

AUDIOLOGIA - NEWSLETTER

Notiziario ufficiale della Società Italiana di Audiologia

Direttore: Prof. Antonio Quaranta

Redazione: prof. Alessandro Martini, dott. Domenico Leonardo Grasso

Volume 7

Numero 3-4 - Anno 2003

Periodico trimestrale - Aut. Trib. di Bari n. 1330 del 18/7/1997

SOCIETÀ ITALIANA DI AUDIOLOGIA

Consiglio Direttivo

Presidente: Prof. Giancarlo Cianfrone

Vice Presidente: Prof. Ettore Cassandro

Past president: Prof. Agostino Serra

Segretario-Tesoriere: Prof. Alessandro Martini

Consiglieri:

Dr.ssa Deborah Ballantyne

Sig.ra Francesca Bellomo

Prof. Antonio Cesarani

Sig.ra Biancamaria Martina

Prof. Antonio Pirodda

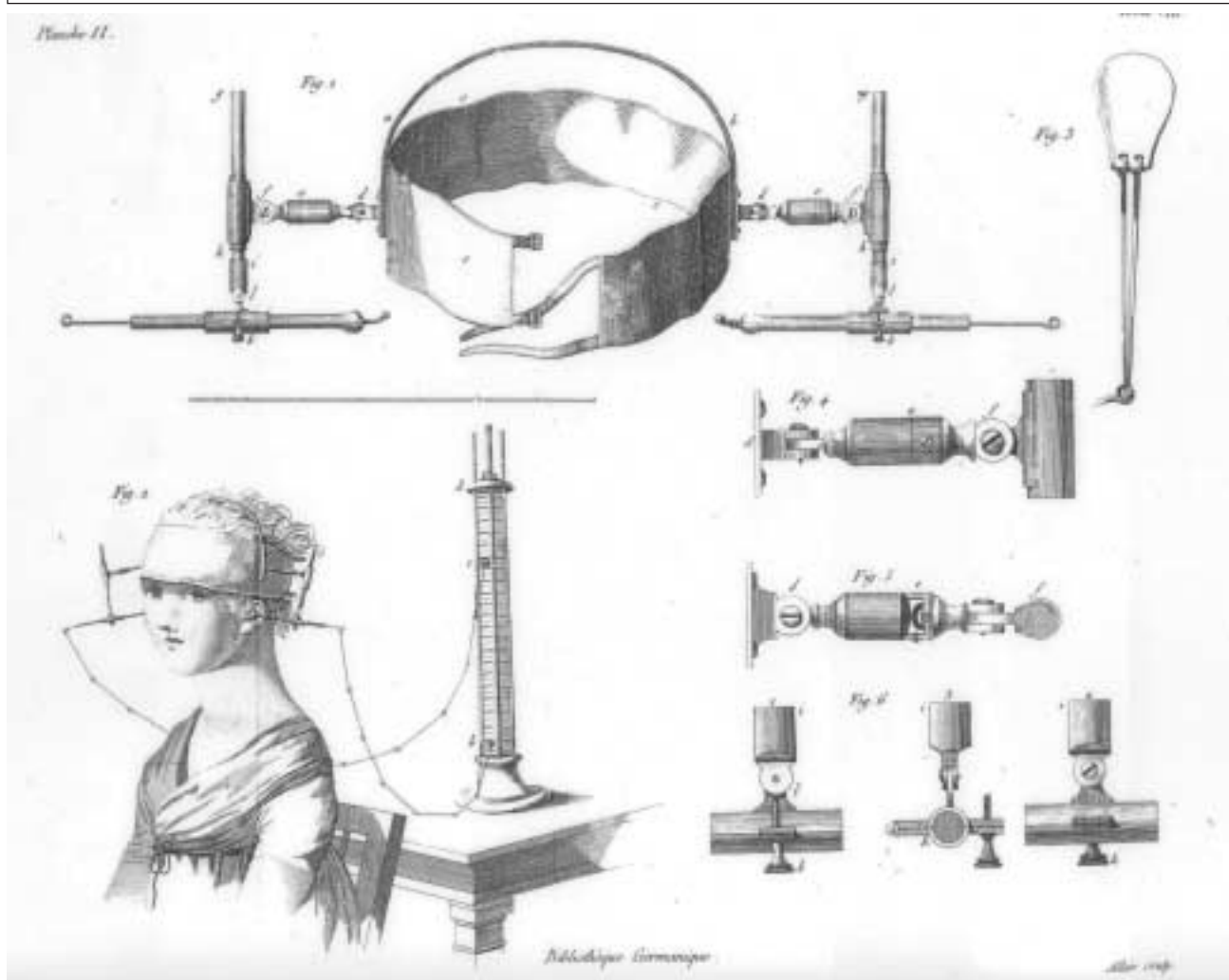
Prof. Oskar Schindler

Dr. Maurizio Vancheri



In questo numero:

2. Norme per la preparazione dei manoscritti
3. *Effetti dei campi elettromagnetici sull'udito valutati mediante ABR: risultati preliminari.* F. MARTINES, S. FERRARA, E. MARTINES, G. TINÈ, P. FERRARA
15. *Applicazione delle distribuzioni tempo-frequenza Cone-Shaped, esponenziale e dello spettrogramma di ai segnali TEOAE di 8 pazienti con malattia autoimmune.* GRISANTI GUIDO M., E. MARTINES, C. PARLAPIANO, G. RODONÒ
22. *Il silenzio e la voce: suggestioni magno-greche di una filosofa di Crotona.* L. FARANDA
26. Recensione. A. MARTINI



NORME PER LA PREPARAZIONE DEI MANOSCRITTI

AUDIOLOGIA NEWSLETTER, trimestrale, è l'organo ufficiale della Società Italiana di Audiologia: La rivista pubblica lavori, su invito ed originali, di interesse audiologico; inoltre pubblica editoriali, recensioni, notizie sindacali, atti ufficiali della Società, ed ogni altra comunicazione di interesse per i soci. I lavori presentati per pubblicazione non devono essere sottoposti contemporaneamente ad altra rivista. Gli articoli pubblicati impegnano esclusivamente la responsabilità degli autori. La proprietà letteraria degli articoli è riservata alla rivista.

La pubblicazione dei lavori originali è subordinata ad una revisione redazionale. La proposta di correzioni o di ogni variazione sarà rinviata agli autori. I testi e le illustrazioni dei lavori non verranno restituiti e saranno distrutti alla fine di ogni anno.

I lavori originali sono pubblicati gratuitamente. Sono addebitati agli autori i costi della fotocomposizione di tabelle e figure. Gli estratti, se richiesti, sono addebitati secondo costi tipografici.

Testo: 3 copie scritte, circa 25 righe su una sola facciata, pagine numerate, e versione su dischetto (Word per Windows o formato Rich Text Format).

Estensione ideale del testo circa 6-8 pagine a stampa (circa 3000-4000 parole, più tabelle e figure, e bibliografia essenziale, non più di 20-25 voci). La bibliografia nel testo va citata come da esempi: (Smith e Brown, 1990) oppure (Smith et al., 1990) a seconda che gli autori siano due o più. Lungo i margini del testo potrà essere indicata (Fig.1...Tab I.. ecc.) la posizione approssimativa di figure e tabelle.

Sulla pag.1: titolo in italiano, cognome e nome degli autori, istituto/i di appartenenza degli autori, parole chiave (3-5, indirizzo e numero telefonico dell'autore cui recapitare bozze e comunicazioni).

Sulla pagina 2: Riassunto in italiano (150-200 parole) e Riassunto in inglese (150-200 parole), quest'ultimo preceduto dal titolo in inglese, cognome ed iniziali degli autori, istituto di appartenenza, e seguito da 3-5 "key words".

Bibliografia: riferita unicamente ai lavori citati nel testo; dovrà riportare, in ordine alfabetico: cognome ed iniziale degli Autori, titolo dell'articolo in lingua originale, titolo della rivista abbreviata secondo il "World Medical Periodical List", anno di pubblicazione, numero volume, prima ed ultima pagina. Esempi:

Articoli su riviste

Schuller DE, Parrish RT. Reconstruction of the larynx and trachea. Arch Otolaryngol Head Neck Surg,1988, 114, 278-286.

Capitoli su libri o pubblicazioni non periodiche

Hartmann WM. Temporal fluctuations and discrimination of spectrally dense signals by human listeners. In: "Auditory Processing of complex signals", Yost WA, Watson CS. eds., Hillsdale NJ publ.,1987, 222-250.

Illustrazioni: in bianco-nero, in tre copie, numerate progressivamente in numeri arabi, con riportato sul retro, a matita, cognome del primo autore, titolo del lavoro abbreviato, verso superiore della figura. Se sono necessarie figure a colori contattare la tipografia per le modalità di stampa.

Tabelle: numerate progressivamente con numeri romani.

Didascalie: devono essere chiare e necessarie alla comprensione di figure e tabelle (da evitare il rimando al testo) . Si ricorda che per figure già oggetto di pubblicazione, deve essere citata la fonte, accompagnata dal permesso scritto da parte dell'editore detentore del "copyright".

corrispondenza:

prof. ALESSANDRO MARTINI
AUDIOLOGIA
ARCISPEDALE S. ANNA
C.SO GIOVECCA, 203
44100 - FERRARA

ABBONAMENTI:

La rivista *Audiologia-Newsletter* è inviata gratuitamente ai soci in regola con il pagamento con la quota annuale. I non soci che desiderassero abbonarsi sono pregati di contattare la segreteria della S.I.A. (Prof. Alessandro Martini, Clinica ORL-Audiologia, Università di Ferrara, Corso Giovecca 203, 44100 Ferrara. Fax: 0532.236887, E-mail: mma@dns.unife.it).

EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI SULL'UDITO VALUTATI MEDIANTE ABR: RISULTATI PRELIMINARI

F. Martines*, S. Ferrara*, E. Martines**, G. Tinè***, P. Ferrara*

*Istituto di Clinica Otorinolaringoiatrica R, Università degli Studi di Palermo

** Sezione di Audiologia del Dipartimento di Biotecnologie Mediche e Medicina Legale, Università degli Studi di Palermo.

***Istituto di Studi sui Sistemi Intelligenti per l'Automazione del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

RIASSUNTO

L'uso sempre più massiccio della telefonia cellulare e la stretta vicinanza tra l'antenna emettitrice del campo elettromagnetico e la testa dell'utilizzatore ha fatto emergere l'esigenza di verificare come le specie viventi, ed in particolare l'uomo, reagiscono a una così rapida modifica dei valori dell'energia elettromagnetica presente nell'ambiente che li circonda e soprattutto se l'esposizione a determinati valori di campo elettromagnetico (CEM) possa costituire rischio per la salute.

In questo lavoro ci si è proposto di accertare, mediante la registrazione delle risposte uditive del tronco encefalico (ABR), se la comparsa di eventuali modificazioni a carico del sistema uditivo possano essere correlate ai campi elettromagnetici emessi da un telefono cellulare di tipo GSM.

Lo studio è stato effettuato su 43 soggetti volontari, suddivisi, al fine di avere un campione rappresentativo della popolazione di normoudenti fruitori del servizio di telefonia mobile tipo GSM, in 23 di sesso maschile e 20 di sesso femminile.

Per la valutazione della funzionalità del sistema uditivo sono stati presi in considerazione i seguenti parametri: sensazione soggettiva di variazione della temperatura a carico del padiglione auricolare esposto; rilevamento della temperatura corporea, in corrispondenza del padiglione auricolare, prima e dopo l'esposizione al campo elettromagnetico; risposte evocate uditive del tronco encefalico.

La ricerca ha evidenziato, in linea con le conoscenze attuali, che dopo un'esposizione a 12 minuti di CEM a 900 MHz, il valore medio dell'innalzamento della temperatura è stato di 0,22°C, inoltre la valutazione delle onde principali, di quelle cioè più facilmente valutabili perché meno soggette a variazioni, ha mostrato l'assenza di modifiche sia dopo 6 che dopo 12 minuti di esposizione a CEM.

La valutazione delle onde intermedie II e IV invece ha presentato sia dopo 6 che dopo 12 minuti di esposizione continua a CEM delle sostanziali variazioni che, per l'esiguo numero dei soggetti esaminati, non è stato possibile ascrivere con certezza ad effetti di tipo termico.

Introduzione

Tutte le specie viventi si sono evolute in milioni di anni immerse in campi elettromagnetici (CEM) naturali di origine prevalentemente solare e cosmica. Durante la seconda metà del XX secolo, però, con la graduale e notevole diffusione delle radiocomunicazioni, la quantità di energia elettromagnetica ambientale è andata via via aumentando fino a raggiungere, negli ultimi anni, un valore di sei ordini di grandezza maggiore rispetto a quello che era presente agli inizi del secolo^(5,6,11,13,14).

E' sorto, a questo punto, il problema di verificare come le specie viventi, ed in particolare l'uomo, reagiscono a una così rapida modifica dei valori dell'energia elettromagnetica presente nell'ambiente che li circonda e soprattutto se l'esposizione a determinati valori di CEM può costituire rischio per la salute.

E' ormai noto che i CEM producono sui sistemi biologici una grande varietà di effetti che ad oggi si possono dividere in due grandi categorie: i cosiddetti effetti termici, caratterizzati dalla trasformazione in calore di parte dell'energia associata a un'onda elettromagnetica (tabella I), e gli effetti non termici, che manifestandosi in termini di interazioni molecolari possono influenzare la struttura cellulare (aumento del flusso di ioni Ca^{2+} dalle membrane cellulari di cellule esposte a CEM; effetti a carico del nucleo cellulare quali rotture geniche e traslocazioni cromosomiche)^(4,9).

Un effetto biologico però non necessariamente costituisce un danno: perché questo si verifichi, occorre che l'effetto superi la capacità di compensazione di cui dispone l'organismo, che a sua volta dipende dalle condizioni ambientali.

Con il termine di "rischio" si intende la probabilità di subire un danno e le norme di sicurezza servono a proteggere dal *rischio di subire quel danno* che, nel nostro caso, consistono nel fissare dei livelli limite di esposizione a CEM che siano sufficientemente al di sotto dei livelli che provocano effetti biologici accertati (Tabella II).

- Inattivazione progressiva di alcune attività enzimatiche e modificazione della funzione di altre
- Aumento della letalità di alcune specie batteriche
- Variazione degli scambi ionici attraverso la membrana dei globuli rossi (uscita di K^+ ed entrata di Na^+)
- Stimolazione del sistema immune quando l'ipertermia è moderata ($>41^\circ C$)

Tabella 1: Effetti biologici di tipo termico

| |
|--|
| Occhio |
| Cataratta; accelerata opacizzazione del cristallino; opacità corneali; congiuntivite; lesioni retiniche; aumento della pressione endoculare |
| Cuore e Circolazione |
| Bradycardia; ipotensione; ipertensione; labilità pressoria; labilità del ritmo cardiaco; alterazione dei test funzionali; alterazioni ECG; allungamento del tratto P-Q e del complesso QRS; acrocianosi |
| Sangue |
| Linfocitosi assoluta; "labilità dei leucociti"; monocitosi; modificazioni delle proteine plasmatiche; riduzione dell'istaminemia |
| Varie |
| Iperattività tiroidea; aumentata iodio captazione; diminuzione della portata latte; diminuita risposta in 17-chetosteroidi dopo stimolazione con ACTH; oligo- e azoospermia; rush cutanei fugaci; iperidrosi; sudorazione notturna; caduta dei capelli; fragilità ungueale |
| Sistema Nervoso |
| Alterazioni EEG; onde lente e diminuita ampiezza delle onde α ; comparsa di onde θ e δ ; comparsa di "spikes"; diminuita risposta alla fotostimolazione; aumentata sensibilità al cardiomolo; vagotonia; tremori alle estremità, alle palpebre; innalzamento della soglia uditiva, visiva (notturna), tattile; dermatografismo rosso o bianco |
| Sintomi soggettivi |
| Cefalea; nausea, vertigini; insonnia; irritabilità; stancabilità, debolezza; diminuzione della libido; riduzione dell'attività sessuale; dolori toracici; senso di malessere; disturbi della memoria; riduzione della ideazione |
| Sindromi complesse |
| Sindrome "astenica" (debolezza, stancabilità, insonnia); sindrome "da microonde" (vagotonia, bradicardia, ipotensione) |

Tabella II: Manifestazioni morbose nell'uomo da esposizione a RF e MW

Particolare attenzione oggi viene posta ai possibili rischi derivanti dall'uso sempre più massiccio della telefonia cellulare visto che il suo utilizzo richiede la stretta vicinanza tra il generatore del CEM costituito dall'antenna e la testa dell'utente. Al fine allora di stabilire gli effetti di tipo non termico dei CEM e quindi la sicurezza delle comunicazioni senza fili si rende necessario valutare quantitativamente l'interazione elettromagnetica tra il telefono cellulare e la testa umana.

