

Sistemi ecografici di ricerca ad ultrasuoni per diagnostica medica

Piero Tortoli

Il Laboratorio di Progettazione di Sistemi Microelettronici (MSDLab, acronimo derivato dall'inglese) è attivo, fin dalla inaugurazione promossa negli anni '80 dal Prof. Carlo Atzeni, nello sviluppo di sistemi di ricerca ad ultrasuoni per diagnostica medica. Con questa espressione si intendono sistemi ecografici equivalenti a quelli utilizzati comunemente negli studi medici, ma caratterizzati dalla capacità di realizzare funzionalità innovative, non presenti negli ecografi commerciali.

Le prime ricerche furono condotte nel campo dell'ecografia Doppler, mirata, in generale, a misurare la velocità del sangue nelle arterie con lo scopo di rivelare eventuali anomalie pericolose per il paziente. In questo ambito fu sviluppato un primo prototipo basato su dispositivi ad onda acustica superficiale (SAW), ampiamente utilizzati in campo radar per monitorare, ad esempio, le precipitazioni atmosferiche (radar meteorologico). Nel nostro caso, i dispositivi SAW furono sfruttati per misurare, attraverso un'analisi spettrale ultraveloce, le frequenze Doppler prodotte dal movimento del sangue (Figura 83). Fu così possibile realizzare il primo sistema al mondo capace di rivelare in tempo reale, sia pure in modo un po' grossolano, l'intero profilo di velocità del sangue nelle arterie.

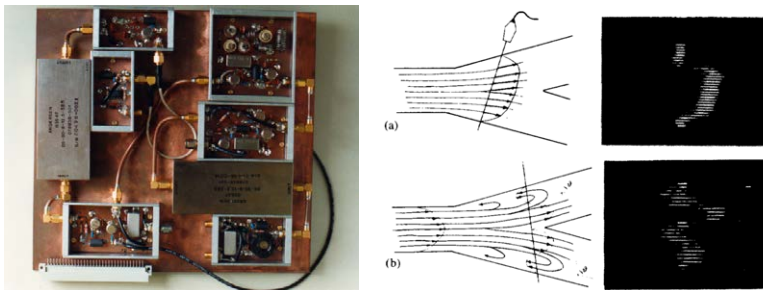


Figura 83 – A sinistra, analizzatore di spettro in tempo reale basato su filtri SAW (nei due contenitori chiusi). A destra, profili di velocità del sangue rivelati in una biforcazione carotidea mediante l'analizzatore SAW (da: TUFFC, 35:5, p.545 551, 1988).

Piero Tortoli, University of Florence, Italy, piero.tortoli@unifi.it, 0000-0002-7984-3128

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

Piero Tortoli, *Sistemi ecografici di ricerca ad ultrasuoni per diagnostica medica*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0975-5.38, in Stefano Selleri, Alberto Tesi, Enrico Vicario (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 2. Ingegneria dell'Informazione*, pp. 155-158, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0975-5, DOI 10.36253/979-12-215-0975-5

Successivamente, i grandi avanzamenti della tecnologia elettronica incoraggiarono lo sviluppo di un sistema Doppler completamente digitale. Grazie al contributo di ricercatori, come gli ingegneri Gabriele e Francesco Guidi, che pur giovanissimi vantavano già una notevole esperienza nei nuovi ambiti dell'elettronica, fu sviluppato uno strumento ecografico all'avanguardia, caratterizzato da notevole sensibilità nella rivelazione dei profili di velocità. Con tale strumento, fu possibile caratterizzare accuratamente il flusso del sangue, evidenziando le differenze tra casi normali e patologici, nelle principali arterie come carotide, femorale, cerebrale e, per la prima volta, nell'aorta. Questo strumento attirò l'attenzione di numerosi laboratori internazionali, e incoraggiò la collaborazione con prestigiose Istituzioni di ricerca a Rotterdam, Varsavia, Lione, Filadelfia. In particolare, nacquero importanti collaborazioni con Erasmus Medical Center, per la caratterizzazione del comportamento acustico degli agenti di contrasto ad ultrasuoni, e con il Prof. Vernon Newhouse della Drexel University, universalmente riconosciuto come uno dei pionieri dell'ecografia Doppler. In questo caso, il nostro ecografo permise la sperimentazione della tecnica cosiddetta 'Doppler trasversale' che dimostrava la possibilità di ottenere informazioni utili anche quando l'arteria risultava perpendicolare alla direzione di propagazione degli ultrasuoni. Addirittura, riuscimmo a dimostrare che il Doppler trasversale poteva essere sfruttato per determinare con accuratezza la direzione del flusso, un primo passo verso il cosiddetto 'Doppler vettoriale'. Veniva così finalmente sfatato il tabù secondo il quale, quando il cosiddetto 'angolo Doppler' era 90° , nessuna informazione di velocità poteva essere ricavata (Figura 84).

