



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**

FACOLTA' DI INGEGNERIA

**Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica**

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

**Sicurezza elettromagnetica dei dispositivi indossabili:  
dipendenza dalla posizione**

Electromagnetic safety of wearable devices: dependence on position

Relatore:

*Prof. Franco Moglie*

Laureando:

*Catia Cognigni*

Correlatore:

*Prof. Valter Mariani Primiani*

Anno Accademico **2019/2020**

## **Indice:**

<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>1. Finite-Difference Time-Domain</b>	<b>4</b>
1.1 Introduzione	4
1.2 Algoritmo di Yee	6
<b>2. Tasso di assorbimento specifico</b>	<b>8</b>
2.1 Parametri d'influenza del SAR	9
<b>3. Modello dell'antenna</b>	<b>11</b>
3.1 <u>Descrizione dell'Antenna Pifa</u>	11
3.2 Variazione dell'Antenna	14
<b>4. Dipendenza dalla posizione</b>	<b>17</b>
4.1 Modello della testa umana	17
4.2 Bilancio energetico	18
<b>5. Simulazioni FDTD</b>	<b>22</b>
5.1 ParaView	22
5.2 Simulazioni FDTD	23
<b>6. Conclusioni</b>	<b>28</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>29</b>



## **Introduzione:**

Un dispositivo indossabile, ovvero un *wearable device*, è un particolare dispositivo elettronico, tecnologicamente sofisticato e con la caratteristica di poter essere indossato.

Questi “oggetti intelligenti” aiutano l'uomo nella sua vita quotidiana, o semplicemente riescono a potenziarne le capacità fisiche e mentali e il campo di applicazione può essere anche molto vasto.

Infatti, la progressiva miniaturizzazione di tutti i componenti elettronici, il crollo dei costi di produzione e la duttilità dei materiali hanno permesso di integrare processori e sensori in quasi ogni oggetto di uso quotidiano, in modo tale da sembrare sempre meno “estranei”, basti pensare agli auricolari o agli smartwatch. Alcuni di questi dispositivi sono più o meno autonomi, altri, invece, necessitano di essere collegati tramite onde wireless ( Bluetooth ) a degli smartphone o altri devices che facciano da ponte per la connessione alla rete.

Il primo dispositivo elettronico indossabile fu messo a punto da C. Shannon e E. Thorp intorno agli anni '60 del secolo scorso e si trattava di un computer indossabile, usato illegalmente nei casinò. Con il tempo la tecnologia indossabile si è evoluta, fino ad arrivare, nel 1975, all'invenzione del primo orologio da polso (lanciato dal brand Pulsar).

È proprio dagli anni '70 e '80 che grandi aziende, come Seiko, Casio, IBM, Citizen e Timex, hanno iniziato a prestare attenzione a queste tecnologie, quindi è a quel periodo che vengono fatti risalire gli albori dei wearable devices. Nel 1994 è stata concepita e distribuita la webcam

wireless indossabile, ovvero una webcam posizionata su di una fascetta da mettere in fronte e utilizzabile per riprese video soggettive dal risultato unico.

Negli anni 2000 sono stati introdotti i dispositivi Bluetooth per la comunicazione senza fili e gli apparecchi medici per il fitness. Nel 2019 si registra una decisiva esplosione dei dispositivi indossabili, come mostrano i dati raccolti dall'IDC (International Data Corporation) relativi alle vendite, che hanno visto un aumento del 94.6% rispetto all'anno precedente.

La categoria che ha avuto l'incremento maggiore è la True Wireless Stereo (TWS), ovvero quella degli auricolari In-Ear Bluetooth, i più diffusi e sofisticati tra i dispositivi indossabili acustici, i "hearables" (neologismo che fonde i termini "wearable" e "headphone").

Questi dispositivi si trovano a stretto contatto con il corpo umano ed irradiano continuamente onde radio alla frequenza di 2.45 GHz (identica alla tecnologia Wi-Fi), per questo ci si interroga spesso se essi possono essere nocivi per la salute dell'utilizzatore.

Lo studio dell'interazione tra dispositivo e i tessuti dell'individuo può essere effettuato tramite misurazioni in camera riverberante e simulazioni FDTD (Finite-Difference Time-Domain) che permettono di simulare la propagazione dei campi elettromagnetici all'interno di un modello. Nel caso dei dispositivi acustici, i tessuti che vengono presi in considerazione sono quelli della testa, per questo farò riferimento allo studio effettuato dal mio collega Alessandro Gravina, che si è occupato della caratterizzazione elettromagnetica della testa umana, utile per la determinazione, tramite simulazioni FDTD, degli effetti dei campi elettromagnetici generati da antenne Bluetooth sui tessuti della testa.

L'obiettivo di questa tesi è quello di analizzare la dipendenza dalla posizione e dall'orientazione, in funzione della sicurezza elettromagnetica dei dispositivi indossabili.

# 1. Finite-Difference

## Time-Domain

### 1.1 Introduzione

Il metodo FDTD (Finite-Difference Time-Domain) è stato introdotto da Kane Yee nel 1966 ed è stata la prima tecnica di analisi numerica utilizzata per modellare l'elettrodinamica computazionale. Dopo aver studiato i limiti del dominio della frequenza, la novità presentata da Yee consisteva nel discretizzare le equazioni di Maxwell, dipendenti dal tempo in forma differenziale parziale, facendo uso di operatori alle differenze finite centrate su griglie sfalsate nello spazio e nel tempo per ogni componente del campo vettoriale elettrico e magnetico.

