nonionizing radiations*; S. M. Michaelson, M. W. Miller, R. Magin ed E. L. Carstensen (ed.); Plenum Press, N.Y., 1970
- [5] Szmigielski S., Luczack M. e Wiranowska M.: *Effect of microwaves on cell function and virus replication in cell cultures irradiated in vitro*; pag. 263-273; Fundamental and applied aspects of nonionizing radiations; S. M. Michaelson, M. W. Miller, R. Magin ed E. L. Carstensen (ed.); Plenum Press, N.Y., 1970
- [6] Shepard A. R. e Eisembud M.: *Biological effects of electric and magnetic fields of extremely low frequency*; New York University Press, N.Y., 1977
- [7] Dubrov A. P.: *The geomagnetic field and life. Geomagnetobiology*; Plenum Press, N.Y., 1978
- [8] Giladi M.: *Tumor Treating Fields (TTFields) induced cancer cell death may be immunogenic resulting in enhanced antitumor efficacy when combined with immunomodulating therapy*; Head of Preclinical Studies, Novocure Ltd, 2016
- [9] Ghannam M. M., El-Gebaly R. H., Gaber M. H. and Ali F. M.: *Inhibition of Ehrlich tumor growth in mice by electric interference therapy (in vivo studies)*; Electromagnetic Biology and Medicine Vol. 21, No. 3, pp. 255–268, 2002
- [10] Ali F. M.: *Control and treatment of Ehrlich tumors implanted in mice by extremely low frequency electromagnetic waves at resonance frequency*; 5th World Congress on Bioavailability and Bioequivalence, Pharmaceutical R&D Summit, September 29-October 01, DoubleTree by Hilton Baltimore-BWI Airport, USA, 2014
- [11] Ali F. M.: *Biophysical Concept for the new understanding of the interaction mechanism of ELF-EM pulses at Resonance frequencies with alive systems for medical applications and case studies*; NAMED Natural Medicine, 5th International Symposium Biophysical aspects of complexity in health and disease, Milan, October 12th and 13th, 2018
- [12] Ali F. M., El Gebaly R.H., El Hag M. A. and Rohaim A. M.: *Solid Ehrlich tumor growth treatment by magnetic waves*; Technol Health Care. 2011;19(6):455-67
- [13] Ali F. M., Ahmed M.A. and El Hag M. A.: *Control of Sclerotium Cepivorum (Allium White Rot) Activities by Electromagnetic Waves at Resonance Frequency*: Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3(3): 1994-2000, 2009
- [14] Ali F. M., Balabel N. M., Elmalki Kh. Gh., Elmaghraby A. and Amin A.: *Evaluation of Electromagnetic Resonance Designed Pulses for Controlling Potato Brown Rot Caused by*

Ralstonia solanacearum; Egyptian Academic Journal of Biological Sciences A. Entomology, 10(7): 263–276 (2017)

[15] Ali F. M., Gawish A. M., Osman M. B. S., Abdelbacki A. M. and El- Sharkawy A. H.: *Control of salmonella activity in rats by pulsed ELF magnetic field (in vivo study)*; Journal of International Dental and Medical Research, vol.5, 2, pag. 129-135, 2012

[16] Motaweh H. A., Ali F. M., El-Khattib A. M., Sabry S. A., and Abo-Neima S. E.: *Control of Staphylococcus aureus activity in rats using electromagnetic signals at resonance signals “in vivo study”*; European Scientific Journal, vol.10,12, pag. 462-472, April 2014

[17] Ali F. M.: *A new non-invasive technique for the treatment of microbial infection diseases by ELF-EM pulses at resonance frequencies: case study*; 12th Global Dermatologists Congress & 2nd Euro-Global Congress on Melanoma and Skin Diseases, August 31-September 01, 2017, London, UK. (Abstract)

[18] Ali F. M., El-Gebaly R. H., Eldourghamy A. S. and Mahmoud H. M.: *Influence of Extremely Low frequency Magnetic Field on Proteus mirabilis bacteria*; Research Journal of Applied Biotechnology (RJAB), pag. 51-65, 2019

[19] Abdelbacki A. M., Ali F. M., El-Aziz A. A., El-Hady A., Essam A., Nasr A, El Sayed S.H., Youssef D. S: *Control of Mycobacterium tuberculosis and activity by ELF-EM pulses at Resonance Frequency*; Medical Science, 23(99), September - October 2019

[20] Ali F. M., Moustafa H., Abbas N., Moustafa H., Hamdi H.: *Control the activity of Rift Valley Fever Virus by Electric Field waves at resonance frequency (In vivo & In vitro) studies*; IOSR Journal of Applied Physics, Volume 6, Issue 1 Ver. III, PP 07-17, Feb. 2014

[21] Ali F. M., Ahmed H. M., Elmaghraby A., and Amin A.: *Prevention, control, inhibition, and therapy of HCV GT 4A virus infection in Egypt*; World Journal of Pharmaceutical Research, Volume 8, Issue 10, 184-202, 2019