I sistemi di telecomunicazione cellulare comunemente utilizzati sono rappresentati dai sistemi TACS di tipo analogico che trasmettono con una frequenza portante compresa tra 800 e 900 MHz con modulazione di frequenza e dai sistemi GSM e DECT di tipo digitale che utilizzano una frequenza portante

compresa rispettivamente tra 880 e 915 MHz e tra 1880 e 1900 MHz con segnale modulante di tipo digitale.

L'unica conseguenza accertata dell'assorbimento di energia elettromagnetica dalla testa dell'utente di telefono cellulare è un aumento della temperatura locale dei tessuti talmente modesto da non comportare, anche nella condizione peggiore di esposizione, rischio alcuno di natura termica per le strutture dell'occhio, dell'orecchio e cerebrali, in quanto la deposizione di energia è largamente compensata dai processi fisiologici di termoregolazione.

Simulazioni su modelli anatomici della testa hanno dimostrato che il riscaldamento indotto da telefono cellulare a contatto con l'orecchio, dopo una conversazione della durata di 6-7 minuti, è al massimo di

0,18°C, valore non sufficiente per parlare di effetto neurotossico da telefono cellulare.

Sulla base delle conoscenze attuali, quindi, non sono stati accertati effetti dannosi immediati sulla salute conseguenti a fenomeni termici provocate dalle esposizioni ai telefoni cellulari^(1,15).

Tuttavia potrebbero insorgere danni a distanza ed allora nella eventualità di un effetto dannoso sui tumori cerebrali, coordinato dalla Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro, è attualmente in corso in 14 Nazioni, compresa l'Italia, uno studio caso-controllo (Progetto INTERPHONE) sui tumori cerebrali e della parotide in relazione all'uso del telefono cellulare^(2,10).

Quest'ultimo si propone di valutare se l'incidenza delle neoplasie nelle sedi anatomiche più vicine alla sorgente di emissione risulta in qualche modo influenzata dalla durata e frequenza d'uso del telefono cellulare ed dall'intensità di esposizione alle radiofrequenze utilizzate nella telefonia mobile.

Scopo della ricerca

In uno studio, condotto al fine di evidenziare i possibili effetti dovuti all'interazione tra i campi elettromagnetici emessi da un telefono cellulare di tipo TACS e il sistema uditivo mediante la registrazione delle otoemissioni acustiche evocate (transienti e prodotti di distorsione), sono state riscontrate delle variazioni interpretabili come la diretta conseguenza dell'assorbimento dell'energia elettromagnetica emessa dal telefono cellulare⁽¹²⁾.

Sulla base di queste considerazioni in questa ricerca ci si è proposto di accertare, mediante la registrazione delle risposte uditive del tronco encefalico (Auditory

Braimstem Responses = ABR), se la comparsa di tali modificazioni a carico del sistema uditivo possano essere correlate anche ai campi elettromagnetici emessi da un telefono cellulare di tipo GSM.

L'ABR, particolarmente in questa ricerca, data l'elevata riproducibilità valutabile sulla base della **Latenza** e dell'**Ampiezza**^(3,7,8), ci permette di evidenziare la presenza di alterazioni delle vie uditive centrali provocate dalle onde elettromagnetiche.

Per la valutazione della funzionalità del sistema uditivo sono stati presi in considerazione i seguenti parametri:

- sensazione soggettiva di variazione della temperatura a carico del padiglione auricolare esposto;
- rilevamento della temperatura corporea, in corrispondenza del padiglione auricolare, prima e dopo l'esposizione al campo elettromagnetico;
- risposte evocate uditive del tronco encefalico.

Materiali e Metodi

Lo studio è stato effettuato su 43 soggetti volontari, 23 di sesso maschile e 20 di sesso femminile, normoudenti, abituali fruitori del servizio di telefonia mobile di tipo GSM.

L'indagine è stata condotta presso l'Università degli Studi di Palermo dalla Sezione di Audiologia del Dipartimento di Biotecnologie Mediche e Medicina Legale e dalla Clinica Otorinolaringoiatria R in collaborazione con l'Istituto di Studi sui Sistemi Intelligenti per l'Automazione del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

I volontari sono stati selezionati da un campione originario di 50 soggetti 3 dei quali esclusi perché impossibilitati a sottoporsi al previsto follow-up e 4

| Test in condizioni di base | Acquisizione | Test in presenza di CEM |
|----------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 2 | <i>Canali di acquisizione</i> | 2 |
| 100 – 3000 Hz | <i>Filtri</i> | 100 – 3000 Hz |
| Vertice | <i>Elettrodo attivo</i> | Vertice |
| Lobo sinistro | <i>Elettrodo di riferimento</i> | Lobo sinistro |
| Fronte | <i>Elettrodo di terra</i> | Fronte |
| 10 ms | <i>Tempo di analisi</i> | 10 ms |
| | Stimolazione | |
| Cuffia TDH-39 | <i>Trasduttore</i> | Cuffia TDH-39 |
| Click | <i>Tipo di stimolo</i> | Click |
| 100 us | <i>Durata</i> | 100 us |
| Alternata | <i>Polarità</i> | Alternata |
| 11/sec | <i>Cadenza</i> | 11/sec |
| 2000 | <i>Numero di impulsi</i> | 4000 |
| 100 dB SPL | <i>Intensità</i> | 100 dB SPL |

Tabella III: Manifestazioni morbose nell'uomo da esposizione a RF e MW

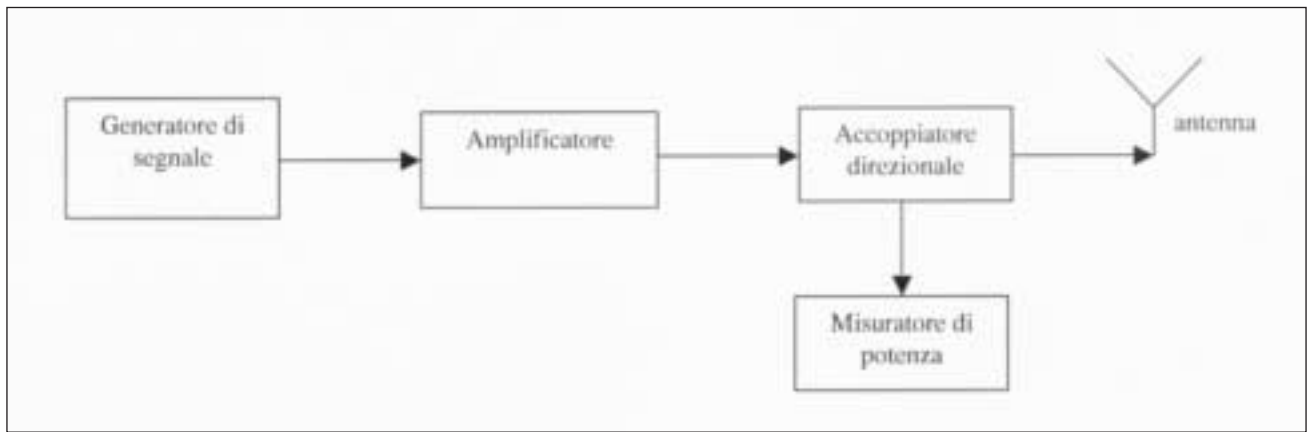


Figura 1: Schema a blocchi del sistema di generazione del campo elettromagnetico

perché affetti da otite media cronica.

Tutti i soggetti esaminati, di età compresa tra i 24 ed i 30 anni, sono stati sottoposti ad accertamenti clinici e strumentali che comprendevano: anamnesi, visita otorinolaringoiatrica, audiometria tonale liminare, impedenzometria.

L'indagine anamnestica personale è stata effettuata allo scopo di escludere malattie di natura ereditaria e/o pregresse patologie a carico dell'orecchio; *la visita otorinolaringoiatrica* al fine di escludere la presenza di una qualche patologia a carico del distretto otorinolaringoiatrico; *l'audiometria tonale liminare* per studiare il tipo, la morfologia, il grado e le caratteristiche della curva audiometria ed infine *l'esame impedenzometrico* per valutare la perfetta funzionalità del sistema timpano-ossiculare.

Sono stati considerati idonei quei soggetti con una capacità uditiva nei limiti della norma bilateralmente. Sono invece stati esclusi tutti quei volontari affetti da sordità neurosensoriale anche di lieve entità e tutti quei soggetti con patologia a carico dell'orecchio medio e/o disfunzione tubarica resistenti alle comuni terapie mediche.

Il protocollo sperimentale, per ogni soggetto, è stato articolato in più fasi:

I° Fase: Misurazione della temperatura corporea, effettuata pochi secondi prima dell'esposizione al CEM, mediante un termometro auricolare, l'unico in grado di rilevare direttamente la temperatura dell'ipotalamo;

II° Fase: Rilevazione dei potenziali evocati uditivi del tronco (A.B.R.), in assenza di CEM, per un periodo di registrazione pari a tre minuti (test);

III° Fase: Ripetizione della fase precedente (re-test), al fine di verificare la stabilità della risposta uditiva del soggetto esaminato;

IV° Fase: Rilevazione dei potenziali evocati uditivi del tronco (A.B.R.), in presenza di CEM, per un periodo di registrazione pari a sei minuti;

V° Fase: Rilevazione dei potenziali evocati uditivi del tronco (A.B.R.), in presenza di CEM, per un periodo di registrazione pari a dodici minuti;

VI° Fase: misurazione della temperatura corporea, al termine dell'esposizione del soggetto ai campi elettromagnetici.

La registrazione dei potenziali evocati è stata effettuata mediante Amplaid MK12 e l'intero esame si è svolto all'interno di una cabina silente climatizzata, mantenuta alla temperatura costante di 22°C.

Il soggetto in esame è stato posto su di un lettino facendo attenzione a che i muscoli della testa e del collo fossero il più possibile rilassati.

Gli elettrodi, dopo avere accuratamente sgrassato le parti con alcool, sono stati posizionati sul lobo dell'orecchio da esaminare l'elettrodo di riferimento (-), sul lobo controlaterale l'elettrodo di massa (terra) e sulla fronte quello attivo (+).

Al fine di eseguire correttamente la valutazione dei potenziali si è fatto in modo che l'impedenza misurata tra gli elettrodi avesse un valore inferiore ai 3,5 kW.

Per evocare i potenziali uditivi in assenza di CEM sono stati inviati, per singola registrazione, 2000 stimoli ad una cadenza di 11 impulsi/sec per una durata complessiva di tre minuti circa.

Le prove eseguite in presenza di CEM sono state effettuate utilizzando gli stessi parametri scelti nel caso precedente ma per un periodo di tempo superiore per cui sono stati inviati, per ogni singola registrazione, 4000 stimoli ad una cadenza di 11 impulsi/sec per una durata di sei minuti (tabella III).

Per quanto concerne i tracciati A.B.R., questi sono stati ritenuti idonei alla nostra ricerca quando rispondevano a quei parametri internazionali considerati di normalità e cioè:

Presenza delle onde principali I, III e V che sono le più stabili e che scompaiono per ultime;
Riproducibilità del tracciato;

| N. | Sesso | Senzazione di calore | Temperatura iniziale | Temperatura finale | Variazione Temp. |
|----------------|-------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------------------------|
| 1 | M | | 36,5 | 36,8 | 0,3 |
| 2 | M | | 36,3 | 36,3 | - |
| 3 | F | | 36,8 | 37,0 | 0,2 |
| 4 | M | • | 36,5 | 37,0 | 0,5 |
| 5 | F | | 36,5 | 37,4 | 0,9 |
| 6 | M | • | 36,6 | 36,6 | - |
| 7 | F | • | 36,6 | 37,0 | 0,4 |
| 8 | M | | 36,7 | 36,9 | 0,2 |
| 9 | M | | 36,6 | 37,0 | 0,4 |
| 10 | M | | 36,3 | 36,8 | 0,5 |
| 11 | F | | 36,9 | 37,0 | 0,1 |
| 12 | F | | 36,1 | 36,7 | 0,6 |
| 13 | M | • | 36,8 | 37,0 | 0,2 |
| 14 | F | | 36,7 | 36,8 | 0,1 |
| 15 | M | | 36,2 | 36,8 | 0,6 |
| 16 | F | | 37,0 | 37,5 | 0,5 |
| 17 | F | | 37,0 | 36,9 | -0,1 |
| 18 | F | | 37,0 | 37,0 | - |
| 19 | M | | 36,4 | 36,5 | 0,1 |
| 20 | F | • | 37,0 | 37,5 | 0,5 |
| 21 | F | | 36,6 | 37,0 | 0,4 |
| 22 | F | | 36,8 | 37,0 | 0,2 |
| 23 | M | • | 36,5 | 36,2 | -0,3 |
| 24 | F | | 37,0 | 37,0 | - |
| 25 | M | | 36,0 | 36,0 | - |
| 26 | M | | 36,9 | 36,7 | -0,2 |
| 27 | M | | 36,2 | 36,5 | 0,3 |
| 28 | M | | 36,5 | 36,7 | 0,2 |
| 29 | F | | 36,4 | 36,8 | 0,4 |
| 30 | M | • | 36,8 | 37,0 | 0,2 |
| 31 | F | | 36,5 | 36,8 | 0,2 |
| 32 | M | | 36,4 | 36,6 | 0,2 |
| 33 | F | | 37,0 | 37,2 | 0,2 |
| 34 | M | • | 36,8 | 37,3 | 0,5 |
| 35 | F | | 36,7 | 36,9 | 0,2 |
| 36 | M | | 36,4 | 36,7 | 0,3 |
| 37 | M | | 36,5 | 36,8 | 0,3 |
| 38 | M | | 36,4 | 36,6 | 0,2 |
| 39 | F | | 36,9 | 36,9 | - |
| 40 | M | | 36,5 | 36,6 | 0,1 |
| 41 | F | | 36,0 | 36,1 | 0,1 |
| 42 | F | • | 36,4 | 36,7 | 0,3 |
| 43 | M | • | 36,5 | 36,7 | 0,2 |
| 23M/20F | | 10 | | | $\Delta T_m = 0,2$ |

Tabella IV: Temperature rilevate a confronto

Differenza tra le latenze delle singole onde nel test e re-test eseguito in condizioni di base $\leq 0,2$ ms.

La creazione del campo elettromagnetico tipico dei sistemi per telefonia cellulare GSM è stata ottenuta mediante il sistema schematizzato in figura 1.

Tale sistema in particolare comprende un generatore di segnale vettoriale del tipo SMIQ della Rohde & Schwarz operante nel campo di frequenza 300 kHz –

3.3 GHz modulabile secondo gli standard tipici della telefonia cellulare quali: GSM, GSM-EDGE, DECT, etc.

Il segnale dal generatore viene inviato ad un amplificatore lineare in grado di amplificare con una potenza massima di 5 Watt.