Il metodo FDTD è caratterizzato da numerosi aspetti vantaggiosi:

- È concettualmente semplice
- Non utilizza l'algebra lineare, quindi permette di evitare le limitazioni che questa impone. In particolare non è necessario risolvere sistemi di equazioni lineari che fanno aumentare di molto il tempo di calcolo e la richiesta di memoria all'aumentare del numero di celle.
- Segue un approccio sistematico

- È un metodo molto accurato e robusto, con una precisione del secondo ordine nello spazio e nel tempo, quindi implica pochi errori e limitati
- È caratterizzato dall'indipendenza dalla geometria e dalle caratteristiche fisiche
- L'analisi viene fatta nel dominio del tempo
- Simulazione transitoria

Poiché si tratta di un metodo di dominio temporale, le soluzioni FDTD possono coprire un'ampia gamma di frequenze con una singola esecuzione di simulazione e trattare le proprietà dei materiali non lineari in modo naturale.

Nonostante i numerosi lati positivi, vanno annoverati anche gli svantaggi di questo metodo alternativo, tra i quali il fatto che la tecnica FDTD richiede l'utilizzo di computer ad alte prestazioni, la sintesi può essere molto complessa e le approssimazioni richieste devono essere a bassa frequenza.



## 1.2 Algoritmo di Yee

In questo studio è necessario considerare una regione di spazio che sia esente dalla presenza di sorgenti elettriche e/o magnetiche, ma che possa avere materiali con la capacità di assorbire l'energia dei campi elettromagnetici. A questo punto esaminiamo le equazioni di Maxwell nel dominio del tempo, sia in forma differenziale che integrale, dunque:

- La Legge di Faraday
- La Legge di Ampere
- La Legge di Gauss per il campo magnetico
- La Legge di Gauss per il campo elettrico

Da queste leggi emerge che il vettore densità di corrente e il vettore densità di campo magnetico possono agire in qualità di sorgenti indipendenti di campi elettrici e magnetici.

Ipotizzando di esaminare materiali isotropici e studiando le equazioni di Maxwell, ne deriva un sistema di sei coppie di equazioni differenziali parziali che costituiscono la base dell'algoritmo numerico di Yee per l'interazione delle onde elettromagnetiche con corpi tridimensionali.

Il campo elettrico e magnetico generati andrebbero studiati tramite equazioni d'onda separate, invece l'Algoritmo di Yee li risolve contemporaneamente, grazie alle equazioni del rotore di Maxwell, quindi centra le componenti del campo elettrico e magnetico nello spazio tridimensionale, in modo tale che ogni componente del campo elettrico sia circondata da

quattro componenti circolanti di quello magnetico e ogni componente del campo magnetico sia circondata da quattro componenti circolanti di quello elettrico.

Di conseguenza ciò che si ottiene, come dominio tridimensionale, un array interconnesso dalla Legge di Faraday e dalla Legge di Ampere al contorno. Oltre che nello spazio, l'algoritmo di Yee centra le componenti del campo elettrico e magnetico anche nel tempo. [1]

## **2.Tasso di assorbimento specifico (SAR)**

Una delle principali applicazioni del metodo FDTD è il calcolo del tasso di assorbimento specifico (SAR, Specific Absorption Rate) di cellulari o , nel nostro caso, delle antenne poste all'interno degli auricolari Bluetooth.

Il SAR è un parametro fondamentale dei dispositivi tecnologici perché indica in percentuale la quantità di energia elettromagnetica assorbita teoricamente da ciascun tessuto del corpo umano, o di parti specifiche come la testa nel nostro studio, quando risente dell'azione di un campo elettromagnetico a radiofrequenza (100 kHz - 300GHz). Il SAR è il risultato del rapporto tra la potenza (assorbita dal tessuto) e massa (del tessuto irradiato dalla sorgente del campo elettromagnetico), quindi valuta quella che è la potenza assorbita da una "regione" spaziale esposta alle emissioni di una sorgente (antenna), infatti la sua unità di misura è il [W/kg].

## 2.1 Parametri d'influenza del SAR

Dalla formula del SAR è possibile studiare i parametri che influenzano questo tasso

$$\text{SAR} = \frac{\sigma |E|^2}{2\rho}$$

Risulta evidente che il tasso di assorbimento specifico è direttamente proporzionale alla conduttività elettrica “ $\sigma$ ” (sigma, espressa in S/m) del materiale in esame, caratteristica che dipende dalla lunghezza e dall'area della sezione trasversale del tratto considerato, quindi il SAR è strettamente dipendente dalle caratteristiche geometriche dello spazio coinvolto dall'emissione di onde elettromagnetiche, inoltre è direttamente proporzionale al quadrato dei valori di picco “E” dell'intensità del campo elettrico. Infine, è inversamente proporzionale alla densità del materiale che il campo irradia “ $\rho$ ” (rho, espressa in kg/m<sup>3</sup>).

Per le proprietà che lo contraddistinguono, il SAR non sarà uniforme su tutta la regione in cui assorbe la potenza emessa dall'antenna e trasportata dal campo elettromagnetico, dal momento che i tessuti che compongono la testa umana sono diversi tra loro a livello geometrico, di conducibilità elettrica e di densità.

Il calcolo del SAR, inoltre, è influenzato anche da altri parametri:

- Relativi al campo incidente, come l'intensità, la frequenza, la polarizzazione, la configurazione del soggetto irradiato rispetto al campo incidente, le condizioni di campo vicino e lontano

- Relativi alle proprietà dielettriche dei vari spessori di tessuto attraversati
- Relativi agli effetti di terra e di riflessione di altri corpi presenti nel campo di irradiazione (nelle simulazioni da noi condotte non saranno presenti altri oggetti all'infuori della testa, quindi non ci saranno effetti di terra e di riflessione).

