

Il progetto di ricerca HT (HEAD TEMNOGRAFY: NEW DIAGNOSTIC MICROWAVE FOR HEAD DESEAS) è un progetto cofinanziato dall'Unione Europea, dallo Stato Italiano e dalla Regione Campania, nell'ambito del POR Campania FESR 2014-2020. **CUP: B13D18000150007** .

Il progetto di ricerca HT ha come scopo principale lo sviluppo di un nuovo sistema temnografico per la rivelazione di lesioni intracraniche. L'obiettivo e le finalità del progetto di ricerca rientrano pienamente nell'ambito dello sviluppo di tecnologie innovative per la diagnostica medica e sono quindi coerenti con le traiettorie tecnologiche strategiche identificate nel documento RIS 3, nonché con le linee di ricerca ritenute rilevanti dal programma H2020. In particolare, si è scelto di focalizzare lo studio e il relativo sviluppo del sistema per un particolare tipologia di lesione intracranica: l'ictus.

Il sistema HT è un sistema innovativo di diagnostica della testa basato sull'uso delle onde elettromagnetiche a bassa potenza e alle frequenze delle microonde (non-ionizzanti), leggero, trasportabile e relativamente economico se confrontato con le altre tecnologie.

1. Attività di ricerca svolta

In questo progetto è stata condotta a un'intensa attività di ricerca che ha portato allo sviluppo di un nuovo prototipo del temnografo, il sistema HT. Alla luce dell'obiettivo generale da raggiungere, l'attività di ricerca ha richiesto il perseguimento di diversi obiettivi realizzativi (OR) parziali:

- **OR1:** INNOVAZIONE DEL SISTEMA DI IMAGING TEMNOGRAFICO
- **OR2:** SVILUPPO DEL SISTEMA DI IMAGING TEMNOGRAFICO
- **OR3:** REALIZZAZIONE DI PHANTOM DELLA TESTA
- **OR4:** VALIDAZIONE DEL SISTEMA

Le attività di ricerca pertinenti a ciascun OR hanno portato alle innovazioni di prodotto che hanno riguardato:

- Lo sviluppo di un'elettronica dedicata per la catena TX/RX
- La progettazione e la realizzazione di un nuovo sistema di scansione basato su una schiera di antenne in tecnologia stampate che lavorano a diretto contatto con la testa
- Lo sviluppo di algoritmi di detection innovativi
- L'integrazione della parte hardware e software e del supporto meccanico (casco).

1.1 Sistema elettronico

E' stato sviluppato, in tecnologia discreta, e validato un sistema di generazione e ricezione di un segnale a radiofrequenza di un segnale sinusoidale nella banda di frequenze [800 MHz ÷ 2.2GHz] con potenza in uscita controllabile nel range [-40dBm ÷ 10dBm]. In particolare, per la catena TX sono stati usati due trasmettitori a radio frequenza: un collegato ad un amplificatore VGA, il cui guadagno può essere impostato via software e uno per la generazione del segnale portante da usare come riferimento nella catena RX. La catena RX presenta un front-end analogico e una sezione digitale. Il front-end analogico presenta un amplificatore a basso rumore (LNA) e due ingressi ai quali vanno rispettivamente il segnale proveniente dalla DUT e il segnale portante. Segue uno stadio digitale ADC in grado di risolvere variazioni minime dell'ordine di 1dB. Inoltre, la catena di trasmissione e ricezione prevede la connessione degli switch a radio frequenza per il controllo totale dell'array di antenne. Il controllo dell'array di antenne e la gestione del trasmettitore della catena di trasmissione e ricezione avviene attraverso una board basata su microcontrollore con firmware, scritto in linguaggio C.

1.2 Sistema radiante

E' stato progettato e sviluppato un nuovo sistema di scansione basato su una schiera di antenna. Questo, non richiede antenne in movimento e quindi consente di ridurre enormemente i tempi di acquisizione dei dati. Inoltre, ha aperto a più ampie opportunità di imaging in quanto rende possibile l'utilizzo di dati multivista/multistatici piuttosto che quelli multimonostatici previsti dal sistema iniziale. In particolare, diverse tipologie di antenne in tecnologia stampata sono state progettate e realizzate. Alla fine, si è optato per antenne slot che presentano un ingombro minore e performance soddisfacenti. In particolare, in una prima implementazione, senza liquido di accoppiamento, le antenne sono state montate su dei pistoni a controllo pneumatico che portavano le antenne a contatto con la testa. Successivamente, il macchinoso meccanismo di movimentazione è stato eliminato e sostituito da un meccanismo passivo a molla. Questo sistema passivo prevede che ogni trasduttore elettromagnetico sia controllato da un sistema a molla e offre due evidenti vantaggi: la riduzione del peso e dell'ingombro del sistema, il posizionamento delle antenne è adattivo e meglio si conforma alla morfologia della testa. Inoltre, al fine di migliorare l'accoppiamento con la testa, e quindi aumentare la capacità di penetrazione del segnale elettromagnetico, le antenne sono state riprogettate e realizzate per essere alloggiare (ciascuna) all'interno di piccoli contenitori contenenti liquido di accoppiamento (si veda Figura 1).

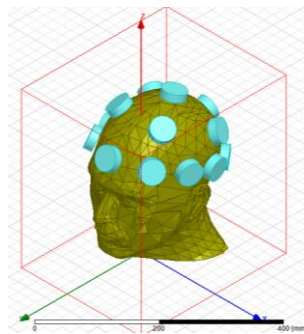


Figura -1 Dettaglio della simulazione di antenne incapsulate a contatto con la testa.