In cascata all'amplificatore troviamo un accoppiatore direzionale che, associato con il misuratore di potenza, consente di effettuare la lettura diretta della

| | | Tempi di latenza dopo 3' in assenza di CEM | | | | | Tempi di latenza dopo 6' in assenza di CEM | | | | |
|----|---|--|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|
| | | I | II | III | IV | V | I | II | III | IV | V |
| 1 | M | 1.520 | 2.800 | 3.880 | 5.320 | 5.800 | 1.520 | 2.800 | 3.880 | 5.280 | 5.840 |
| 2 | M | 1.760 | 2.840 | 3.880 | 4.880 | 5.560 | 1.760 | 2.840 | 3.800 | 4.760 | 5.560 |
| 3 | F | 1.640 | 2.840 | 3.720 | 4.880 | 5.400 | 1.640 | 2.760 | 3.720 | 5.000 | 5.400 |
| 4 | M | 1.800 | | 4.200 | | 6.000 | 1.840 | | 4.240 | | 6.040 |
| 5 | F | 1.600 | 2.760 | 3.680 | | 5.400 | 1.560 | 2.800 | 3.680 | | 5.400 |
| 6 | M | 1.560 | 2.600 | 3.800 | 5.000 | 5.720 | 1.480 | 2.680 | 3.880 | 5.040 | 5.680 |
| 7 | F | 1.520 | 2.560 | 3.680 | 4.880 | 5.400 | 1.520 | 2.560 | 3.640 | | 5.480 |
| 8 | M | 1.800 | | 4.000 | | 6.000 | 1.840 | | 4.080 | | 5.920 |
| 9 | M | 1.760 | | 3.840 | | 5.560 | 1.880 | | 3.840 | | 5.600 |
| 10 | M | | | 3.840 | | 5.920 | | | 3.640 | | 6.040 |
| 11 | F | 1.600 | 2.680 | 3.680 | 4.720 | 5.400 | 1.680 | 2.640 | 3.680 | 4.840 | 5.440 |
| 12 | F | 1.560 | 2.600 | 3.480 | 4.680 | 5.280 | 1.560 | 2.680 | 3.560 | 4.720 | 5.360 |
| 13 | M | 1.680 | 2.680 | 3.680 | 4.880 | 5.560 | 1.640 | 2.560 | 3.720 | 4.760 | 5.560 |
| 14 | F | 1.840 | 3.120 | 4.120 | | 5.800 | 1.840 | 3.120 | 4.080 | | 5.840 |
| 15 | M | 1.560 | 2.840 | 3.840 | 5.040 | 5.600 | 1.560 | 2.720 | 3.720 | 4.920 | 5.640 |
| 16 | F | 1.560 | 2.560 | 3.360 | 4.880 | 5.400 | 1.560 | 2.600 | 3.360 | 4.960 | 5.440 |
| 17 | F | 1.480 | 2.480 | 3.520 | 4.640 | 5.200 | 1.480 | 2.560 | 3.560 | 4.720 | 5.200 |
| 18 | F | 1.560 | 2.480 | 3.520 | 4.760 | 5.280 | 1.560 | 2.560 | 3.600 | 4.800 | 5.360 |
| 19 | M | 1.800 | 2.920 | 3.800 | 5.040 | 5.840 | 1.800 | 2.880 | 3.840 | 5.000 | 5.840 |
| 20 | F | 1.680 | 2.920 | 3.840 | 5.000 | 5.520 | 1.640 | 2.920 | 3.840 | 5.080 | 5.840 |
| 21 | F | 1.520 | 2.640 | 3.600 | 4.840 | 5.440 | 1.520 | 2.800 | 3.600 | 4.880 | 5.440 |
| 22 | F | 1.720 | 2.680 | 3.880 | 5.160 | 5.720 | 1.800 | 2.720 | 3.880 | 5.200 | 5.720 |
| 23 | M | 1.600 | 2.880 | 3.960 | 5.200 | 5.560 | 1.520 | 2.960 | 3.920 | 5.280 | 5.640 |
| 24 | F | 1.480 | 2.560 | 3.480 | 4.840 | 5.520 | 1.480 | 2.480 | 3.440 | 4.840 | 5.560 |
| 25 | M | 1.680 | 2.680 | 3.800 | 5.080 | 5.640 | 1.720 | 2.760 | 3.760 | 5.000 | 5.720 |
| 26 | M | 1.600 | | 3.800 | | 5.680 | 1.600 | 2.680 | 3.800 | | 5.640 |
| 27 | M | 1.800 | 2.760 | 3.720 | 5.400 | 5.760 | 1.720 | 2.920 | 3.960 | 5.440 | 5.840 |
| 28 | M | 1.800 | 2.960 | 4.040 | | 5.880 | 1.760 | 3.040 | 4.040 | | 5.840 |
| 29 | F | 1.480 | 2.560 | 3.640 | 4.920 | 5.560 | 1.440 | 2.520 | 3.600 | 4.880 | 5.560 |
| 30 | M | 1.480 | 2.560 | 3.640 | 4.920 | 5.520 | 1.480 | 2.520 | 3.640 | 4.920 | 5.560 |
| 31 | F | 1.760 | 2.720 | 3.680 | 5.240 | 5.560 | 1.680 | 2.640 | 3.720 | 5.280 | 5.560 |
| 32 | M | 1.720 | 2.720 | 3.680 | 5.160 | 5.560 | 1.680 | 2.640 | 3.720 | 5.280 | 5.520 |
| 33 | F | 1.680 | 2.800 | 3.720 | 4.840 | 5.440 | 1.680 | 2.800 | 3.720 | 4.800 | 5.440 |
| 34 | M | 1.880 | 3.040 | 3.840 | | 5.560 | 1.880 | 2.880 | 3.880 | | 5.560 |
| 35 | F | 1.680 | 2.640 | 3.600 | | 5.400 | 1.760 | 2.680 | 3.640 | 4.560 | 5.400 |
| 36 | M | 1.480 | 2.800 | 3.720 | 5.120 | 5.560 | 1.520 | 2.880 | 3.760 | 5.120 | 5.560 |
| 37 | M | 1.720 | 2.560 | 3.760 | | 5.520 | 1.760 | 2.560 | 3.800 | | 5.520 |
| 38 | M | 1.520 | 2.680 | 3.720 | 5.080 | 5.560 | 1.600 | 2.760 | 3.800 | 5.080 | 5.520 |
| 39 | F | 1.800 | 2.880 | 3.800 | 5.160 | 5.640 | 1.800 | 2.640 | 3.800 | 5.280 | 5.600 |
| 40 | M | 2.080 | | 3.920 | | 5.880 | 2.160 | | 4.000 | | 5.880 |
| 41 | F | 1.400 | 2.360 | 3.320 | 4.760 | 5.240 | 1.400 | 2.320 | 3.400 | 4.800 | 5.160 |
| 42 | F | 1.640 | 2.880 | 3.720 | 4.920 | 5.400 | 1.600 | 2.920 | 3.760 | 4.920 | 5.400 |
| 43 | M | 1.960 | 3.040 | 4.040 | 5.200 | 5.600 | 1.960 | 3.040 | 4.040 | 5.200 | 5.600 |

Tabella V: Rilevazioni dei PEU in assenza di CEM

potenza transitante dall'amplificatore all'antenna. Infine il sistema radiante, che irradia il segnale già amplificato, è costituito da un dipolo corto in grado di trasformare il segnale ricevuto in ingresso in un campo elettromagnetico che si propaga nello spazio circostante.

In condizioni operative reali gli apparecchi per telefonia mobile tipo GSM, di nuova generazione, impiegano livelli di potenza variabili fino ad un massimo di 2 Watt con un livello di potenza media di 0,25 Watt. Inoltre la banda di frequenza utilizzata per la trasmissione dall'apparecchio mobile alla stazione radio base è compresa tra 890 – 915 MHz.

Nel nostro caso i parametri del sistema di generazione e trasmissione del campo sono stati scelti in maniera tale da fornire un segnale in antenna di potenza massima pari ad 1 W alla frequenza di 915 MHz con modulazione TDMA tipica dei GSM.

Per quanto riguarda la collocazione del sistema di esposizione si è provveduto a realizzare un apposito supporto per l'antenna in modo da fissarla stabilmente su un lato della cuffia utilizzata per l'esame ABR ad una distanza dalla testa di 6 cm.

Inoltre tutte le apparecchiature per la generazione del campo sono state collocate in una camera adiacente a quella in cui si trovava il soggetto in esame in modo

| | | Tempi di latenza dopo 6' di esposizione a CEM | | | | | Tempi di latenza dopo 12' di esposizione a CEM | | | | |
|----|---|---|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|
| | | I | II | III | IV | V | I | II | III | IV | V |
| 1 | M | 1.520 | 2.800 | 3.880 | 5.320 | 5.800 | 1.520 | 2.800 | 3.880 | 5.280 | 5.840 |
| 2 | M | 1.760 | 2.880 | 4.000 | 4.920 | 5.720 | 1.680 | 3.000 | 4.080 | 5.000 | 5.680 |
| 3 | F | 1.640 | 2.840 | 3.720 | 4.920 | 5.560 | 1.640 | 2.800 | 3.720 | 4.920 | 5.560 |
| 4 | M | 1.880 | 2.760 | 3.760 | | 5.880 | | | | | |
| 5 | F | 1.560 | 2.800 | 3.720 | 4.560 | 5.400 | 1.640 | 2.760 | 3.680 | | 5.440 |
| 6 | M | 1.560 | 2.720 | 3.840 | 5.160 | 5.800 | 1.640 | 2.760 | 3.800 | 5.160 | 5.800 |
| 7 | F | 1.560 | 2.560 | 3.640 | 5.000 | 5.440 | 1.560 | 2.560 | 3.640 | 5.000 | 5.480 |
| 8 | M | 1.840 | 2.920 | 4.080 | 5.280 | 5.960 | | 2.880 | 4.000 | 5.320 | 5.880 |
| 9 | M | 1.800 | 2.640 | 3.840 | | 5.560 | 1.800 | | 3.760 | | 5.600 |
| 10 | M | 1.880 | | 3.800 | 5.080 | 6.080 | 1.640 | 2.960 | 3.880 | 5.120 | 6.080 |
| 11 | F | 1.680 | 2.680 | 3.680 | 4.800 | 5.440 | 1.680 | 2.560 | 3.640 | 4.760 | 5.400 |
| 12 | F | 1.600 | 2.560 | 3.520 | 4.760 | 5.320 | 1.560 | 2.640 | 3.520 | 4.760 | 5.360 |
| 13 | M | 1.720 | 2.680 | 3.640 | 4.840 | 5.600 | 1.720 | 2.680 | 3.640 | 4.720 | 5.640 |
| 14 | F | 1.760 | 3.040 | 4.080 | | 5.840 | 1.760 | 3.120 | 4.080 | | 5.840 |
| 15 | M | 1.560 | 2.760 | 3.760 | | 5.760 | 1.560 | 2.720 | 3.720 | | 5.680 |
| 16 | F | 1.560 | 2.560 | 3.400 | 4.920 | 5.440 | 1.560 | 2.640 | 3.440 | 4.880 | 5.360 |
| 17 | F | 1.480 | 2.560 | 3.520 | 4.720 | 5.200 | 1.440 | 2.440 | 3.520 | 4.760 | 5.240 |
| 18 | F | 1.560 | 2.520 | 3.520 | 4.720 | 5.320 | 1.520 | 2.520 | 3.560 | 4.760 | 5.360 |
| 19 | M | 1.840 | 2.880 | 3.880 | 4.880 | 5.920 | 1.800 | 2.920 | 3.840 | 5.120 | 5.880 |
| 20 | F | 1.680 | 2.920 | 3.880 | 5.040 | 5.520 | 1.640 | 2.920 | 3.880 | 5.120 | 5.520 |
| 21 | F | 1.520 | 2.640 | 3.680 | 4.800 | 5.440 | 1.520 | 2.680 | 3.680 | 4.960 | 5.440 |
| 22 | F | 1.760 | 2.760 | 3.880 | 5.200 | 5.720 | 1.760 | 2.760 | 3.880 | 5.200 | 5.720 |
| 23 | M | 1.560 | 2.960 | 3.960 | 5.240 | 5.680 | 1.640 | 2.960 | 3.960 | 5.240 | 5.680 |
| 24 | F | 1.520 | 2.520 | 3.520 | 4.880 | 5.560 | 1.480 | 2.560 | 3.560 | 4.840 | 5.520 |
| 25 | M | 1.720 | 2.800 | 3.840 | 5.080 | 5.680 | 1.720 | 2.800 | 3.840 | 5.080 | 5.680 |
| 26 | M | 1.600 | 2.720 | 3.760 | 5.080 | 5.640 | 1.600 | 2.760 | 3.800 | 4.800 | 5.640 |
| 27 | M | 1.680 | 2.960 | 3.920 | 5.360 | 5.840 | 1.640 | 2.960 | 3.960 | 5.400 | 5.800 |
| 28 | M | 1.800 | 2.960 | 4.040 | | 5.920 | 1.800 | 2.880 | 4.040 | | 5.960 |
| 29 | F | 1.480 | 2.600 | 3.680 | 4.840 | 5.520 | 1.480 | 2.560 | 3.600 | 4.920 | 5.640 |
| 30 | M | 1.480 | 2.600 | 3.680 | 4.840 | 5.520 | 1.480 | 2.600 | 3.640 | 4.960 | 5.640 |
| 31 | F | 1.800 | 2.760 | 3.720 | | 5.560 | 1.720 | 2.760 | 3.720 | | 5.560 |
| 32 | M | 1.760 | 2.760 | 3.720 | | 5.560 | 1.680 | 2.760 | 3.720 | | 5.520 |
| 33 | F | 1.640 | 2.840 | 3.720 | 4.920 | 5.400 | 1.640 | 2.840 | 3.760 | 4.960 | 5.400 |
| 34 | M | 1.960 | 2.880 | 3.920 | | 5.640 | 1.800 | 2.960 | 3.920 | | 5.640 |
| 35 | F | 1.680 | 2.600 | 3.640 | | 5.320 | 1.680 | 2.680 | 3.600 | | 5.360 |
| 36 | M | 1.480 | 2.880 | 3.840 | 5.200 | 5.560 | 1.480 | 2.960 | 3.840 | 5.200 | 5.640 |
| 37 | M | 1.760 | 2.520 | 3.800 | | 5.440 | 1.880 | 2.520 | 3.800 | | 5.520 |
| 38 | M | 1.560 | 2.720 | 3.760 | 5.120 | 5.600 | 1.560 | 2.760 | 3.800 | 5.160 | 5.600 |
| 39 | F | 1.720 | 2.760 | 3.680 | 5.160 | 5.800 | 1.680 | 2.840 | 3.800 | 5.160 | 5.800 |
| 40 | M | 2.040 | 3.040 | 4.040 | | 5.960 | 2.080 | 3.120 | 4.000 | | 5.920 |
| 41 | F | 1.400 | 2.360 | 3.400 | 4.760 | 5.200 | 1.440 | 2.360 | 3.400 | 4.720 | 5.240 |
| 42 | F | 1.560 | 2.800 | 3.760 | 4.880 | 5.400 | 1.640 | 2.920 | 3.720 | 4.920 | 5.360 |
| 43 | M | 1.960 | 3.040 | 4.040 | 5.200 | 5.600 | 1.960 | 3.040 | 4.040 | 5.200 | 5.600 |

Tabella VI: Rilevazioni dei PEU in assenza di CEM

tale che la registrazione non venisse influenzata dalla percezione o meno, da parte dello stesso soggetto, di essere esposto al campo elettromagnetico.

Risultati

Dei 43 soggetti soltanto dieci, 7 di sesso maschile e 3 di sesso femminile, hanno avvertito una sensazione di calore ai tessuti direttamente a contatto col CEM mentre in tutti si è riscontrata una variazione della temperatura auricolare tra prima e dopo esposizione, compresa tra $-0,3^{\circ}\text{C}$ e $+0,9^{\circ}\text{C}$, con una media di

$0,22^{\circ}\text{C}$ (tabella IV).

Per quanto riguarda l'analisi dei dati ottenuti dalle registrazioni delle A.B.R. in assenza ed in presenza di campi elettromagnetici vi è da dire che ci si è attenuti alla seguente procedura:

calcolo delle differenze tra i tempi di latenza delle singole onde ottenute nelle fasi di test e re-test in assenza di CEM;

individuazione ed esclusione dei soggetti nei quali è stata riscontrata una differenza tra i tempi di latenza, in corrispondenza della I o della III oppure della V onda, maggiore di 0,2 ms;