# 3. Antenna Pifa

## 3.1 Descrizione dell'Antenna Pifa

I progettisti di antenne sono sempre alla ricerca di modi creativi per migliorare le prestazioni.

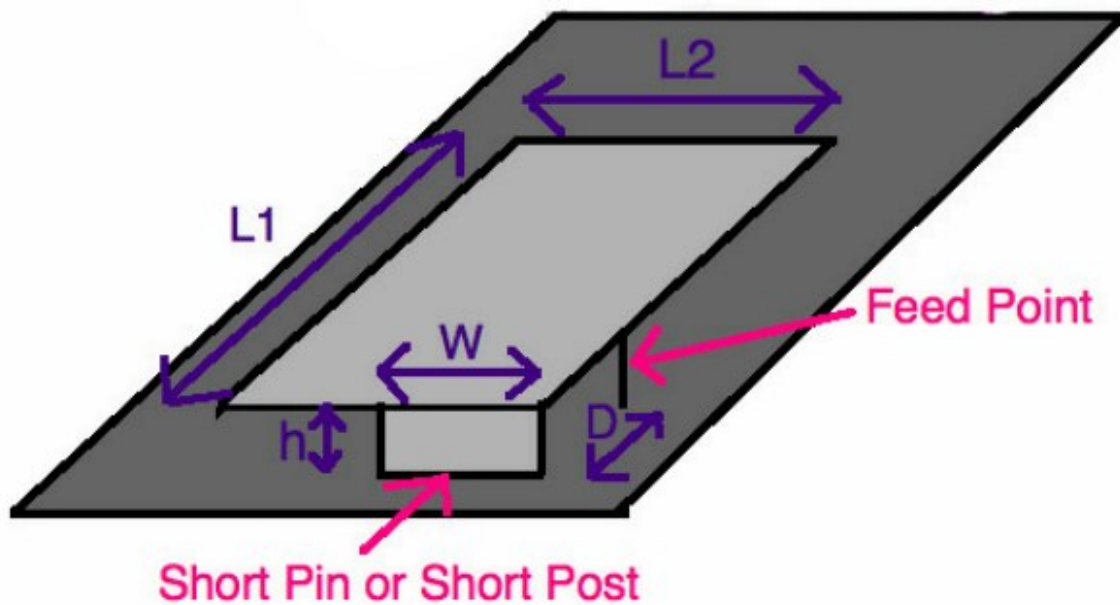
Un metodo utilizzato nella progettazione dell'antenna patch è l'introduzione di piedini di cortocircuito (dalla patch al piano di massa) in varie posizioni.

L'antenna Planar Inverted-F (PIFA) è sempre più utilizzata nel mercato della telefonia mobile.

L'antenna è risonante a una lunghezza d'onda di un quarto (riducendo così lo spazio richiesto sul telefono) e in genere ha anche buone proprietà SAR. [2]

L'antenna Planar Inverted-F è popolare perché ha un profilo basso e un modello omnidirezionale.

La PIFA risuona quando la sua lunghezza è un quarto di lunghezza d'onda a causa del perno di cortocircuito all'estremità. L'alimentazione viene posizionata tra l'estremità aperta e quella in corto e la posizione controlla l'impedenza di ingresso. Nei PIFA, il perno di corto circuito può essere una piastra.



**Figura 3.1**

In questa figura abbiamo un PIFA di lunghezza  $L1$ , di larghezza  $L2$ . Il perno di cortocircuito è di larghezza  $W$  e si trova ad un'altezza  $h$  dal piano terra. Il punto di avanzamento si trova lungo lo stesso bordo mostrato. L'alimentazione è una distanza  $D$  dal perno di cortocircuito.

La PIFA si trova sulla cima di un dielettrico con permittività  $\epsilon_r$ . La frequenza di risonanza del PIFA dipende da  $W$ . Se  $W = L2$ , il perno di cortocircuito esegue l'intera larghezza della patch. In questo caso, il PIFA è risonante (ha la massima efficienza di radiazione) quando:

$$\text{se } W = L2 \Rightarrow L1 = \frac{\lambda}{4} \quad (1)$$

Supponi che  $W = 0$ , in modo che il corto sia solo un pin (o  $W \ll L2$ ). Quindi la PIFA è risonante a:

$$\text{Se } W = 0 \Rightarrow L1 + L2 = \frac{\lambda}{4} \quad (2)$$

La lunghezza di risonanza della PIFA dipende dalla lunghezza del perno di cortocircuito  $W$ .

Infatti pensando a come irradia un'antenna patch di lunghezza d'onda di un quarto, ha bisogno di una lunghezza d'onda di un quarto di spazio tra il bordo e l'area di cortocircuito.

Se  $W = L_2$ , la distanza da un bordo al corto è semplicemente  $L_1$ , che ci fornisce l'equazione