1.3 Algoritmi di detection

Sono stati sviluppati algoritmi di detection per configurazioni sia monostatiche che multistatiche. In particolare, si è focalizzato lo studio su una particolare tipologia di lesione intracranica: l'ictus.

Gli algoritmi sviluppati sono basati su una variante del MUSIC (Multiple Signal Classification) e su un approccio differenziale. Più in dettaglio, è stato implementato una versione incoerente del MUSIC (I-MUSIC – Incoherent MUSIC) in cui i dati acquisiti a diverse frequenze invece di essere processati simultaneamente vengono processati separatamente e l'immagine finale è quindi realizzata come prodotto delle immagini a singola frequenza. In particolare, l'approccio differenziale, che consiste nel realizzare le immagini usando la differenza dei dati acquisiti in due istanti di tempo (vicini comunque), consente di evidenziare le variazioni che avvengono all'interno del cranio, e quindi di rivelare l'ictus nel mentre della sua evoluzione, senza richiedere informazione a priori circa le proprietà e la morfologia del cranio sotto test, come tipicamente è previsto in altri approcci di microwave imaging. Tali algoritmi sono stati integrati in una unità di elaborazione che oltre alla comunicazione e l'acquisizione dei dati delle scansioni prelevati dal sistema HT, fornisce i risultati della diagnostica. In particolare, l'algoritmo di ricostruzione è controllato da una GUI sviluppata con linguaggio di programmazione C++.

1.4 Il sistema HT

Il sistema HT è la sintesi delle parti HW e SW descritte sopra. Fondamentalmente, si tratta di un tomografo elettromagnetico che si basa sulla tecnologia dei campi elettromagnetici alle frequenze delle microonde e dei sistemi elettronici a radiofrequenza. Le caratteristiche tecniche del sistema HT sono:

- Banda di frequenze di lavoro [1,2] GHz;
- Numero di elementi radianti dell'array pari a 8;
- Polarizzazione circolare;

- Return loss per ogni antenna non inferiore a 10dB;
- Impedenza di ingresso delle singole antenne circa pari a 50 Ohm;
- SNR totale non inferiore a 15 dB;
- Potenza totale assorbita complessiva non superiore a 1kW;
- SAR non superiore a 3 W/kg;
- Insertion loss non superiore a qualche dB;
- Tempo per la realizzazione dell'immagine (a valle della raccolta dati) inferiore a 20 s
- Dimensione tipica della lesione rilevabile pari a 10mm
- Peso inferiore a 5Kg

Un'immagine del sistema HT è riportata in Fig. 2. Come si può notare, il sistema risulta estremamente compatto e ad una fase di industrializzazione avanzata.



Figura -2 Immagine del sistema HT

2. Validazione del sistema HT

Il sistema HT è stato validato prima considerando le sue singole parti (elettronica e sistema radiante) e successivamente come sistema completo utilizzando sia i phantom di ricerca che quelli realistici. Relativamente alla validazione finale per un phantom realistico, ricordiamo che questo è stato concepito per emulare tre diversi modelli di testa che offrono un grado di difficoltà via via crescente per la rivelazione dell'ictus. Le tipologie di phantom considerati sono stati:

- I testa composta da solo pelle e materia bianca;
- II testa composta da pelle, osso e materia bianca;
- III testa che rispetto al caso precedente prevede la presenza anche del fluido cerebrospinale.

Diversi esperimenti sono stati effettuati nella fase di validazione finale. Vale la pena sottolineare che sono state usate solo 100 frequenze all'interno della banda [1-1.6] GHz. Qui riportiamo solo alcuni risultati (vedi Figura 3), di seguito descritti.

2.1 Esperimento A

Il phantom è quello più semplice dove la struttura esterna della testa è stata ricoperta con pelle di pollo e riempita con materiale che emula la materia bianca: dunque l'obiettivo è considerare uno scenario quanto più omogeneo possibile. Il target è un cilindro in ABS di diametro di 12mm, riempito con acqua distillata.

2.2 Esperimento B

3. Lo scenario di indagine viene complicato tenendo conto della stratificazione della testa. Ora il phantom è composto da pelle, ossa, liquido cerebrospinale e cervello. Il target è metallico e ha le dimensioni di 10mm.

3.1 Esperimento C

E' stato considerato uno scenario ancora più realistico dove il target metallico è sostituito con una struttura flessibile che permettere di realizzare la stessa variazione (10 mm di diametro) ma con materiale che mima le caratteristiche del sangue.

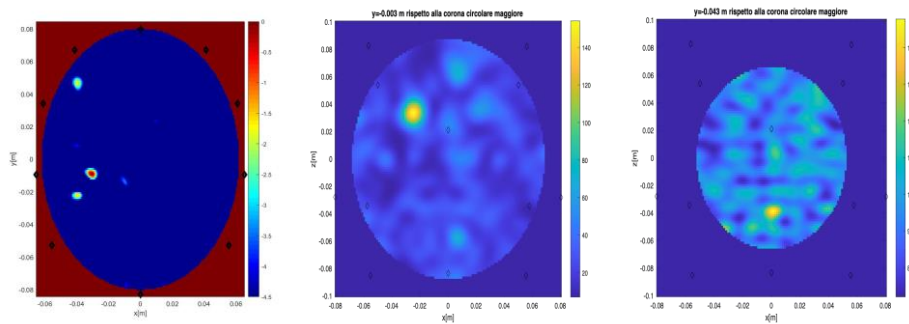


Figura -3 Esempi di ricostruzione ottenuti per i casi sperimentali A, B e C descritti sopra (da sinistra a destra). L'ictus è localizzato e identificato dagli hot-spot nelle immagini.