calcolo della media dei tempi di latenza, relativamen-

| | | TEST: Tempi di latenza | | | | | RE-TEST: Tempi di latenza | | | | | DIFFERENZA: Tempi di latenza | | | | |
|----|---|------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|---------------|----------------|---------------|--------------|
| | | I | II | III | IV | V | I | II | III | IV | V | Diff. Lat. I | Diff. Lat. II | Diff. Lat. III | Diff. Lat. IV | Diff. Lat. V |
| 1 | M | 1.520 | 2.800 | 3.880 | 5.320 | 5.800 | 1.520 | 2.800 | 3.880 | 5.280 | 5.840 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,040 | 0,040 |
| 2 | M | 1.760 | 2.840 | 3.880 | 4.880 | 5.560 | 1.760 | 2.840 | 3.800 | 4.760 | 5.560 | 0,000 | 0,000 | 0,080 | 0,120 | 0,000 |
| 3 | F | 1.640 | 2.840 | 3.720 | 4.880 | 5.400 | 1.640 | 2.760 | 3.720 | 5.000 | 5.400 | 0,000 | 0,080 | 0,000 | 0,120 | 0,000 |
| 4 | M | 1.800 | | 4.200 | | 6.000 | 1.840 | | 4.240 | | 6.040 | 0,040 | 0,000 | 0,040 | 0,000 | 0,040 |
| 5 | F | 1.600 | 2.760 | 3.680 | | 5.400 | 1.560 | 2.800 | 3.680 | | 5.400 | 0,040 | 0,040 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 6 | M | 1.560 | 2.600 | 3.800 | 5.000 | 5.720 | 1.480 | 2.680 | 3.880 | 5.040 | 5.680 | 0,080 | 0,080 | 0,080 | 0,040 | 0,040 |
| 7 | F | 1.520 | 2.560 | 3.680 | 4.880 | 5.400 | 1.520 | 2.560 | 3.640 | | 5.480 | 0,000 | 0,000 | 0,040 | 4.880 | 0,080 |
| 8 | M | 1.800 | | 4.000 | | 6.000 | 1.840 | | 4.080 | | 5.920 | 0,040 | 0,000 | 0,080 | 0,000 | 0,080 |
| 9 | M | 1.760 | | 3.840 | | 5.560 | 1.880 | | 3.840 | | 5.600 | 0,120 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,040 |
| 10 | M | | | 3.840 | | 5.920 | | | 3.640 | | 6.040 | 0,000 | 0,000 | 0,200 | 0,000 | 0,120 |
| 11 | F | 1.600 | 2.680 | 3.680 | 4.720 | 5.400 | 1.680 | 2.640 | 3.680 | 4.840 | 5.440 | 0,080 | 0,040 | 0,000 | 0,120 | 0,040 |
| 12 | F | 1.560 | 2.600 | 3.480 | 4.680 | 5.280 | 1.560 | 2.680 | 3.560 | 4.720 | 5.360 | 0,000 | 0,080 | 0,080 | 0,040 | 0,080 |
| 13 | M | 1.680 | 2.680 | 3.680 | 4.880 | 5.560 | 1.640 | 2.560 | 3.720 | 4.760 | 5.560 | 0,040 | 0,120 | 0,040 | 0,120 | 0,000 |
| 14 | F | 1.840 | 3.120 | 4.120 | | 5.800 | 1.840 | 3.120 | 4.080 | | 5.840 | 0,000 | 0,000 | 0,040 | 0,000 | 0,040 |
| 15 | M | 1.560 | 2.840 | 3.840 | 5.040 | 5.600 | 1.560 | 2.720 | 3.720 | 4.920 | 5.640 | 0,000 | 0,120 | 0,120 | 0,120 | 0,040 |
| 16 | F | 1.560 | 2.560 | 3.360 | 4.880 | 5.400 | 1.560 | 2.600 | 3.360 | 4.960 | 5.440 | 0,000 | 0,040 | 0,000 | 0,080 | 0,040 |
| 17 | F | 1.480 | 2.480 | 3.520 | 4.640 | 5.200 | 1.480 | 2.560 | 3.560 | 4.720 | 5.200 | 0,000 | 0,080 | 0,040 | 0,080 | 0,000 |
| 18 | F | 1.560 | 2.480 | 3.520 | 4.760 | 5.280 | 1.560 | 2.560 | 3.600 | 4.800 | 5.360 | 0,000 | 0,080 | 0,080 | 0,040 | 0,080 |
| 19 | M | 1.800 | 2.920 | 3.800 | 5.040 | 5.840 | 1.800 | 2.880 | 3.840 | 5.000 | 5.840 | 0,000 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,000 |
| 20 | F | 1.680 | 2.920 | 3.840 | 5.000 | 5.520 | 1.640 | 2.920 | 3.840 | 5.080 | 5.840 | 0,040 | 0,000 | 0,000 | 0,080 | 0,320 |
| 21 | F | 1.520 | 2.640 | 3.600 | 4.840 | 5.440 | 1.520 | 2.800 | 3.600 | 4.880 | 5.440 | 0,000 | 0,160 | 0,000 | 0,040 | 0,000 |
| 22 | F | 1.720 | 2.680 | 3.880 | 5.160 | 5.720 | 1.800 | 2.720 | 3.880 | 5.200 | 5.720 | 0,080 | 0,040 | 0,000 | 0,040 | 0,000 |
| 23 | M | 1.600 | 2.880 | 3.960 | 5.200 | 5.560 | 1.520 | 2.960 | 3.920 | 5.280 | 5.640 | 0,080 | 0,080 | 0,040 | 0,080 | 0,080 |
| 24 | F | 1.480 | 2.560 | 3.480 | 4.840 | 5.520 | 1.480 | 2.480 | 3.440 | 4.840 | 5.560 | 0,000 | 0,080 | 0,040 | 0,000 | 0,040 |
| 25 | M | 1.680 | 2.680 | 3.800 | 5.080 | 5.640 | 1.720 | 2.760 | 3.760 | 5.000 | 5.720 | 0,040 | 0,080 | 0,040 | 0,080 | 0,080 |
| 26 | M | 1.600 | | 3.800 | | 5.680 | 1.600 | 2.680 | 3.800 | | 5.640 | 0,000 | 2.680 | 0,000 | 0,000 | 0,040 |
| 27 | M | 1.800 | 2.760 | 3.720 | 5.400 | 5.760 | 1.720 | 2.920 | 3.960 | 5.440 | 5.840 | 0,080 | 0,160 | 0,240 | 0,040 | 0,080 |
| 28 | M | 1.800 | 2.960 | 4.040 | | 5.880 | 1.760 | 3.040 | 4.040 | | 5.840 | 0,040 | 0,080 | 0,000 | 0,000 | 0,040 |
| 29 | F | 1.480 | 2.560 | 3.640 | 4.920 | 5.560 | 1.440 | 2.520 | 3.600 | 4.880 | 5.560 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,000 |
| 30 | M | 1.480 | 2.560 | 3.640 | 4.920 | 5.520 | 1.480 | 2.520 | 3.640 | 4.920 | 5.560 | 0,000 | 0,040 | 0,000 | 0,000 | 0,040 |
| 31 | F | 1.760 | 2.720 | 3.680 | 5.240 | 5.560 | 1.680 | 2.640 | 3.720 | 5.280 | 5.560 | 0,080 | 0,080 | 0,040 | 0,040 | 0,000 |
| 32 | M | 1.720 | 2.720 | 3.680 | 5.160 | 5.560 | 1.680 | 2.640 | 3.720 | 5.280 | 5.520 | 0,040 | 0,080 | 0,040 | 0,120 | 0,040 |
| 33 | F | 1.680 | 2.800 | 3.720 | 4.840 | 5.440 | 1.680 | 2.800 | 3.720 | 4.800 | 5.440 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,040 | 0,000 |
| 34 | M | 1.880 | 3.040 | 3.840 | | 5.560 | 1.880 | 2.880 | 3.880 | | 5.560 | 0,000 | 0,160 | 0,040 | 0,000 | 0,000 |
| 35 | F | 1.680 | 2.640 | 3.600 | | 5.400 | 1.760 | 2.680 | 3.640 | 4.560 | 5.400 | 0,080 | 0,040 | 0,040 | 4.560 | 0,000 |
| 36 | M | 1.480 | 2.800 | 3.720 | 5.120 | 5.560 | 1.520 | 2.880 | 3.760 | 5.120 | 5.560 | 0,040 | 0,080 | 0,040 | 0,000 | 0,000 |
| 37 | M | 1.720 | 2.560 | 3.760 | | 5.520 | 1.760 | 2.560 | 3.800 | | 5.520 | 0,040 | 0,000 | 0,040 | 0,000 | 0,000 |
| 38 | M | 1.520 | 2.680 | 3.720 | 5.080 | 5.560 | 1.600 | 2.760 | 3.800 | 5.080 | 5.520 | 0,080 | 0,080 | 0,080 | 0,000 | 0,040 |
| 39 | F | 1.800 | 2.880 | 3.800 | 5.160 | 5.640 | 1.800 | 2.640 | 3.800 | 5.280 | 5.600 | 0,000 | 0,240 | 0,000 | 0,120 | 0,040 |
| 40 | M | 2.080 | | 3.920 | | 5.880 | 2.160 | | 4.000 | | 5.880 | 0,080 | 0,000 | 0,080 | 0,000 | 0,000 |
| 41 | F | 1.400 | 2.360 | 3.320 | 4.760 | 5.240 | 1.400 | 2.320 | 3.400 | 4.800 | 5.160 | 0,000 | 0,040 | 0,080 | 0,040 | 0,080 |
| 42 | F | 1.640 | 2.880 | 3.720 | 4.920 | 5.400 | 1.600 | 2.920 | 3.760 | 4.920 | 5.400 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,000 | 0,000 |
| 43 | M | 1.960 | 3.040 | 4.040 | 5.200 | 5.600 | 1.960 | 3.040 | 4.040 | 5.200 | 5.600 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

Tabella VII: Valutazione della riproducibilità del tracciato in assenza di CEM

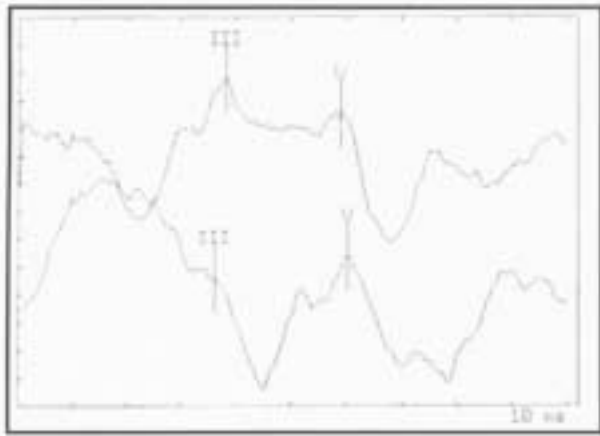


Figura 2: Registrazione dell'ABR nel soggetto n° 10

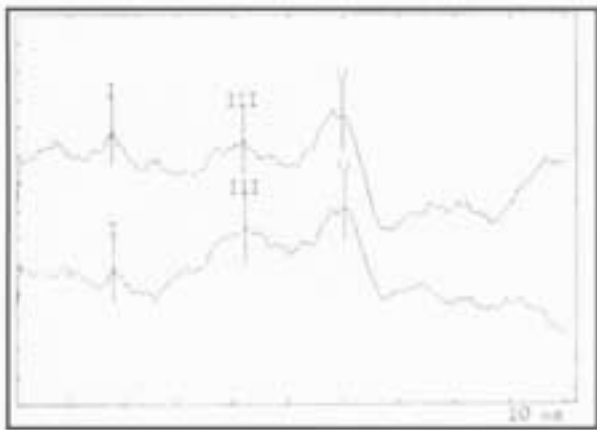


Figura 3: Registrazione dell'ABR nel soggetto n° 4

te ai soggetti non esclusi al passo precedente, in corrispondenza delle singole onde registrate in fase di test e re-test senza CEM;

confronto tra i valori medi ottenuti per ogni singola onda e per ogni soggetto ed i valori delle relative latenze registrate in presenza di CEM per un periodo di esposizione pari a 6 e 12 minuti;

identificazione del numero di soggetti con una differenza di latenza $> 0,2$ ms in presenza di CEM rispetto all'esame eseguito in condizioni di base.

I dati ottenuti sono stati raccolti nelle tabelle V e VI e rappresentano i tempi di latenza delle cinque onde dei potenziali evocati misurati, per ogni singolo soggetto, rispettivamente in assenza ed in presenza di CEM.

In particolare nella tabella V sono riportati due gruppi di dati relativi ai tempi di latenza delle cinque onde A.B.R., per ogni soggetto, ottenuti durante un periodo di registrazione pari a 3 ed a 6 minuti, in assenza di CEM.

Analogamente nella tabella VI sono riportati due gruppi di dati ottenuti in presenza di CEM corrispondenti questa volta a periodi di registrazione di 6 e 12 minuti.

Nella tabella VII sono stati analizzati, tenendo conto dei requisiti internazionali sopra detti, i dati relativi ai tempi di latenza ottenuti in assenza di CEM. In essa sono state poi calcolate le differenze tra i tempi di latenza delle singole onde nella fase di test e re-test.

Da una prima analisi si è visto che due soggetti, il n° 20 e il n° 27, presentavano una differenza tra i tempi di latenza maggiore di $0,2$ ms e pertanto, non soddisfacendo il 3° parametro di normalità, sono stati esclusi dallo studio.

Anche il soggetto n°10 è stato eliminato in quanto non rispondeva al 1° requisito data la impossibilità ad individuare i tempi di latenza relativi alla I, II e IV onda sia nella fase di test sia in quella di re-test (figura 2).

Della esclusione ha fatto parte infine il soggetto n° 4 ove è stata riscontrata una eccessiva instabilità nei tracciati ABR che non consentiva di individuare i tempi di latenza delle singole onde (figura 3).

Nella fase successiva dell'analisi sono stati calcolati i tempi medi di latenza delle singole onde e messi a confronto con i tempi di latenza ottenuti durante le registrazioni dei potenziali evocati dopo 6 minuti e 12 minuti di esposizione a CEM (tabella VIII).

Infine, allo scopo di individuare eventuali variazioni dei tempi di latenza delle cinque onde dei potenziali evocati correlabili con la presenza del campo elettromagnetico si è proceduto all'analisi dei valori assoluti delle differenze dei tempi di latenza per ogni singola onda mettendo in evidenza solo quelli che superavano i $0,2$ ms.

I risultati di tale confronto, riportati nella tabella IX dove sono indicati con '0' i valori inferiori o uguali a $0,2$ ms e con '1' i valori superiori a $0,2$ ms, hanno messo in evidenza che non esistono differenze tra risposte evocate uditive del tronco encefalico eseguite a riposo e risposte evocate uditive del tronco encefalico eseguite in presenza di CEM ad alta frequenza mantenuto attivo fino ad un tempo massimo di 12 minuti e posto ad una distanza di 6 cm dal padiglione auricolare.

In particolare la valutazione delle onde principali, di quelle cioè più facilmente valutabili perché meno soggette a variazioni, mostra l'assenza di modifiche sia dopo 6 che dopo 12 minuti di esposizione a CEM, mentre le onde intermedie II e IV hanno presentato, in diversi casi, delle sostanziali variazioni.

Considerazioni conclusive

Dalle più recenti ricerche sul settore delle radiofrequenze (RF) e delle microonde (MW) per le comunicazioni è emerso, come già detto, che, dopo una conversazione della durata di 6-7 minuti, l'unica conseguenza certa dell'assorbimento di energia elettromagnetica dalla testa dell'utente di telefono cellulare è un aumento della temperatura locale dei tessuti al massimo di $0,18^{\circ}\text{C}$, valore comunque non sufficiente