(1). Invece quando  $W = 0$ , dato che sono i campi lungo il bordo che generano radiazioni nelle antenne a microstriscia, vediamo che la lunghezza dal bordo radiante a circuito aperto al perno di cortocircuito è in media uguale a  $L_1 + L_2$ . I percorsi in senso orario e antiorario aggiungono sempre fino a  $2*(L_1 + L_2)$ , quindi in media si verifica una risonanza quando la lunghezza del percorso  $(L_1 + L_2)$  per un singolo percorso è una lunghezza d'onda di un quarto. In generale, possiamo approssimare la lunghezza di risonanza di una PIFA in funzione dei suoi parametri come:

$$L_1 + L_2 - W = \frac{\lambda}{4}$$



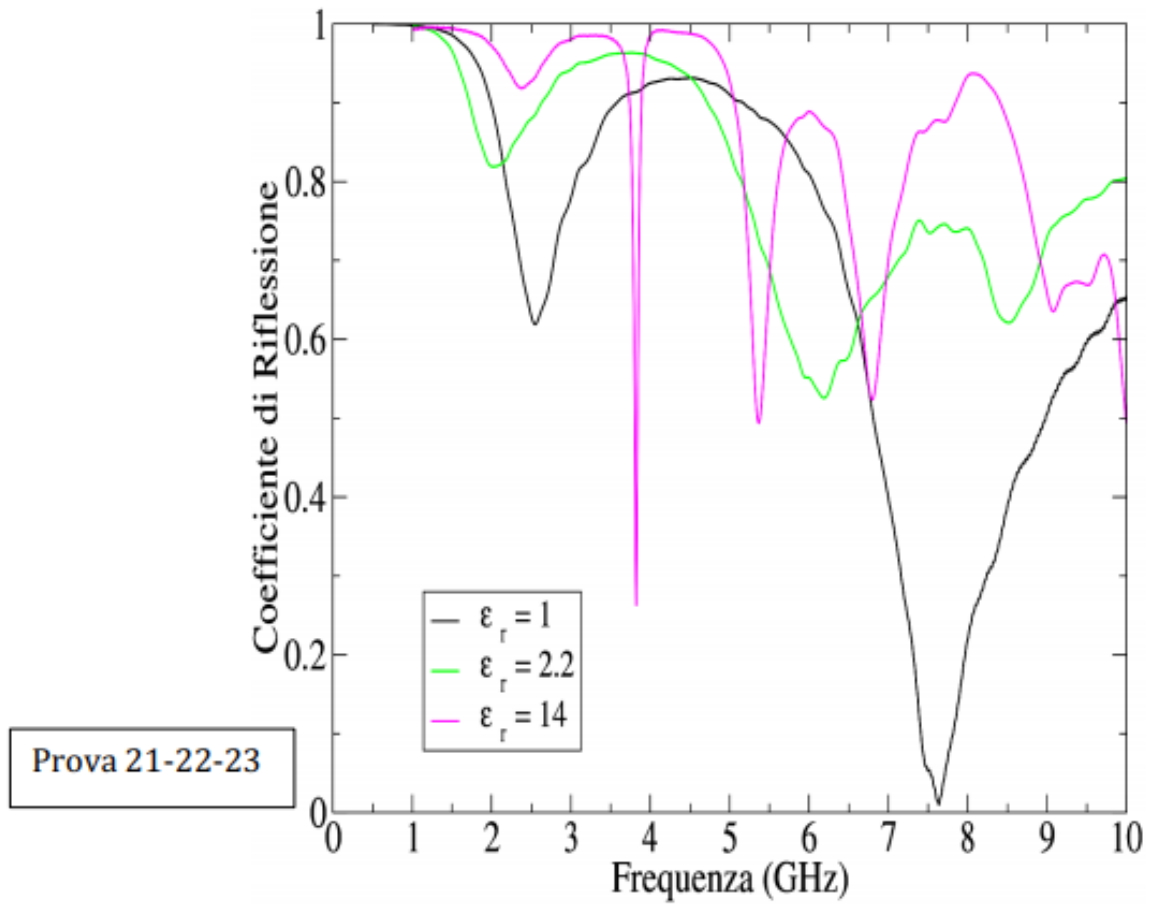
## 3.2 Variazione dell'Antenna

Partendo dalla tesi di Alessio Arriku che si è occupato della descrizione del calcolo del SAR nei tessuti della testa, il mio collega Armando Della Pigna ha studiato la variazione della potenza assorbita al variare dell'antenna stessa, ovvero della sorgente dei campi elettromagnetici.

Nella tabella (tabella 3.2.1) e nei grafici (figura 3.2.1, figura 3.2.2) che seguono, infatti, è possibile vedere le variazioni che si ottengono modificando lo spessore dell'antenna ( $w$ ) e il dielettrico ( $\epsilon_r$ ).

PROVE	F (GHz)	w (mm)	$\epsilon_r$	TESTA	I
21	0,5 -10	4 x 1.1	1	NO	24 x 1.1
22	1-10	4 x 1.1	2.2	NO	24 x 1.1
23	1-10	4 x 1.1	14	NO	24 x 1.1
27	1-10	4 x 1.1	30	SI	12 x 1.1
28	1-10	2 x 1.1	30	SI	12 x 1.1