| | | Tempi medi di latenza in assenza di CEM | | | | | Variazione assoluta dei tempi di latenza dopo 6' di esposizione | | | | | Variazione assoluta dei tempi di latenza dopo 12' di esposizione | | | | |
|----|---|---|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|
| | | I | II | III | IV | V | I | II | III | IV | V | I | II | III | IV | V |
| 1 | M | 1.520 | 2.800 | 3.880 | 5.300 | 5.820 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,020 | 0,020 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,020 | 0,020 |
| 2 | M | 1.760 | 2.840 | 3.840 | 4.820 | 5.560 | 0,000 | 0,040 | 0,160 | 0,100 | 0,160 | 0,080 | 0,160 | 0,240 | 0,180 | 0,120 |
| 3 | F | 1.640 | 2.800 | 3.720 | 4.940 | 5.400 | 0,000 | 0,040 | 0,000 | 0,020 | 0,160 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,020 | 0,160 |
| 5 | F | 1.580 | 2.780 | 3.680 | 0 | 5.400 | 0,020 | 0,020 | 0,040 | 4,560 | 0,000 | 0,060 | 0,020 | 0,000 | 0,000 | 0,040 |
| 6 | M | 1.520 | 2.640 | 3.840 | 5.020 | 5.700 | 0,040 | 0,080 | 0,000 | 0,140 | 0,100 | 0,120 | 0,120 | 0,040 | 0,140 | 0,100 |
| 7 | F | 1.520 | 2.560 | 3.660 | 2.440 | 5.440 | 0,040 | 0,000 | 0,020 | 2,560 | 0,000 | 0,040 | 0,000 | 0,020 | 2,560 | 0,040 |
| 8 | M | 1.820 | 0 | 4.040 | 0 | 5.960 | 0,020 | 2,920 | 0,040 | 5,280 | 0,000 | 1,820 | 2,880 | 0,040 | 5,320 | 0,080 |
| 9 | M | 1.820 | 0 | 3.840 | 0 | 5.580 | 0,020 | 2,640 | 0,000 | 0,000 | 0,020 | 0,020 | 0,000 | 0,080 | 0,000 | 0,020 |
| 11 | F | 1.640 | 2.660 | 3.680 | 4.780 | 5.420 | 0,040 | 0,020 | 0,000 | 0,020 | 0,020 | 0,040 | 0,100 | 0,040 | 0,020 | 0,020 |
| 12 | F | 1.560 | 2.640 | 3.520 | 4.700 | 5.320 | 0,040 | 0,080 | 0,000 | 0,060 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,060 | 0,040 |
| 13 | M | 1.660 | 2.620 | 3.700 | 4.820 | 5.560 | 0,060 | 0,060 | 0,060 | 0,020 | 0,040 | 0,060 | 0,060 | 0,060 | 0,100 | 0,080 |
| 14 | F | 1.840 | 3.120 | 4.100 | 0 | 5.820 | 0,080 | 0,080 | 0,020 | 0,000 | 0,020 | 0,080 | 0,000 | 0,020 | 0,000 | 0,020 |
| 15 | M | 1.560 | 2.780 | 3.780 | 4.980 | 5.620 | 0,000 | 0,020 | 0,020 | 4,980 | 0,140 | 0,000 | 0,060 | 0,060 | 4,980 | 0,060 |
| 16 | F | 1.560 | 2.580 | 3.360 | 4.920 | 5.420 | 0,000 | 0,020 | 0,040 | 0,000 | 0,020 | 0,000 | 0,060 | 0,080 | 0,040 | 0,060 |
| 17 | F | 1.480 | 2.520 | 3.540 | 4.680 | 5.200 | 0,000 | 0,040 | 0,020 | 0,040 | 0,000 | 0,040 | 0,080 | 0,020 | 0,080 | 0,040 |
| 18 | F | 1.560 | 2.520 | 3.560 | 4.780 | 5.320 | 0,000 | 0,000 | 0,040 | 0,060 | 0,000 | 0,040 | 0,000 | 0,000 | 0,020 | 0,040 |
| 19 | M | 1.800 | 2.900 | 3.820 | 5.020 | 5.840 | 0,040 | 0,020 | 0,060 | 0,140 | 0,080 | 0,000 | 0,020 | 0,020 | 0,100 | 0,040 |
| 21 | F | 1.520 | 2.720 | 3.600 | 4.860 | 5.440 | 0,000 | 0,080 | 0,080 | 0,060 | 0,000 | 0,000 | 0,040 | 0,080 | 0,100 | 0,000 |
| 22 | F | 1.760 | 2.700 | 3.880 | 5.180 | 5.720 | 0,000 | 0,060 | 0,000 | 0,020 | 0,000 | 0,000 | 0,060 | 0,000 | 0,020 | 0,000 |
| 23 | M | 1.560 | 2.920 | 3.940 | 5.240 | 5.600 | 0,000 | 0,040 | 0,020 | 0,000 | 0,080 | 0,080 | 0,040 | 0,020 | 0,000 | 0,080 |
| 24 | F | 1.480 | 2.520 | 3.460 | 4.840 | 5.540 | 0,040 | 0,000 | 0,060 | 0,040 | 0,020 | 0,000 | 0,040 | 0,100 | 0,000 | 0,020 |
| 25 | M | 1.700 | 2.720 | 3.780 | 5.040 | 5.680 | 0,020 | 0,080 | 0,060 | 0,040 | 0,000 | 0,020 | 0,080 | 0,060 | 0,040 | 0,000 |
| 26 | M | 1.600 | 1.340 | 3.800 | 0 | 5.660 | 0,000 | 1,380 | 0,040 | 5,080 | 0,020 | 0,000 | 1,420 | 0,000 | 4,800 | 0,020 |
| 28 | M | 1.780 | 3.000 | 4.040 | 0 | 5.860 | 0,020 | 0,040 | 0,000 | 0,000 | 0,060 | 0,020 | 0,120 | 0,000 | 0,000 | 0,100 |
| 29 | F | 1.460 | 2.540 | 3.620 | 4.900 | 5.560 | 0,020 | 0,060 | 0,060 | 0,060 | 0,040 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,080 |
| 30 | M | 1.480 | 2.540 | 3.640 | 4.920 | 5.540 | 0,000 | 0,060 | 0,040 | 0,080 | 0,020 | 0,000 | 0,060 | 0,000 | 0,040 | 0,100 |
| 31 | F | 1.720 | 2.680 | 3.700 | 5.260 | 5.560 | 0,080 | 0,080 | 0,020 | 5,260 | 0,000 | 0,000 | 0,080 | 0,020 | 5,260 | 0,000 |
| 32 | M | 1.700 | 2.680 | 3.700 | 5.220 | 5.540 | 0,060 | 0,080 | 0,020 | 5,220 | 0,020 | 0,020 | 0,080 | 0,020 | 5,220 | 0,020 |
| 33 | F | 1.680 | 2.800 | 3.720 | 4.820 | 5.440 | 0,040 | 0,040 | 0,000 | 0,100 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,140 | 0,040 |
| 34 | M | 1.880 | 2.960 | 3.860 | 0 | 5.560 | 0,080 | 0,080 | 0,060 | 0,000 | 0,080 | 0,080 | 0,000 | 0,060 | 0,000 | 0,080 |
| 35 | F | 1.720 | 2.660 | 3.620 | 2.280 | 5.400 | 0,040 | 0,060 | 0,020 | 2,280 | 0,080 | 0,040 | 0,020 | 0,020 | 2,280 | 0,040 |
| 36 | M | 1.500 | 2.840 | 3.740 | 5.120 | 5.560 | 0,020 | 0,040 | 0,100 | 0,080 | 0,000 | 0,020 | 0,120 | 0,100 | 0,080 | 0,080 |
| 37 | M | 1.740 | 2.560 | 3.780 | 0 | 5.520 | 0,020 | 0,040 | 0,020 | 0,000 | 0,080 | 0,140 | 0,040 | 0,020 | 0,000 | 0,000 |
| 38 | M | 1.560 | 2.720 | 3.760 | 5.080 | 5.540 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,040 | 0,060 | 0,000 | 0,040 | 0,040 | 0,080 | 0,060 |
| 39 | F | 1.800 | 2.760 | 3.800 | 5.220 | 5.620 | 0,080 | 0,000 | 0,120 | 0,060 | 0,180 | 0,120 | 0,080 | 0,000 | 0,060 | 0,180 |
| 40 | M | 2.120 | 0 | 3.960 | 0 | 5.880 | 0,080 | 3,040 | 0,080 | 0,000 | 0,080 | 0,040 | 3,120 | 0,040 | 0,000 | 0,040 |
| 41 | F | 1.400 | 2.340 | 3.360 | 4.780 | 5.200 | 0,000 | 0,020 | 0,040 | 0,020 | 0,000 | 0,040 | 0,020 | 0,040 | 0,060 | 0,040 |
| 42 | F | 1.620 | 2.900 | 3.740 | 4.920 | 5.400 | 0,060 | 0,100 | 0,020 | 0,040 | 0,000 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,000 | 0,040 |
| 43 | M | 1.960 | 3.040 | 4.040 | 5.200 | 5.600 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

Tabella VIII: PEU rilevanti in assenza di CEM Vs PEU rilevanti durante esposizione prolungata a CEM

te per parlare di effetto neurotossico da telefono cellulare in quanto largamente compensato dai processi fisiologici di termoregolazione^(1,15).

Anche dalla nostra ricerca è emerso, in linea con le conoscenze attuali, che dopo un'esposizione a 12 minuti di CEM a 900 MHz, il valore medio dell'innalzamento della temperatura è stato di 0,22°C e ciò giustifica l'assenza di alterazioni dei tracciati A.B.R. almeno a carico delle onde principali.

Non è stata inoltre riscontrata (tabella IV) alcuna

relazione tra sensazione soggettiva di calore a carico del padiglione auricolare esaminato ed aumento della temperatura corporea.

Una considerazione a parte merita l'analisi delle onde II e IV dove invece sono state riscontrate sostanziali variazioni sia in termini di latenza, analiticamente evidenziabili, che in termini di morfologia.

Ed infatti essendo queste ultime, già in condizioni di base, le onde più soggette a variazioni e quindi meno valutabili, possono non essere rilevanti ai fini dello studio, ma proprio la loro labilità potrebbe renderle

| | | Dopo 6' di esposizione | | | | | Dopo 12' di esposizione | | | | |
|----|---|------------------------|----|-----|----|---|-------------------------|----|-----|----|---|
| | | I | II | III | IV | V | I | II | III | IV | V |
| 1 | M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 3 | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | F | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | F | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 8 | M | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 9 | M | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | M | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 16 | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | M | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 28 | M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31 | F | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 32 | M | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 33 | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 34 | M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | F | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 36 | M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 37 | M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 38 | M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 39 | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | M | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 41 | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 42 | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 43 | M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 0 | 4 | 0 | 8 | 0 | 1 | 3 | 1 | 7 | 0 |

Legenda: '1' = Diff. Maggiore di 0,2 ms; '0' = Diff. Minore di 0,2 ms

Tabella IX: Differenza tra i tempi di latenza delle singole onde valutati in presenza di CEM (a 3 e 6 minuti di esposizione)

più vulnerabili all'azione dei CEM ad alta frequenza e quindi giustificare differenze di latenze maggiori di 0,2 ms che nella nostra ricerca sono state riscontrate in 4 ed 8 soggetti rispettivamente per le onde II e IV dopo 6 minuti di esposizione ed in 3 e 7 soggetti dopo 12 minuti di esposizione continua.

Visto però l'esiguo numero di soggetti esaminati, i risultati fin qui ottenuti possono solo avere un valore indicativo e pertanto, la ricerca, che è ancora in corso, mira ad aumentare il numero dei soggetti volontari al fine di stabilire con sufficiente certezza se le variazio-

ni riscontrate sono da ascrivere realmente ad effetti di tipo termico come invece ci auguriamo non sia.

BIBLIOGRAFIA

Bernardi P., Cavagnaro M., Pisa S., Piuze E.: "Incremento di temperatura indotto nella testa di un utilizzatore di telefoni cellulari." Dipartimento di Ingegneria Elettronica, Università di Roma "La Sapienza", 1998.

- Cardis E, Kilkenny M.: "International case-control study of adult brain, head and neck tumours: results of the feasibility study". *Radiat Prot Dosimetry*, 1999, 83, 179-183.
- Chiappa K.H.: Brain stem auditory evoked potentials: interpretation. In: Chiappa K.H., "Evoked potentials in clinical medicine". Eds Raven Press (2nd), New York, 1990, 223-306.
- Fanelli C., Coppola S., Barone R., Colussi C., Gualandi G., Volpe P., Ghibelli L.: "Magnetic Fields increase cell survival by inhibiting apoptosis via modulation of Ca^{2+} influx". *FASEB J*, 1999, 13 (1), 95-102.
- Gandhi O.M.: "Biological effects and medical applications of electromagnetic energy". Eds Prentice Hall, 1989.
- Grandolfo M., Michaelson S.M., Rindi A.: "Biological effects of non-ionizing radiations". Eds Plenum Publ., 1982.
- Jacobson J.T.: "The auditory brainstem response". Eds College-Hill Press, San Diego, 1985.
- Jewett D.L.: Auditory evoked potentials: overview of the field (and shoreline). In Barber C. and Blum T., "Evoked potentials III". Eds Butterworths, Boston, 1987, 19-30.
- L'Abbate N., Terrana T.: Le radiazioni non ionizzanti. In Ambrosi L. e Foà V.: "Trattato di Medicina del Lavoro". Eds UTET, Italia, 1996, 505-513.
- Lagorio S, Ardoino L, D'Ippoliti D, Forastiere F, Galiè E, Iavarone I, Jandolo B, Martuzzi M, Polichetti A, Salvan A, Vecchia P.: "Tumori del distretto cervico-encefalico e uso dei telefoni cellulari: uno studio epidemiologico internazionale". *Notiziario Ist. Super. Sanità* 2001, 14 (2), 3-9.
- Lin J. C.: "Electromagnetic interactions with biological system". Eds. Plenum Press, 1989.
- Parlapiano C., Tinè G., Tamburello C., Grisanti G.: "Studio preliminare degli effetti della telefonia cellulare sulle otoemissioni acustiche". *Atti del XXVII Congresso Regionale del Gruppo Siciliano di Otorinolaringoiatria, Patologia Cervico-Facciale, Audiologia e Fonoatria*. Palermo, 19-21/Settembre/1997.
- Polk C., Postow E.: "Handbook of biological Effects of electromagnetic fields". Eds. CRC Press, 1986.
- Thury J.: "Microwaves: industrial, scientific and medical applications". Eds. Grant E. H. King's College London, Artech House Inc, 1992.
- Wang J, Fujiwara O: "FDTD Computation of temperature rise in the human head for portable telephone". *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 1999, 47 (8), 1528-34.

APPLICAZIONE DELLE DISTRIBUZIONI TEMPO-FREQUENZA CONE-SHAPED, ESPONENZIALE E DELLO SPETTROGRAMMA DI GABOR AI SEGNALI TEOAE DI 8 PAZIENTI CON MALATTIA AUTOIMMUNE

Grisanti Guido M.*, Martines E.**, Parlapiano C.**, Rodonò G.*

* Dipartimento di ricerche energetiche ed ambientali, Università di Palermo

** Dipartimento di biotecnologie mediche e medicina legale, Università di Palermo

Scopo dello studio

Lo scopo di questo studio è ottenere una rappresentazione del segnale TEOAE (Otoemissione Acustica Evocata Transitoria) tale da evidenziare i singoli segnali monocomponenti contenuti in esso.

Sono stati presi in considerazione i tracciati delle TEOAE di 8 pazienti affetti da malattia autoimmune; ogni segnale di otoemissione è stato ottenuto con frequenza di campionamento di 25 kHz, protocollo di stimolazione non lineare, frequenza dello stimolo (click) di 50 Hz ed estremi della finestra di acquisizione pari a 2,5 ms e 20 ms; sono stati poi aggiunti campioni nulli sino ad ottenere 512 campioni per risposta.

Successivamente sono stati applicati a tali segnali gli algoritmi, riportati in appendice, delle distribuzioni tempo-frequenza Wigner-Ville, Cone-Shaped ed esponenziale (Choi-Williams) e degli spettrogrammi di Gabor di ordine 3 e 4.

Sul piano tempo-frequenza si sono ottenuti dei grafici d'intensità interpolando con una scala di colore i risultati precedenti sia con scala di interpolazione lineare che con scala logaritmica; sono stati misurati, per ogni risposta, le componenti a frequenza costante, gli impulsi temporali e i segnali chirp; infine sono state avanzate ipotesi sull'attendibilità di tale procedimento.

L'uso di varie distribuzioni tempo-frequenza permette di attenuare di volta in volta uno dei due principali problemi che esse presentano, l'interferenza da termini incrociati e la risoluzione; infatti un miglioramento di uno di questi parametri viene compensato con il parallelo peggioramento dell'altro; la distribuzione di Wigner-Ville ha la risoluzione tempo-frequenza più alta, ma è fortemente affetta dall'interferenza dei crossterm; il suo uso è limitato in questo contesto alla definizione dei contorni di strutture tempo-frequenza del segnale TEOAE già individuate con le altre distribuzioni.

Metodi

Sono stati analizzati i 16 tracciati TEOAE di 8

pazienti di età compresa tra 27 e 66 anni; i tracciati sono stati acquisiti nel corso di una ricerca audiologica sulle malattie autoimmuni; tutti i soggetti in esame presentavano una manifestazione patologica di natura autoimmune, ma non tutti presentavano deficit uditivo, come emerso dagli esami audiometrici liminari standard eseguiti sugli stessi.

L'acquisizione dei tracciati delle otoemissioni TEOAE è avvenuta tramite il sistema ILO88™ v. 4.2b prodotto dalla Otodynamics Ltd.; la misurazione è stata svolta in cabina silente, e la durata di ogni sessione di registrazione è stata di circa 140 sec.; la sonda di acquisizione adoperata è stata il modello BC920816 della Otodynamics; il protocollo di stimolazione scelto è stato quello non lineare, detto anche derivato, con frequenza di stimolazione pari a 50 Hz e la forma d'onda dello stimolo adoperato è del tipo "click".

La finestra di acquisizione relativa ad ogni stimolo è rettangolare e compresa tra gli istanti 2,5 ms e 20 ms misurati dall'inizio di ogni stimolo.

L'intensità degli stimoli è stata scelta automaticamente dal sistema nel range 47-68 dB SPL, con variazione minima di 3dB per ottimizzare il rapporto segnale/rumore; quest'ultimo ha presentato in effetti notevoli variazioni sia a causa del livello di rumore ambientale, sia per la diversa funzionalità della coclea e delle sezioni media ed esterna dell'apparato uditivo del soggetto.

Il segnale acquisito dalla sonda è stato amplificato e successivamente filtrato prima con un filtro passa alto del 2° ordine avente frequenza di taglio 350 Hz e guadagno 1,50, e poi con un filtro passabasso del 4° ordine avente frequenza di taglio 10,0 kHz e guadagno 2,0.

La frequenza di campionamento del segnale analogico è stata posta a 25 kHz; questa scelta ha permesso di soddisfare pienamente il criterio di Nyquist, dato che le frequenze più alte presenti nei segnali TEOAE non superano i 4 kHz. La conversione A/D è avvenuta con quantizzazione uniforme a 12 bit e un numero dispari di livelli.

Successivamente il segnale digitale è stato filtrato con filtro del 2° ordine avente frequenze di taglio 0,5 ÷ 6,0 kHz.

I tracciati finali sono stati ottenuti come medie aritmetiche eseguite su 260 registrazioni; successivamente sono stati scartati i tracciati “non validi”, dove per tracciato valido si è considerato una risposta digitalizzata con rapporto segnale/rumore superiore ad una certa soglia in 5 bande frequenziali contigue.

Le elaborazioni successive hanno previsto la conversione dei dati dal formato ILO88 al più comune ASCII, il calcolo delle energie dei segnali e delle medie delle distribuzioni tempo-frequenza, e sono state svolte direttamente su PC utilizzando moduli costruiti appositamente all'interno dell'ambiente di sviluppo LABVIEW™.

L'analisi tempo-frequenza è stata svolta adoperando il modulo “Joint Time-Frequency Analyzer” (JTFA)

v.3.a sviluppato dalla National Instruments Co. per l'ambiente di sviluppo LABVIEW™.

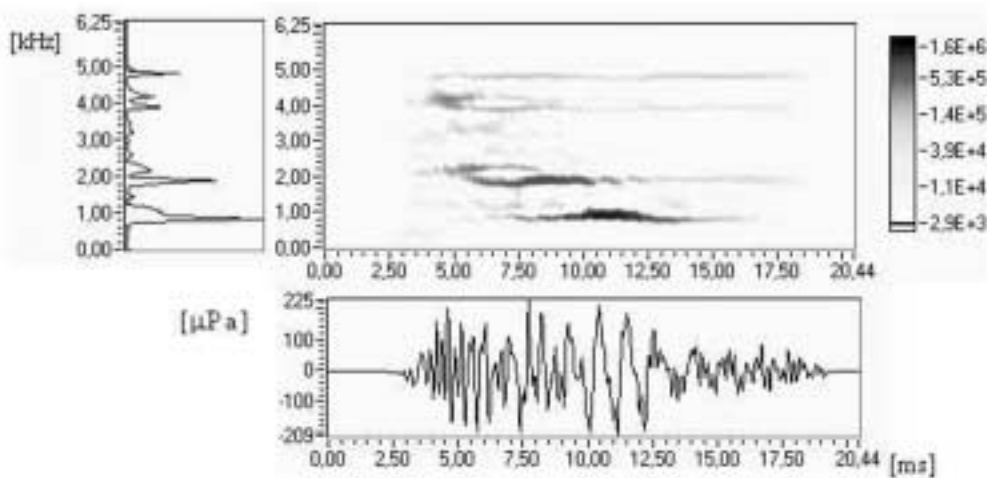
Risultati sperimentali

Sono mostrati di seguito gli spettrogrammi ottenuti con i metodi descritti in precedenza relativi ai segnali TEOAE destro e sinistro del paziente n. 4:

Paziente n.4 lato dx

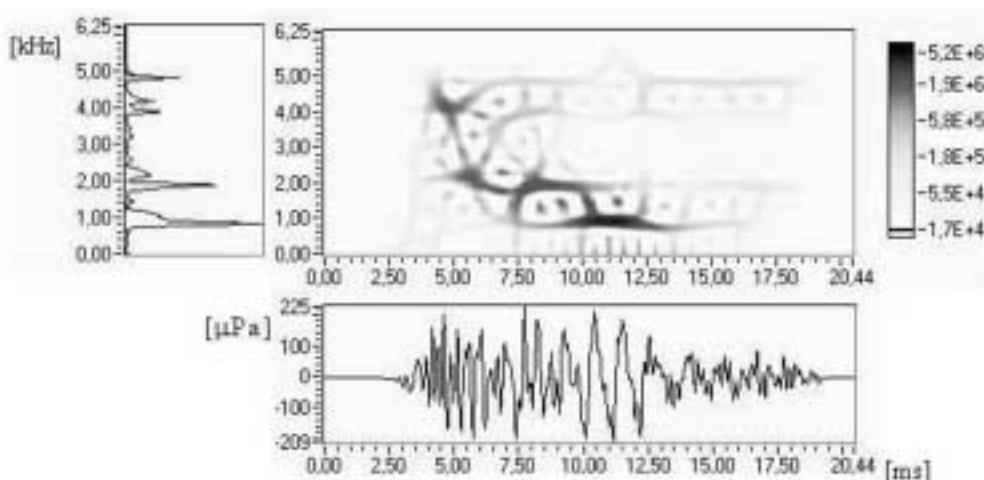
L'energia del segnale risulta pari a $2,37 \cdot 10^{-13} \text{ J/m}^2$; la massima frequenza distinguibile è di 4,83 kHz.

La distribuzione Cone-Shaped con $\alpha=0,5$ evidenzia una componente con frequenza costante di 0,83 kHz tra 7 ms e 15 ms, con una zona di massima densità di energia tra 9,92 ms e 12,32 ms e tra 0,83 kHz e 0,98 kHz:



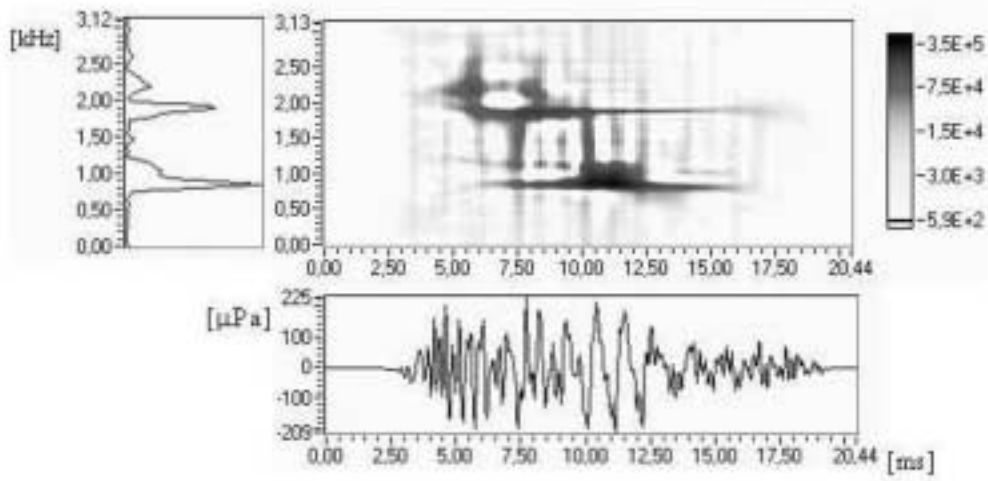
4dx - Distribuzione Cone-Shaped con parametro $\alpha=0,5$

Con lo spettrogramma di Gabor di ordine 4 si evidenzia bene un segnale chirp tra (4,32 ms - 4,5 kHz) e (5,84 ms - 2 kHz):



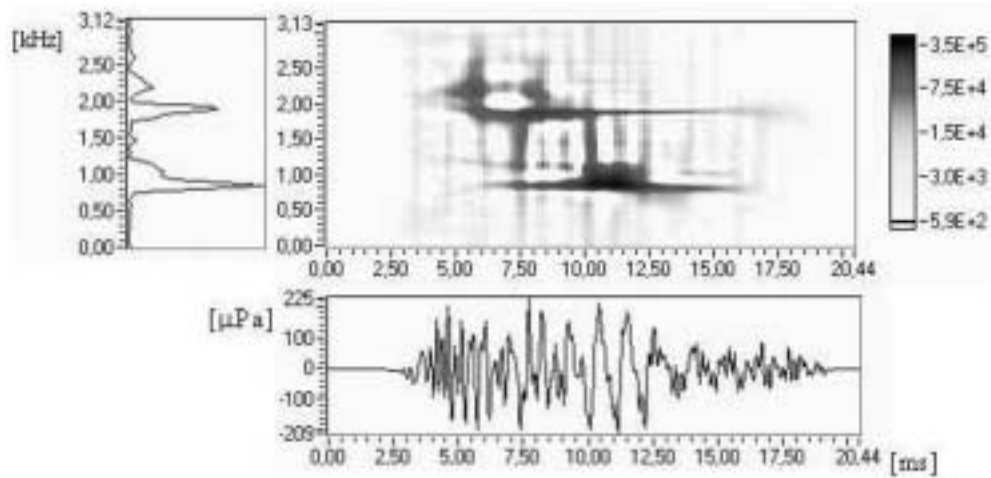
4dx - Spettrogramma di Gabor di ordine 4

Questa struttura è evidente anche adoperando la distribuzione di Wigner-Ville:



4dx - Distribuzione di Wigner – Ville

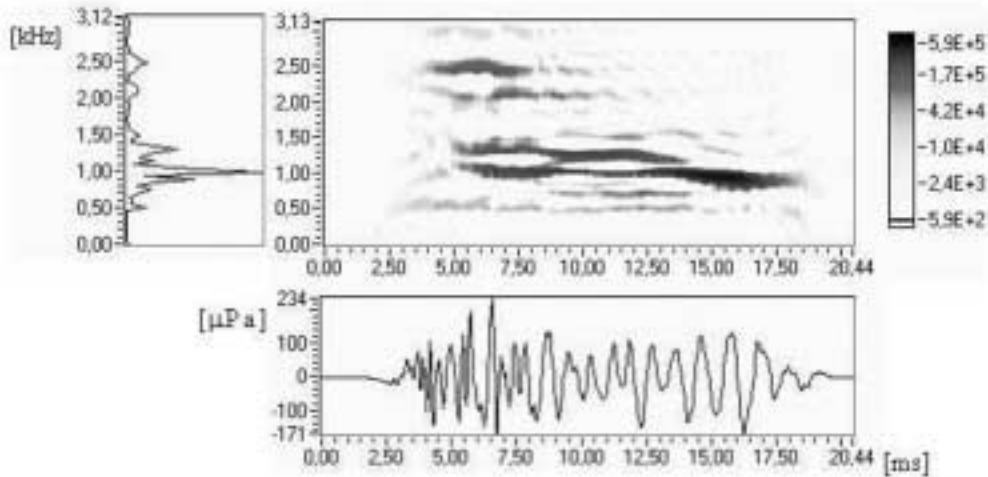
Infine con la distribuzione esponenziale applicata al segnale analitico con $\alpha=1$ si evidenziano due impulsi negli istanti 7,52 ms e 10,24 ms:



4dx - Distribuzione esponenziale con $\alpha=1$ sul segnale analitico

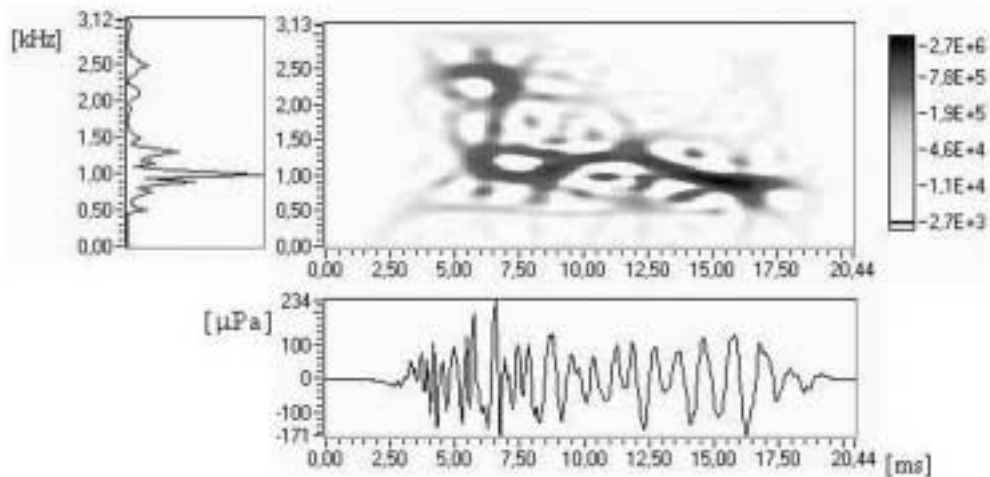
Paziente n.4 lato sx

L'energia del segnale risulta pari a $2,20 \cdot 10^{-13}$ J/m²; la massima frequenza distinguibile è di 4,2 kHz. La distribuzione Cone-Shaped con $\alpha=0,5$ evidenzia due componenti alle frequenze costanti di 1,05 kHz e 1,32 kHz tra 5,28 ms e 13,76 ms, seguite da una zona di massima densità di energia compresa tra 13,76 ms e 16,96 ms e tra 0,85 kHz e 1,03 kHz:



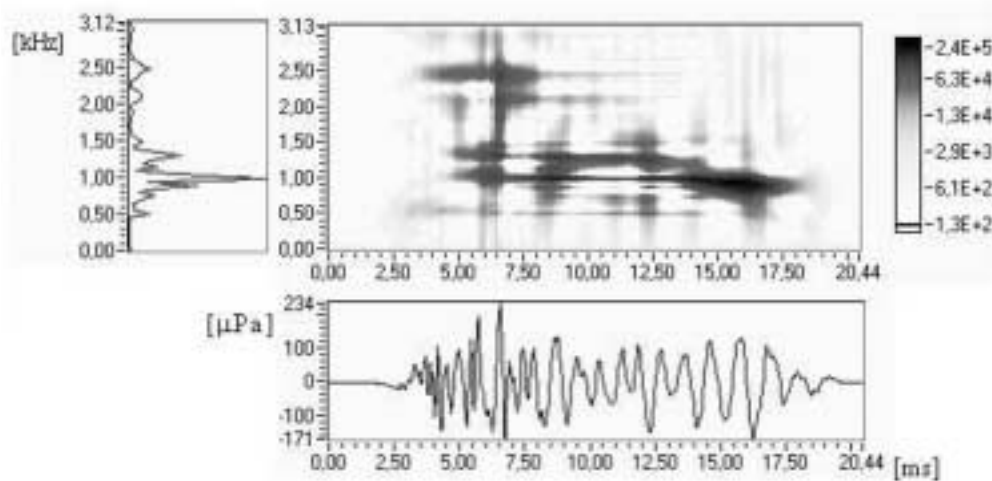
4sx - Distribuzione Cone-Shaped con parametro $\alpha=0,5$

Lo spettrogramma di Gabor di ordine 4 mostra che la regione di massima densità energetica ha una struttura a chirp tra (12 ms - 1,3 kHz) e (17,44 ms - 0,9 kHz)



4sx - Spettrogramma di Gabor di ordine 4

Infine con la distribuzione esponenziale con parametro $\alpha=0,3$ applicata al segnale analitico si evidenzia un impulso a banda larga in $t = 6,56$ ms:



4sx - Distribuzione esponenziale con parametro $\alpha=0,3$ calcolata sul segnale analitico

Discussione

La distribuzione più importante nell'analisi dei tracciati è stata la Cone-Shaped; essa ha consentito di rivelare le componenti a frequenza costante o leggermente variabile, e di evidenziarne le regioni di massima densità energetica. Un altro aspetto positivo della Cone-Shaped è stata la precisione nel rivelare le componenti a frequenze più elevate, in genere molto deboli e identificabili con segnali relativi ad emissioni otoacustiche spontanee; in ogni caso la massima frequenza così misurata è stata costantemente inferiore a quella massima misurata dallo spettro di potenza. La Cone-Shaped non è riuscita invece ad evidenziare segnali impulsivi, mentre i segnali chirp si sono presentati come una successione nel tempo di linee orizzontali o debolmente inclinate sconnesse tra loro. L'uso del segnale analitico consente una maggiore risoluzione frequenziale nello spettrogramma, ma in genere tale scelta non è stata fatta per non distorcere la struttura tempo-frequenza dello spettrogramma.

Lo Spettrogramma di Gabor ha dato luogo a grafici con la tipica struttura a "ragnatela"; è stato adoperato per misurare gli estremi dei segnali chirp, evidenziati molto chiaramente così come le zone di massima densità energetica; sono apparsi invece meno nitidi gli impulsi temporali; non si è riusciti inoltre a misurare con precisione i contorni delle componenti a frequenza costante, che tendono a trasformarsi in regioni fortemente ellissoidali; inoltre lo spettrogramma di Gabor ha reso difficile la distinzione tra autotermini

e termini incrociati. a distribuzione di Wigner-Ville possiede un'ottima risoluzione nel dominio tempo-frequenza ma purtroppo è fortemente affetta dall'interferenza introdotta dai termini incrociati; di conseguenza non è praticamente possibile, adoperandola, separare i contributi energetici dovuti ai vari segnali monocomponenti che formano il segnale complessivo.

La distribuzione esponenziale è stata adoperata essenzialmente per misurare con precisione gli istanti in cui sembrano presentarsi segnali impulsivi; tuttavia una difficoltà costante presentata dalla distribuzione esponenziale calcolata sul segnale semplice è stata la comparsa di bande verticali che, imitando la struttura tempo-frequenza dell'impulso temporale, spesso ne ha reso di fatto impossibile il riconoscimento. In ogni caso un'indicazione da parte di questa distribuzione della presenza di un impulso temporale ad un certo istante è sempre molto incerta, e va verificata con lo spettrogramma di Gabor e con l'osservazione del tracciato temporale del segnale.

Un altro problema di questa distribuzione è che non smorza i crossterm relativi a coppie di sottosegnali che nel piano tempo-frequenza sono centrati su punti aventi uguale coordinata temporale o frequenziale; la conseguenza sul piano grafico è la comparsa di numerose figure di interferenza costituite da segmenti orizzontali o verticali. Da notare negativamente infine è stata la particolare lentezza di calcolo di questa distribuzione rispetto a tutte le altre.

Conclusioni

La distribuzione Cone-Shaped realizza un ottimo compromesso tra risoluzione tempo-frequenza e limitazione dei termini incrociati evitando inoltre, a differenza di quella esponenziale, la comparsa di strisce verticali non corrispondenti ad autotermini.

La distribuzione di Wigner-Ville produce spettrogrammi ad alta definizione ma assai poco interpretabili.

Lo spettrogramma di Gabor e la distribuzione esponenziale infine permettono di misurare in modo ottimale rispettivamente i segnali chirp e gli impulsi temporali.

Appendice

Le distribuzioni usate in questo lavoro, eccetto lo spettrogramma di Gabor, appartengono alla classe di Cohen. Considerando segnali a tempo discreto, vi sono più possibili definizioni della classe di Cohen; ci si limita qui a considerare solo la seguente definizione, valida per segnali a tempo discreto, complessi e a durata finita, adottata negli algoritmi del modulo JTFA dell' ambiente grafico di sviluppo LABVIEW%o:

$$C_i^{(n,k)} \triangleq \sum_{m=-L/2}^{L/2} \left[\sum_{n=0,1,\dots,L-1} x(n-i+m) s^*(n-i-m) \varphi(i,m) \right] e^{-j\frac{2\pi}{L}km}$$

dove L è il numero complessivo di campioni di s ottenuti con periodo di campionamento T. Si sceglie in genere L potenza di 2 per facilitare il calcolo della FFT; nel caso in cui L non sia una potenza di 2 si aggiungono campioni nulli sino a raggiungere la potenza di 2 successiva.