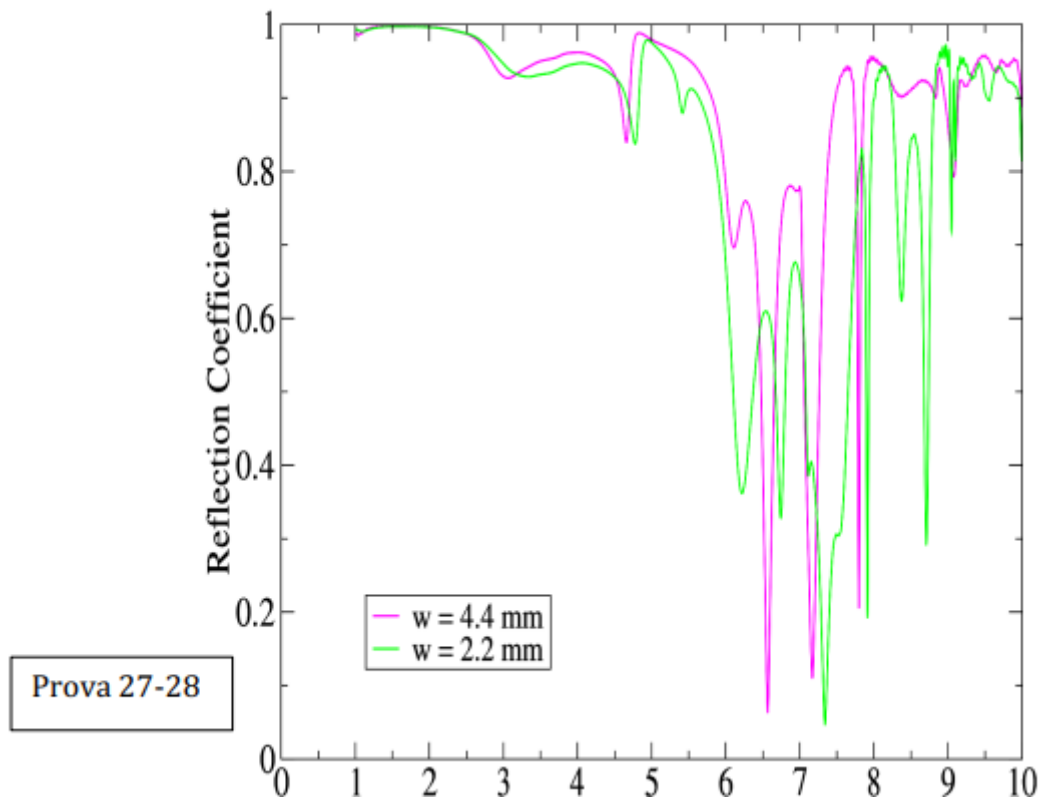
**Tabella 3.2.1**



**Figura 3.2.1 Il grafico mostra le variazioni ottenute, modificando il dielettrico:**

**passando dalla prova 21 alla prova 23 il valore di dielettrico ( $\epsilon_r$ ) è**

**aumentato da 1 a 14**



**Figura 3.2.2 Il grafico mostra le variazioni ottenute modificando lo spessore ( $w$ ) che  
dalla prova 27 alla prova 27 viene dimezzato**

# 4. Dipendenza dalla posizione

## 4.1 Modello della testa umana

Per un calcolo accurato del SAR, tramite FDTD, bisogna definire un modello di testa umana ideale per descrivere correttamente posizione, orientamento e proprietà dielettriche dei tessuti che costituiscono la testa, studio svolto dal mio collega Alessandro Gravina nella sua tesi, avvalendosi di un modello della testa sviluppato dal “Department of Electrical Engineering, Imam Khomeini University of Qazvin, Iran”, tale modello è fondato sul “Zubal’s MRI head phantom” [3] ed è stato scaricato tramite SourceForge [4]. In seguito, è stato scritto un programma in linguaggio C che fosse in grado di riprodurre correttamente l’anatomia standard della testa umana e le relative proprietà dielettriche dei tessuti che la compongono e dell’aria intorno ad essa. Con un’opportuna conversione del file dal linguaggio C al formato “vtk” è stato possibile utilizzare il modello della testa nel software ParaView.

## 4.2 Bilancio energetico

Dal lavoro svolto dal mio collega Alessio Arriku, è emerso che le simulazioni FDTD sono molto interessanti per quanto riguarda la determinazione del SAR all'interno dei tessuti della testa. Infatti i valori di potenza assorbita dipendono da diversi fattori, uno dei quali è stato sviluppato dal mio collega Armando Della Pigna e riguarda l'antenna stessa.

Un aspetto rilevante nell'intero studio è la presenza della testa, in quanto all'interno della testa iniziano delle oscillazioni che vanno ad aumentare progressivamente.

Per questo è importante andare ad analizzare come i risultati possano variare, lavorando a frequenza fissa (2.45 GHz) e mantenendo costanti le caratteristiche dell'antenna, ma spostando l'auricolare in un range di circa 1 cm.

Nel seguente trattato, vengono prese in esame tre differenti situazioni:

1. Nella simulazione 33, viene scelta la posizione dell'auricolare e questa verrà considerata la posizione centrale;
2. Nella simulazione 34, l'auricolare viene spostato, rispetto alla simulazione 33, di circa 0,5 cm verso l'esterno della testa;
3. Nella simulazione 35, l'auricolare viene spostato, rispetto alla simulazione 33, di circa 0,5 cm verso l'interno della testa.

Dalle simulazioni considerate, è stato possibile fare un bilancio energetico.

Vediamo i tre casi separatamente (tabella 4.2.1, tabella 4.2.2, tabella 4.2.3).

### SIMULAZIONE 33

V <sub>inc</sub> (V)	10,16
V <sub>rifl</sub> (V)	9,69
Potenza assorbita [W]	0,05
Potenza riflessa [W]	0,91
Potenza irradiata [W]	0,04

**Tabella 4.2.1**

### SIMULAZIONE 34

V <sub>inc</sub> (V)	10,16
V <sub>rifl</sub> (V)	9,64
Potenza assorbita [W]	0,03
Potenza riflessa [W]	0,90
Potenza irradiata [W]	0,07

**Tabella 4.2.2**

### SIMULAZIONE 35

V <sub>inc</sub> (V)	10,1587400794
V <sub>rifl</sub> (V)	9,66
Potenza assorbita [W]	0,06
Potenza riflessa [W]	0,90
Potenza irradiata [W]	0,03

**Tabella 4.2.3**

Mettendo in evidenza la potenza assorbita dal dominio, emerge chiaramente che i valori di quest'ultima variano a seconda della posizione dell'auricolare.

	Simulazione 34	Simulazione 33	Simulazione 35
Potenza assorbita nel dominio	0.03[watt]	0.05[watt]	0.06 [watt]

**Tabella 4.2.4**



# 5. Simulazioni FDTD

## 5.1 ParaView

È possibile visualizzare i risultati ottenuti attraverso l'utilizzo del software ParaView.

Paraview è un'applicazione open-source per la visualizzazione di set di dati bidimensionali e tridimensionali, inoltre le dimensioni dei set di dati che è in grado di gestire

varia notevolmente a seconda dell'architettura su cui viene eseguita l'applicazione.

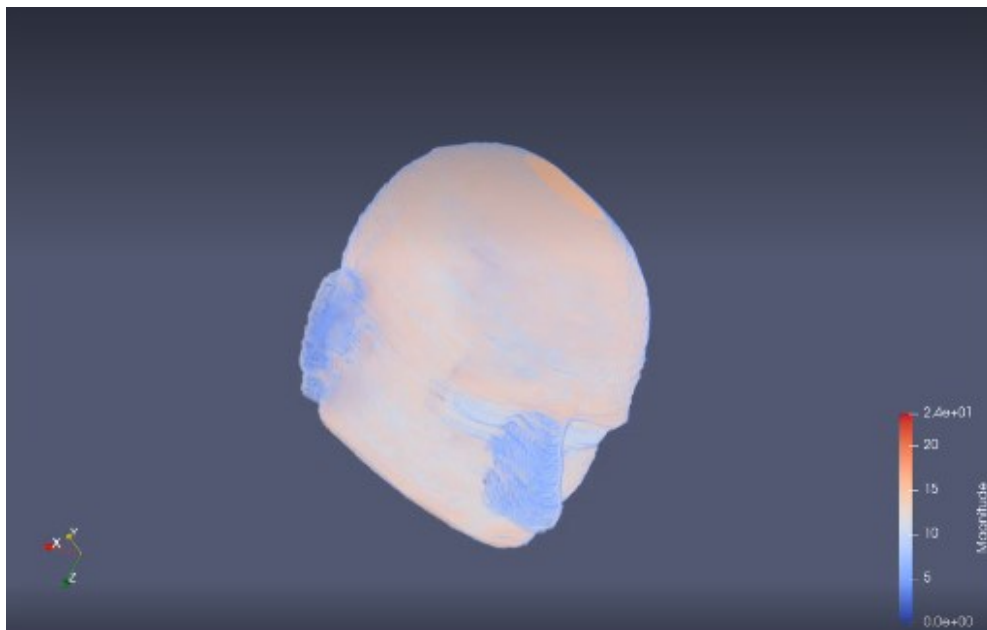
Il design di ParaView contiene molte caratteristiche concettuali che lo distinguono da altre soluzioni di visualizzazione scientifica. Difatti, oltre agli aspetti già visti, è un'interfaccia utente aperta, flessibile e intuitiva, ha un'architettura estensibile e modulare basata su standard aperti, ha una licenza BSD-2 flessibile e gode di manutenzione e supporto commerciale. [5]

ParaView è un progetto che nasce nei primi anni 2000 grazie alla collaborazione tra Kitware, Inc. e Los Alamos National Laboratory e grazie alla concessione dei fondi da parte del US Department of Energy ASCII Views Program; il rilascio della prima versione del software open-source risale all'Ottobre del 2002. [6]

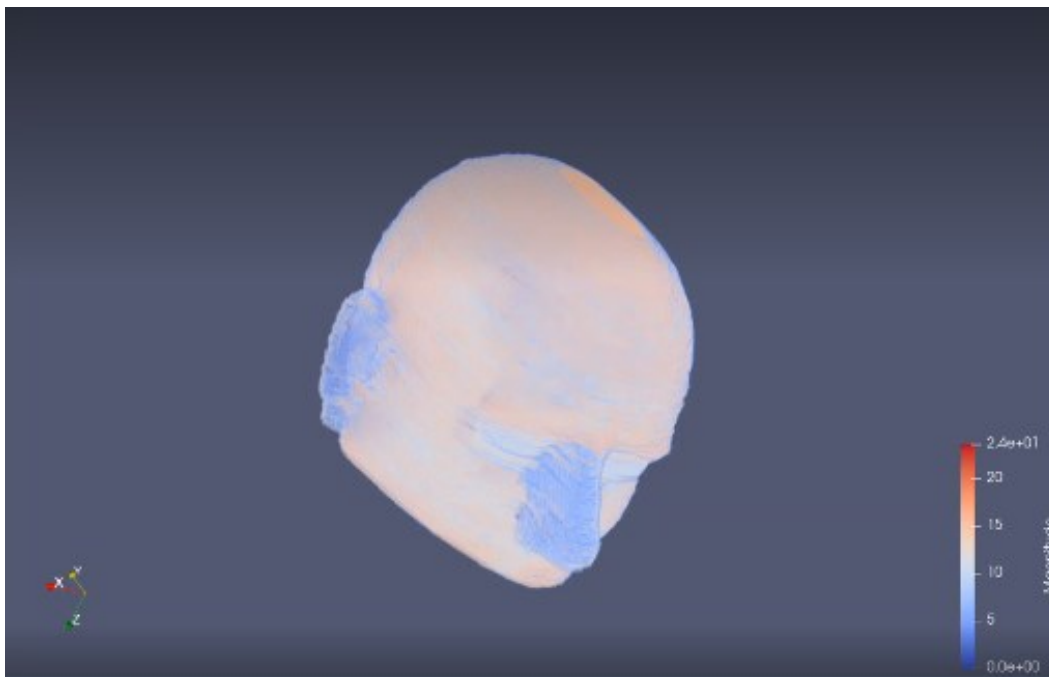
## 5.2 Simulazioni FDTD

Le simulazioni effettuate tramite il software FDTD “home-made”, sul quale abbiamo accesso completo, abbiamo potuto aggiungere un’antenna che lavora ad una frequenza di 2.45 GHz e funge da sorgente sinusoidale, inoltre lavoreremo nel dominio tridimensionale FDTD, dove la testa e l’antenna sono simulati mediante campi elettrici e nel dominio 1D dell’FDTD, dove simuliamo la linea di trasmissione e le variabili sono tensioni e correnti. I risultati sono scritti in formato testo e sono letti dal software ParaView per la presentazione grafica.