La distribuzione Cone-Shaped per segnali a tempo discreto è caratterizzata dal nucleo φ così definito:

$$\varphi(i,m) = \begin{cases} e^{-\frac{\alpha m^2}{2L}} & |i| < |m| \\ 0 & \text{altrove} \end{cases}$$

dove α è un parametro positivo variabile inversamente proporzionale al grado di smussamento della distribuzione; dunque la versione discreta della distribuzione Cone-Shaped risulta uguale a:

$$C_i^{(n,k)} = \sum_{m=-L/2}^{L/2} \sum_{n=0,1,\dots,L-1} e^{-\frac{\alpha m^2}{2L}} x(n-i+m) s^*(n-i-m) e^{-j\frac{2\pi}{L}km}$$

La distribuzione esponenziale o di Choi-Williams è caratterizzata dal nucleo:

$$\varphi(i,m) = \sqrt{\frac{\alpha}{4\pi m^2}} e^{-\frac{\alpha}{4m^2}}$$

dove α è un parametro positivo variabile inversamente proporzionale al grado di smussamento della distribuzione; dunque la versione discreta della distribu-

zione esponenziale è la seguente:

$$C_i^{(n,k)} = \sum_{m=-L/2}^{L/2} \sqrt{\frac{\alpha}{4\pi m^2}} \sum_{n=0,1,\dots,L-1} e^{-\frac{\alpha}{4m^2}} x(n-i+m) s^*(n-i-m) e^{-j\frac{2\pi}{L}km}$$

Nell' implementazione pratica di questa distribuzione si usa per il nucleo φ(i,m) una finestra di durata temporale finita pari a 2M+1, e ciò si traduce nell' ulteriore condizione |i| ≤ M sull' indice della somma di convoluzione.

La distribuzione di Wigner-Ville è caratterizzata dal nucleo:

$$\varphi(i,m) = \delta(i)$$

dunque la versione discreta della distribuzione Wigner-Ville è:

$$C_i^{(n,k)} = \sum_{m=-L/2}^{L/2} x(n+m) s^*(n-m) e^{-j\frac{2\pi}{L}km}$$

Bibliografia

- [1] Cohen L., "Time-Frequency Distributions - a review", *Proc. IEEE*, vol. 77, N° 7, 1989, pp. 941-981
- [2] Zhao Y., Atlas L.E., Marks R., "The use of Cone-Shaped Kernels for Generalized Time-frequency representations of Nonstationary Signals", *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Vol. 38, No. 7, July 1990, pp. 1084-1091.
- [3] Choi H., Williams W.J., "Improved Time-frequency Representation of Multicomponent Signals Using Exponential Kernels", *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Vol. 37, No. 6, July 1989, pp. 862-871.
- [4] Qian S., Chen D., "Joint Time-Frequency Analysis", Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1996.
- [5] Kemp D.T., "Stimulated otoacoustic emissions from within the human auditory system", *J. Acoust. Soc. Am.* 64, 1978, pp.1386-1391.
- [6] Grzanka A., Hatzopoulos S., ?liwa L., Muli?ski W., "Reduction of Cross Terms in Wigner-Ville Distribution of Transiently Evoked Otoacoustic Emission", *Bulletin of Polish Academy of Sciences*, Vol. 49, No. 3, 2001, pp. 493-503.
- [7] Hatzopoulos S., Cheng J., Grzanka A., Martini

A., "Time-frequency analyses of TEOAE recordings from normals and SNHL patients", *Audiology*, Jan-Feb 2000; No. 39 (1), pp. 1-12.

[8] Cheng J., "Time-Frequency Analysis of Transient Evoked Otoacoustic Emissions via Smoothed Pseudo Wigner Distribution", *Scandinavian Audiology* 1995;24 pp. 91-96.

[9] Tognola G., Grandori F., Ravazzani P., "Time-Frequency Distributions of Click-Evoked

Otoacoustic Emissions", *Hearing Research* 1997, 106, 1-2, pp. 112-122.

Comunicazione presentata al XXIX congresso nazionale della Società Italiana di Audiologia - Le Castella - Isola di Capo Rizzuto - Crotone, 24/27 Settembre 2003.

XXIX Congresso Nazionale Società Italiana di Audiologia
Catanzaro 24-27 Settembre 2003
Relazione Inaugurale

IL SILENZIO E LA VOCE: SUGGERZIONI MAGNO-GRECHE DI UNA FILOSOFA DI CROTONE
Prof. Laura Faranda

Ringrazio anzitutto gli organizzatori del Convegno per la fiducia accordatami nel propormi un intervento “di benvenuto”, per certi aspetti inaugurale: un intervento che dovrebbe lasciare intuire la ricchezza e il prestigio storico-antropologico del territorio che ospiterà, in queste tre giornate, il Congresso della vostra Società. Non so se sarò all'altezza del compito assegnatomi; so per certo, tuttavia, che la mia sarà “una voce fuori dal coro”, e che la mia formazione antropologica (mi occupo in particolare di antropologia del mondo antico) finirà per “forzare” il vostro ascolto in una direzione tematica che mi auguro non sia troppo disorientante.

Avrei potuto optare per un excursus di sintesi sulla ricchezza di quest'area della Magna Grecia; avrei potuto soffermarmi sull'eloquenza di una cronologia che colloca Crotone (la cui fondazione risale al 709-708 a.C.) – al pari di Siracusa (733 a.C.) o di Metaponto (773), o di Milazzo (716) o di Sibari (708) – fra le più antiche *aree achee* di colonizzazione greca; e avrei potuto tentare di contestualizzare nel presente una simile eredità, lasciandovi appena intuire gli esiti geo-antropici di un processo di ellenizzazione che ha caratterizzato nei secoli il territorio che ci ospita. Ma il tempo a nostra disposizione avrebbe finito per mortificare ogni ambizione alla sintesi. E allora ho preferito concentrarmi elettivamente su un solo esempio, su una sola suggestione, su una storia e una figura paradigmatica che mi è sembrato avvicinarsero emblematicamente e metaforicamente questa terra antica al vostro campo di saperi.

Riposando sulla convinzione tanto elementare quanto inequivocabile che l'*orecchio*, oltre che il primo organo sensoriale che si instaura nella vita embrionale, sia anche una fonte creatrice di universi simbolici, cercherò di ancorare le oscillazioni percettive della coscienza uditiva a una precisa stagione storica. Proverò a far viaggiare – con un ampio supplemento di libertà – alcune categorie sensoriali sulle quali si fonda una disciplina come l'Audiologia – il suono, la voce, il silenzio – nella storia di Crotone e nella sua eredità magno-greca. Una storia insolita, a dire il vero, che è al tempo stesso storia di corpi e di silenzi. Di corpi femminili che si dischiudono alla pedagogia dell'ascolto. Di figure sonore che concorrono all'articolazione di un mondo immaginativo. Di silenzi che

parlano dell'indicibile, che preludono all'ascolto sommerso di un suono originario, di una voce fondatrice. Cosicché, attraverso i precetti di Teano – una filosofa allieva di Pitagora, nata e vissuta nell'area crotoniate – tenterò di lasciare intuire alcune potenzialità simboliche dell'universo sonoro, ma soprattutto il potere accordato al binomio simbolico voce-silenzio, nello scenario storico-culturale di una donna della Magna Grecia.

Per iniziare, l'enfasi e l'emozione di una scrittura al femminile, evento di per sé eccezionale, per una storia delle donne nel mondo antico così avara di testimonianze dirette. Siamo a Crotone, più di 2.500 anni fa: in quella *Magna Graecia* la cui “grandezza” è al tempo stesso politica e culturale; in una terra in cui la presenza e l'influenza culturale e politica di Pitagora comincia ad annoverare allievi e allieve di prestigio. In questa Crotone del VI secolo a.C. una donna, una donna insolita – potremmo dire “unica” nel suo genere e nell'ordine etico del genere che rappresenta – prende a servizio uno strumento altrettanto inusuale per dialogare con un'amica e le scrive una lettera. Di questa lettera ci giunge un frammento, che per la sua brevità e per la sua eloquenza riporto quasi integralmente:

Quale dolore – scrive Teano all'amica Euridice – invade la tua anima? Tu sei disperata per niente altro se non perché colui con cui sei unita in matrimonio va con una etèra, per il piacere del suo corpo. Ma non ti affliggere, o meravigliosa tra le donne: non sai tu in effetti, che l'*orecchio* ora è preso dal piacere del suono della lira o di un canto musicale, ma quando ne è sazio gode volentieri ad ascoltare il flauto? Ora, nonostante quel rapporto, [tu credi che] il flauto sia in grado di reggere il confronto con le corde musicali e con l'ammirevole *suono* di una lira della più soave qualità? Considera che un rapporto analogo vi è fra te e la cortigiana con cui va tuo marito¹.

Due donne a confronto: una moglie sottratta all'anonimato, ma di cui conserviamo poco più che un nome e un “dolore” e una donna che la tradizione filosofica antica annovera fra le figure più autorevoli della scuola pitagorica. Due donne a confronto che mutuano dalla loro “fonosfera acustica” e dal loro universo simbolico sonoro due metafore esemplari.

Laddove l'equilibrio e l'armonia di un legame coniugale viene turbato dalla scoperta di una passione per una cortigiana, ecco infatti che «la misurata proporzione della moglie rispetto alla scomposta passionalità del rapporto con la cortigiana trova un corrispettivo simbolico nell'opposizione tra lira e flauto. Alla lira, strumento apollineo in cui risulta evidente ed esemplare il rapporto tra i suoni delle corde e il loro grado quantificabile di tensione, si contrappone il flauto orgiastico e dionisiaco. Alla misura, tranquilla sino alla monotonia, e all'armonia, si contrappone la sregolatezza che viene tollerata solo se riconosciuta come disarmonico, passeggero sfogo»².

Nella lettera a Euridice e nella metafora del flauto e della lira sono riconoscibili, come vedremo, i temi dominanti di un "sapere femminile" di cui Teano la crotoniate sarà portavoce esemplare, ma anche di una "pedagogia al femminile" che getta le proprie fondamenta nei paradigmi dell'armonia e della saggezza e nella loro stretta relazione di equivalenza. Un'armonia e una saggezza che si conquistano progressivamente, attraverso l'esercizio di un *silenzio* che diventerà la vera virtù delle donne istruite da Teano, il principio caratterizzante di un'esistenza votata al pudore e alla muta fedeltà verso lo sposo.

Chi era, dunque, Teano, questa esemplare maestra del silenzio?

La tradizione antica la valorizza principalmente come la prima donna filosofa. Pitagora la incontra per l'appunto a Crotona, dove approda intorno al 530 a.C. e dove fonda – dopo aver conquistato i favori e gli animi di anziani, giovani, ragazzi e infine donne – la sua comunità ideale. Figura rappresentativa di un nuovo sistema politico-filosofico fondato sull'armonia e sul buon governo, Teano sembra incarnare un modello ideale di donna, coerente con le funzioni, i valori e gli spazi che nel mondo pitagorico vengono ad essa attribuiti. Non a caso la donna istruita da Teano viene assunta a sua volta come depositaria delle memorie della scuola, di una rete di saperi preclusi alla diffusione, accessibili solo a pochi iniziati. Relegate nello spazio domestico, confinate nel silenzio, escluse dalla sfera acustica della vita pubblica, le donne, dopo essere state iniziate alla disciplina del silenzio, appaiono come i soli contenitori sicuri del "verbo pitagorico": la trasmissione del messaggio della scuola avviene così da Pitagora a Damo, la figlia, e alla morte di Damo alla figlia Bitale.

Tornando alla biografia di Teano, la documentazione, scarna e lacunosa di indicazioni attendibili, non ci consente in alcun modo di abbozzare un suo profilo biografico, né di ancorarci a riferimenti cronologici certi. I cenni indiretti che la riguardano, presenti nelle opere a carattere biografico su Pitagora, più che alle sue doti filosofiche attribuiscono gran parte della sua fama al suo esser stata figlia, madre, moglie e discepola di famosi pitagorici, quando non dello stesso Pitagora, di cui una sostenuta tradizione documentaria la vuole sposa, oltre che feconda discepola e

depositaria dei suoi scritti. Anche nel caso di Teano, come in numerosi altri casi in cui la donna antica esce dall'anonimato della storia, siamo di fronte a una biografia ingannevole: un inganno che la stessa Teano contribuisce ad alimentare, se è vero che a chi le pose la domanda «Come hai fatto a diventare famosa benché donna?» la filosofa di Crotona pare abbia risposto che ciò dipendeva dall'aver tessuto la tela e diviso con il suo sposo il letto coniugale³.

Niente di più falso, se si considera che, oltre che buona tessitrice, Teano era anche una prolifica scrittrice, in epoca di assoluto analfabetismo femminile. Purtroppo, tuttavia, se si escludono un frammento, poche lettere e un poema epico in versi, delle opere di Teano non ci rimangono che i titoli: *Sulla devozione*, *Sulla virtù*, *Esortazioni alle donne*, *Intorno a Pitagora*, *Massime pitagoriche*, *Commentari filosofici*. Titoli comunque eloquenti e rappresentativi sia della tensione etica della filosofa volta al perseguimento di un modello di virtù, di equilibrio e di fedeltà da condividere con le altre donne, sia della sua vocazione divulgativa dei contenuti della filosofia pitagorica; il che sembrerebbe in contraddizione con la pratica esoterica del silenzio, se non fosse che, proprio sul tema del silenzio – motivo costante e imperativo del pensiero pitagorico –, sembra esercitarsi l'attenzione di Teano nei confronti della natura femminile⁴.

Oltre che una pratica esoterica volta a difendere alcune verità della scuola, oltre che una prova iniziatica (pare che Pitagora imponesse agli aspiranti discepoli cinque anni di silenzio), l'arte del tacere rappresentava la virtù più apprezzata dell'animo femminile: in questa prospettiva, almeno a giudicare da quanto ci è pervenuto dei suoi scritti, sembra che l'impegno divulgativo di Teano si realizzi anzitutto in una accurata pedagogia del silenzio. Un silenzio inteso come divieto di divulgare le verità segrete della filosofia pitagorica, ma soprattutto un silenzio inteso come regola di vita volta a riplasmare entro un regime di saggezza e di virtù una natura femminile costitutivamente inadatta alla vita pubblica.

Così, attraverso un'instancabile opera di "domesticazione", la donna su cui Teano esercita la sua *paideia* piegherà la sua natura indomita, rendendo eloquentemente muto un corpo che viene avvertito e temuto come luogo virtuale dell'alterità, della destabilizzazione di ogni principio razionale, di costante attentato al sublime destino dell'anima: «È preferibile – scrive in proposito la stessa Teano – affidarsi a un cavallo senza freni che a una donna dissennata». E certamente alla avveduta filosofa ritornano a mente costantemente, nell'esercizio della sua funzione pedagogica, le innumerevoli signore del grido, testimoni inquietanti di un'oralità superstite che animeranno per almeno due secoli la scena tragica della Grecia classica e gli spazi rituali del mondo magno-greco. Non a caso ammonisce le donne a far proprio il modello di Penelope, maestra di silenzio, per non incorrere nel rischio di somigliare a Medea, sposa ribelle e madre assassina.

Dopo aver soffocato ogni grido, dopo avere rinunciato a ogni voce dissonante che evochi il frastuono di un corpo sottomesso alle note stridule del flauto, la donna auspicata da Teano dovrà rigenerarsi come “contenitore” muto ed abile, come sapiente ministra di un sapere precluso ad ogni spazio pubblico. Eloquentemente appare a questo proposito l’episodio più tardo attribuito alla pitagorica Timica, moglie di Millia, la quale, prigioniera col marito del tiranno Dionisio, che tentava di estorcerle i segreti della scuola pitagorica, «pur di non parlare, si staccò la lingua e la sputò sul volto del tiranno, temendo che la sua *debole natura di donna*, soccombendo sotto i tormenti, fosse costretta a rivelare alcunché dei segreti della setta»⁵. Ed è significativo che un gesto di mutilazione così eloquente venga riportato dai biografi come replica alla violenza di un tiranno che proprio per estorcere segreti ai prigionieri fece edificare a Siracusa l’emblema più ambiguo della potenza dell’ascolto, il famoso, credo a tutti noto *orecchio di Dionisio*.

Ma il silenzio femminile postulato da Teano, oltre che come sacrificio volontario ai segreti misterici, viene posto anche in stretta connessione con il pudore quotidiano, ovvero con la vocazione a proteggere e a celare di fronte agli estranei la propria identità, nonché la propria fragilità emotiva e psichica:

«Anche delle parole – scrive in proposito Teano – è bene che una donna saggia non faccia sfoggio in pubblico, e anche di parlare davanti agli estranei abbia vergogna, come se si spogliasse, e se ne astenga: nella voce, infatti, si possono intravedere la sensibilità (*pathos*), l’indole (*hethos*) e lo stato d’animo di colei che parla»⁶.