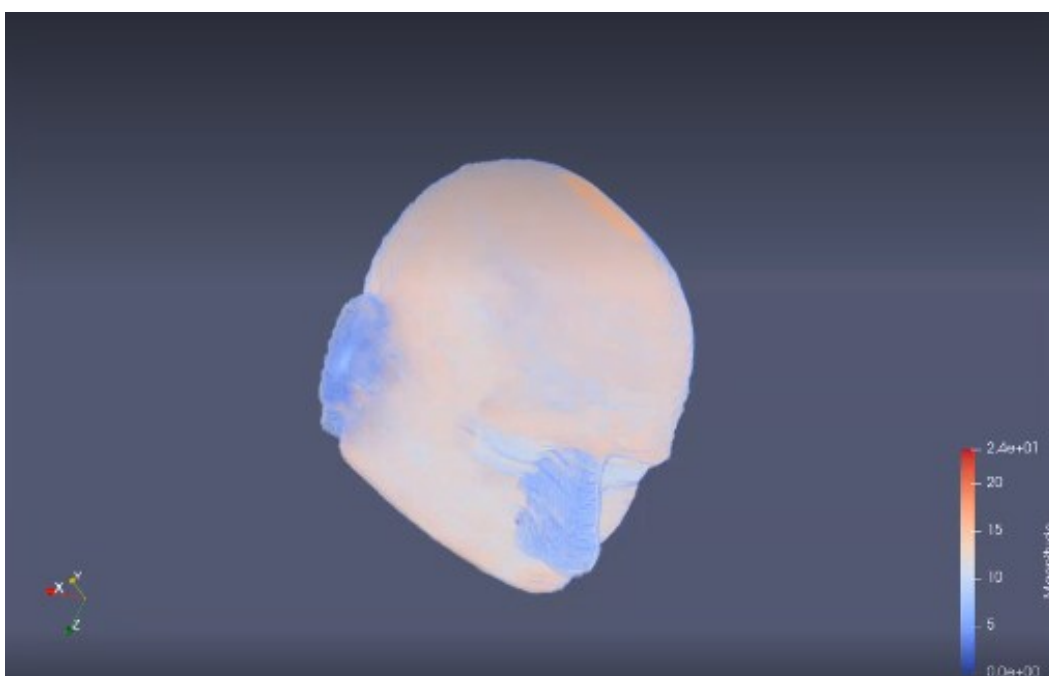
I risultati grafici che otteniamo sono i seguenti:



**Figura 5.2.1 Simulazione 33 che mostra i valori del SAR mediato su 1 g di tessuto con l’antenna nella posizione che abbiamo considerato centrale (l’unità di misura nella legenda è W/kg).**



**Figura 5.2.2 Simulazione 34 che mostra i valori del SAR mediato su 1 g di tessuto e spostando l'antenna verso l'esterno (l'unità di misura nella legenda è W/kg).**



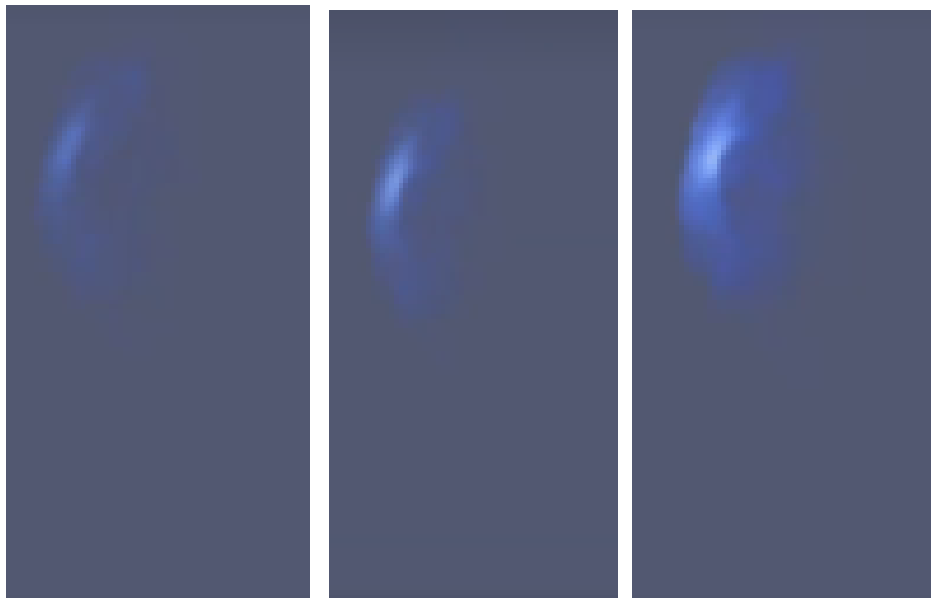
**Figura 5.2.3 Simulazione 35 che mostra i valori del SAR mediato su 1 g di tessuto, spostando l'antenna verso l'interno (l'unità di misura nella legenda è W/kg).**

Tali figure ritraggono la visuale della testa relativa al SAR calcolato in maniera puntuale,

l'intensità del colore blu sull'orecchio evidenzia quanto siano forti i valori del SAR.