Il passo si presterebbe ad una serie articolata di considerazioni che qui, per ragioni di tempo, siamo costretti a contrarre: ci limiteremo a segnalare l’eloquenza di un’analogia “forte”, che assimila la voce al corpo femminile: parlare, per una donna, equivale a spogliarsi; la presenza della voce rischia di tradire il frastuono di un corpo che oltrepassa gli argini di un destino riproduttivo, unica ragione della sua visibilità sociale. Nel mondo greco (e non di meno nelle sue colonie culturali) il riconoscimento sociale di una voce femminile si attua solo in assenza di un corpo visibile: si pensi, per tutte, alla voce mantica della Pizia (o, in area magno-greca, della Sibilla), che solo annullando il proprio corpo, rendendolo impenetrabile alla vista dei fedeli può farne strumento di passaggio della parola divina, attraverso la sua propria voce; la coesistenza di corpo e voce in un soggetto femminile, di contro, viene percepita come insostenibile conflitto culturale: si pensi alle inquietanti voci gutturali delle figlie di Danao, vergini ribelli rispetto a uno statuto etico-politico che le vorrebbe consacrate alla coniugalità; si pensi, ancora, alle voci contraffatte, ai “latrati” ferinici delle Baccanti che, invasate da Dioniso, abbandonano i vincoli della natura

umana per incarnare, sospinte dal suono del flauto, l’immagine selvaggia di una donna sinistra, di una cagna, di una madre assassina.

L’invito al silenzio di Teano appare in questa chiave critica frutto di una consapevolezza quasi ancestrale delle potenzialità trasgressive della natura e quindi della voce femminile; di questa consapevolezza rimangono tracce vibranti nella letteratura medica e in quella filosofica posteriore: così, «le “voci stridenti” dell’alienato rappresentano per Galeno qualcosa di più arcaico e inquietante. Nella loro violenza anomica sono le manifestazioni di un “guasto irrimediabile”, che si è prodotto all’atto della “prima formazione” dei temperamenti e dalla cui esistenza dipende sia la malattia fisica che quella mentale e morale.⁷». E ancora, contro i “torrenti di voce” scaturiti da un’alienazione di matrice femminile, la pedagogia platonica si leva a evocare quel brusio anonimo di “voci” che, succhiate col latte delle madri e delle nutrici ritornano sulla bocca degli adulti e che il legislatore ha il dovere di soffocare ancora prima della nascita, imponendo alla donna gravida uno statuto comportamentale votato alla misura e al silenzio⁸.

Anticipando lo statuto etico prescritto da Platone, Teano la crotoniate pone il silenzio in stretta connessione con il pudore, principale virtù per una donna saggia. Proprio in riferimento alla conquista del principio della misura appare eloquente il richiamo di Teano a figure femminili mutuata dalla tradizione mitica ed epica. Sempre seguendo la pista del silenzio, ci limiteremo a segnalare le due eroine citate da Teano che in qualche modo appaiono esemplari della sua vocazione pedagogica: Penelope e Medea, che Teano, come si è già accennato, assume come paradigmi di due atteggiamenti opposti, in relazione alla loro identità femminile: Penelope, moglie esemplare, a cui la filosofa, abile tessitrice e compagna fedele di un talamo coniugale, si ispira in prima persona. Medea, di contro, incarnazione ferinica di un modello tanto fosco quanto rigettabile, moglie arrogante, possessiva e infine madre indegna, divorata dalla propria gelosia fino al matricidio.

Entrambe “maestre” nell’arte del tacere, Penelope e Medea votano il silenzio a due obiettivi di opposta natura. Fin dalla prima comparsa nello scenario epico dell’Odissea, Penelope, la saggia, astuta, prudente e fedele sposa di Odisseo, ci viene presentata nel ruolo di infaticabile e muta tessitrice: rinchiusa nelle sue stanze, al piano superiore del palazzo, la figlia di Icaro siede al suo telaio in compagnia delle ancelle. Totalmente estranea al tempo mondano dell’azione, la sua esistenza appare scandita da due momenti alterni, che si succedono senza apparente soluzione di continuità: da un lato la fatica vana al telaio, dall’altro la sofferenza consumata in una sorta di interregno esperienziale in cui il silenzio regna sovrano.

Diversa la natura del silenzio di Medea: «si tratta di un silenzio che prelude alla collera omicida, un silenzio che si accompagna alla potenza mortifera di uno

sguardo materno i cui “occhi torvi, di toro” si posano foscamente sui figli preannunciando un’ira funesta che non darà tregua. Metafora di un conflitto insanabile tra amore e follia, Medea racchiude nella sua figura la radicalizzazione estrema dello sguardo greco su un corpo femminile che rinvia alla insondabile memoria della carne; uno sguardo all’indietro attraversato dal fremito di un flusso vitale originario, nel quale nascita e morte si fondono⁹. E nel quale al silenzio fa eco il *grido*, metafora dell’eccesso e dell’alienazione, dell’anomia e dell’ambiguità.

Il richiamo ai modelli di Penelope o di Medea da parte di Teano ci indica in altri termini che l’esigenza di formulare una nuova immagine femminile non può prescindere – Teano mostra di avvertirlo costantemente – da quel “nucleo di verità” cui rinvia l’immagine ancora prepotente nella memoria collettiva di una donna-corpo, di una donna-madre, di una madre-terra, di una terra-divorante, di una fisicità imperante e tentacolare che si annida nella potenza della voce.

Ora, io credo che proprio su questo nucleo di verità, di cui la filosofa crotoniate intuisce già nel VI secolo a.C. il potenziale eversivo – e che conseguentemente, sposando la logica di una civiltà androcratica avversa con la potenza del proprio *lógos* discorsivo – si edificino secoli di conflitti, di omissioni storiche, ma anche di proliferazioni poetiche, di sopravvivenze mitico-rituali. Il corpo femminile, pur messo a tacere dall’etica di una sapiente prosa (l’epistolario di Teano è in questo senso esemplare), continua a parlare nella scena tragica e nella parola poetica, continua a sopravvivere nelle testimonianze storiche che ne raccolgono non tanto le spoglie, quanto le tracce palpanti.

Continua a proliferare nelle metafore evocate del flauto e della lira, *simboli acustici* di *universi sonori* che unificano, attraverso la pedagogia di Teano, le signore del grido e le maestre del silenzio in un unico progetto pedagogico. Metafore mutuata da un universo sonoro che consente a due donne di dialogare, consegnando i segni inquietanti di un corpo femminile costitutivamente ribelle (e ancora memore del clamore dei crotali e del gemito dei flauti cari alla Madre degli dèi), alla potenza della ragione, alla virtù della memoria, alla efficacia pedagogica dell’ascolto.

Note

¹ I frammenti delle lettere di Teano e altri testi attribuiti alle adepte pitagoriche sono raccolti nell’opera di M. Meunier, *Femmes pythagoriciennes: fragments de lettres de Theano, etc.*, L’Artisan du Livre, Paris 1932. I passi qui citati sono stati tradotti e richiamati nel denso saggio di C. Montepaone, *Teano, la pitagorica*, in N. Loraux (a cura di), *Grecia al femminile*, Roma-Bari, Laterza, 1993, al quale si rimandano quanti vogliano approfondire la complessa biografia della filosofa crotoniate.

² *Ivi*, p. 90.

³ Sull’opacità sociale della figura femminile nel mondo greco, cfr. L. Faranda, *Dimore del corpo. Profili dell’identità femminile nella Grecia classica*, Roma, Meltemi, 1996

⁴ Cfr. C. Montepaone, *Teano, la pitagorica*, cit., pp. 79-86.

⁵ *Ivi*, p. 81.

⁶ *Ivi*, p. 82.

⁷ F. Rosa, *La voce, il silenzio, la follia*, in F. Rosa (a cura di) *Immaginario e follia*, Trento, U.C.T., 1991, p. 39.

⁸ Platone, *Leggi*, 887d

⁹ L. Faranda, *Dimore del corpo...*, cit., p. 98.

Recensione a cura di Alessandro Martini, Ferrara

Rane, torpedini e scintille

Galvani, Volta e l'elettricità animale

Marco Piccolino e Marco Bresola, Bollati-Boringhieri 2003

Un libro affascinante. Non è facile scrivere di storia della scienza in modo così coinvolgente, senza tradire la rigosità scientifica delle fonti e dei dati, basandosi anzi sulla lettura diretta delle fonti in parte scoperte dagli stessi Autori. Una gran parte del fascino di questo libro deriva dal fatto che la rivalità scientifica tra Galvani, Volta e altri "filosofi naturali" del tempo viene descritta e quindi vissuta dal lettore "in diretta", per cui si ha l'impressione di partecipare a tutto quel che di nuovo si sta scoprendo in quello straordinario periodo che è stata la fine del Settecento-inizio Ottocento; l'ambiente scientifico in cui avvengono moltissime scoperte e discussioni filosofico-naturalistico-scientifiche viene descritto con ricchezza di dati e appare chiaramente nella sua straordinaria vivacità intellettuale.

Il libro racconta (si dovrebbe dire "analizza", ma, come abbiamo detto, la lettura scorre veloce come in un romanzo) un periodo particolarmente vivace della scienza dell'ultima parte del Settecento, e in particolare la contesa scientifica tra Luigi Galvani e Alessandro Volta sulla natura dell'elettricità osservata negli animali: Galvani era anatomico all'Università di Bologna (e anche professore di Anatomia prima, e di Ostetricia poi all'Istituto delle Scienze della stessa città), mentre Alessandro Volta era professore di Fisica all'Università di Pavia.

Galvani aveva osservato la contrazione dei muscoli della rana in assenza di ogni evidente elettricità esterna, connettendo il nervo ed il muscolo dell'animale tramite conduttori metallici. E' credenza comune che la scoperta del professore bolognese sia stata casuale, non il frutto di una serie di esperimenti ben concatenati e di rigorose considerazioni scientifiche. Questa opinione è molto diffusa e riportata in quasi tutte le voci bibliografiche che riguardano Galvani in trattati/dizionari enciclopedici anche stranieri. Piccolino e Bresola demoliscono questa credenza, e dimostrano altresì la validità di molti degli assunti teorico-sperimentali di Galvani, che si rivelano decisivi per gli sviluppi dell'elettrofisiologia del ventesimo secolo. Come infatti riporta Palo Mazzarello (professore di Storia della Medicina all'Università di Pavia) in una sua bellissima recensione, apparsa sulla Stampa dello

scorso settembre, "la neurofisiologia contemporanea, che ha chiarito il linguaggio attraverso cui comunicano i neuroni, trae le sue radici, in ultima analisi, proprio dagli studi di Galvani."

Particolarmente interessante poi, per chi si interessa di 'sordità', è la parte che riguarda gli esperimenti di Volta sulla stimolazione elettrica dell'orecchio in un soggetto sordo. Nella interazione feconda tra fisica e fisiologia che caratterizzava la scienza del Settecento, Volta riesce, utilizzando la rana preparata di Galvani, a dimostrare che, dal contatto tra due conduttori metallici diversi si produce una "forza elettromotrice". Questo sarà il punto di partenza di quello straordinario cammino di ricerca che porterà lo studioso di Pavia a inventare l'apparecchio comunemente noto come pila di Volta. Per arrivare alla pila sarà decisiva l'attenzione e la riflessione di Volta sugli studi sui "pesci elettrici" (uno dei capitoli più interessanti della ricerca scientifica di quel periodo, accuratamente ricostruito in questo libro). Pur essendo professore di fisica, Volta mostra infatti di avere una grande attenzione alla fisiologia e alla medicina, e, in particolare, uno sguardo rivolto alle possibili applicazioni diagnostiche e terapeutiche dell'elettricità. Nel 1793, accennando ai suoi esperimenti di stimolazione elettrica del senso visivo e del senso tattile-dolorifico, egli dice di aver fatto tentativi di stimolare con l'elettricità degli archi bimetallici anche l'udito e l'odorato. Nel 1802 farà il tentativo di applicazione terapeutica dell'elettricità a una fanciulla sorda notando che la fanciulla che prima della cura "non sentiva punto i suoni più forti da nessuno degli orecchi, or sente i discretamente forti singolarmente dall'orecchio dritto"(v. "Lettera del Professore Alessandro Volta al Prof. Luigi Brugnatelli sopra l'applicazione dell'elettricità ai sordomuti dalla nascita" del 1802, fig.1). Tentativi analoghi venivano fatti anche da altri studiosi (v. per esempio la figura 2 tratta da un'opera pubblicata all'inizio dell'Ottocento dal medico tedesco Grapengiesser)

L'incontro-collaborazione-amicizia di uno scienziato-sperimenatore come Marco Piccolino (elettrofisiologo e professore di Fisiologia Generale presso l'Università di Ferrara) con uno storico della scienza (Marco Bresola, studioso del Settecento e ricercatore nella Facoltà di Lettere della stessa Università) è stato indubbiamente un fatto "fortunato" perché ha permesso la nascita di un "prodotto" scritto con metodo innovativo e con un risultato affascinante.

Riferimento bibliografico

Mazzarello P., Rane, muscoli e scintille, Tutto-scienze-tecnologia, "La Stampa", Torino, 24/ 9/ 2003.

XXXII (B).

LETTERA

DEL PROFESSORE ALESSANDRO VOLTA
AL PROF. LUIGI BRUGNATELLI
SOPRA L'APPLICAZIONE DELL'ELETTRICITÀ
AI SORDOMUTI DALLA NASCITA.

1802 (dopo il Giugno) [1].

FONTI.

STAMPATE.

Br. Ann. T. XXI (1802) pg. 100.
Ant. Coll. T. II. P. II. pg. 282.

MANOSCRITTE.

Cart. Voll.: F 70; J 72.

OSSERVAZIONI.

TITOLO:

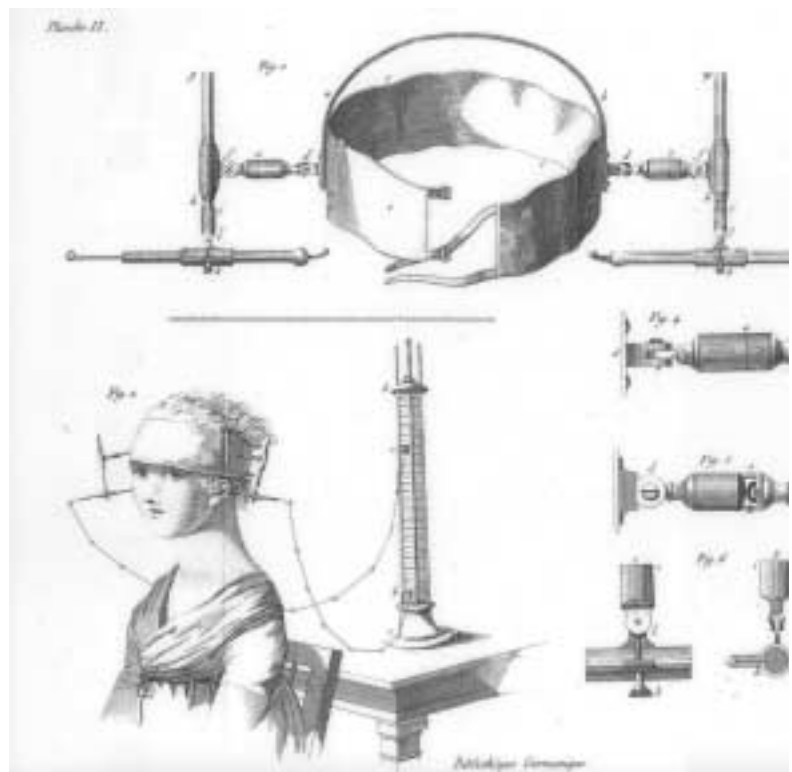
DATA: [1] Risulta dal testo della lettera.

F 70 è una lettera autografa di Jean Senobier intorno all'applicazione della Pila ai sordi.
La lettera porta la data: Ginevra 17 Messidor An 10 (6 Luglio 1802).

In J 72 il V. riporta un brano di un libro del Wolke sopra l'applicazione dell'elettricità ai sordi, nel quale si insiste sulla terminologia tecnica caldeggiata dal V. stesso. Per ordine di tempo e di argomento dovrebbe seguire la lettera al Sig. Canonico Don Angelo Bellani in data «Como, 2 Gennaio 1804» pubblicata in Mont. pg. 40; che si rimanda all'Epistolario.

Nella classe Ffol. (fotografie lettere del V.) v. è fotografia di una lettera del V. in data 2 settembre 1803, spedita alla direzione dell'Ospedale di Como ed accompagnante l'invio di un esemplare di pila per cure elettriche.

Lettera del Professore Alessandro Volta al Prof. Luigi Brugnatelli (1802)



L'uso medico della pila di Volta per la cura della sordità (da C.J.C. Grapengiesser: *Essai sur le Galvanisme, Recherches sur le galvanisme et sur son usage dans le traitement de certaines maladies*. Paris, Croullebois et Fuchs, 1802.