Per avere un riscontro più immediato andiamo a considerare, nel dettaglio, le tre

simulazioni senza la testa:



**Figura 5.2.4 Rappresentazione dei valori del SAR nella simulazione 34 nel dettaglio**

**Figura 5.2.5 Rappresentazione dei valori del SAR nella simulazione 33 nel dettaglio**

**Figura 5.2.6 Rappresentazione dei valori del SAR nella simulazione 35 nel dettaglio**

L'immagine centrale (figura 5.2.5) rappresenta la simulazione 33, quindi quando l'auricolare si trova nella posizione che, arbitrariamente, abbiamo considerato centrale.

L'immagine a sinistra (figura 5.2.4), invece, raffigura la simulazione 34, ovvero il caso in cui l'auricolare è spostato di circa 0,5 cm verso l'esterno della testa. Infatti si nota che i valori del SAR assorbito sulla cartilagine, sulla pelle, sull'osso sono minori rispetto alla simulazione 33.

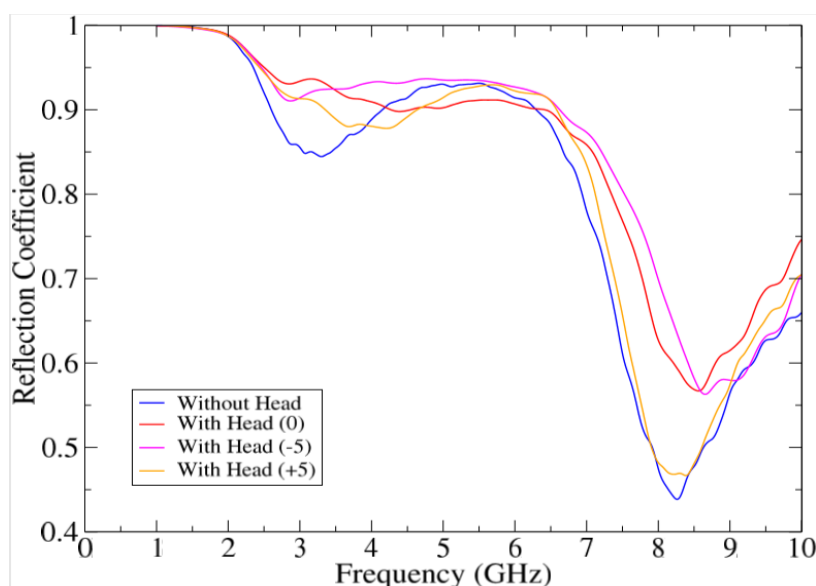
L'immagine a destra (figura 5.2.6), infine, descrive la situazione della simulazione 35, quando l'auricolare è spostato di circa 0,5 cm verso l'interno e i valori, come appare chiaramente dalla figura, sono maggiori rispetto ai casi precedenti.

Bisogna precisare che questo risultato coincide con le ipotesi fatte, ma ciò poteva non verificarsi poiché va tenuto conto che, con la presenza della testa, può esserci maggior disadattamento e un'inferiore trasmissione di potenza.

Infatti se l'auricolare è più esterno si avvicina di più, soprattutto ad alta frequenza, al caso senza testa perché l'antenna sta più esternamente ed è meno "sensibile" alla testa. A bassa frequenza ne risente di più dato che la lunghezza d'onda è maggiore, mentre ad alta frequenza la percepisce meno poiché la lunghezza d'onda è minore.

Senza testa abbiamo un migliore adattamento, la testa riflette di più e si vede la profondità.

Spostandola, si vede che, se l'antenna si trova più all'interno, la riflessione è maggiore, invece se è posta più all'esterno (arancione) si avvicina al caso senza testa quindi lunghezza d'onda minore (elettricamente è più lontana quindi è meno sensibile alla testa).



**Figura 5.2.7 Il grafico mostra le variazioni ottenute nel caso senza la presenza della testa e nei tre casi in cui la testa è presente, ma l'auricolare viene spostato**

## 6. Conclusioni

In questo elaborato ho sviluppato il lavoro svolto in precedenza dai miei colleghi, continuando il percorso sullo studio della sicurezza elettromagnetica dei dispositivi indossabili e mi sono dedicata alla variazione della posizione della sorgente di campo elettromagnetico.

Come precedentemente detto, il calcolo del SAR è influenzato da numerosi parametri, nella mia ricerca il parametro preso in esame è la posizione dell'auricolare rispetto alla testa e si evince che questa ha un importante influsso, anche se lo spostamento considerato è di circa 1 cm. Di conseguenza, si può assumere che maggiore è la distanza della sorgente dalla testa minore è la potenza assorbita.

## Bibliografia

[1] Allen Taflove, Susan Hagness (2000): “Computational Electrodynamics: the Finite-Difference Time-Domain Method”; Artech House, Boston.

[2] PIFA - The Planar Inverted-F Antenna, <http://www.antennatheory.com/antennas/patches/pifa>

[3] Department of Electrical Engineering, Imam Khoimeni University of Qazvin, Iran: “Realistic human head voxel model for brain microwave imaging”;

[4] SourceForge, <https://sourceforge.net/project/human-head-voxel-model/files/> ;

[5] The ParaView Tutorial Version 3.12 Kenneth Moreland Sandia National Laboratories

[6] ParaView overview, <https://www.paraview.org/overview/> ParaView download, <https://www.paraview.org/download/> .