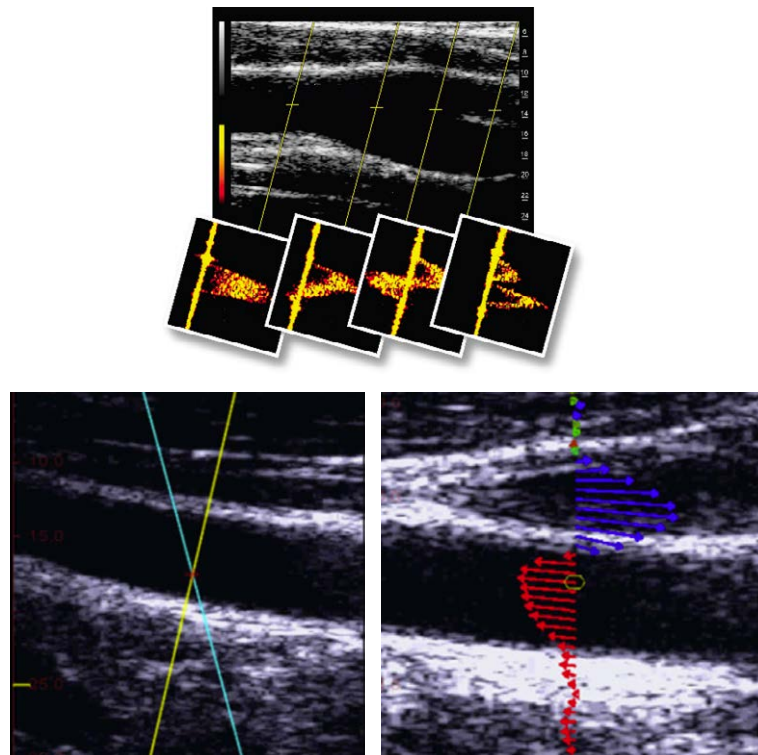


Figura 84 – A sinistra: profili di velocità del sangue nella carotide ottenuti tramite elaborazione ecografica digitale (da TUFFC 56:1, front cover, 2009). L'elaborazione simultanea di 2 linee (al centro) di cui una a 90° rispetto al flusso, consente di ottenere i vettori di velocità (a destra). (Da: UMB 41:5, p. 1354–1362, 2015).

Una caratteristica comune agli ecografi Doppler menzionati è che essi non fornivano alcuna immagine dei tessuti circostanti le arterie. Questa caratteristica risultava un'importante limitazione quando si voleva effettuare una sperimentazione clinica, perché i medici con cui collaboravamo, sia pure di grande valore come i dottori Carlo Palombo, Paolo Pignoli e Daniele Righi, erano abituati ad esaminare i pazienti con l'ausilio di immagini ecografiche 2D tradizionali. Per ovviare a questo problema, avviammo una significativa collaborazione con la Società Esaote, leader europeo nell'ecografia ad ultrasuoni. Esaote ci mise a disposizione uno dei suoi ecografi, dal quale estraevamo gli echi di ritorno che venivano elaborati dalla nostra elettronica. Questa combinazione permetteva finalmente di abbinare le immagini morfologiche dell'ecografo Esaote a quelle emodinamiche ottenute col nostro hardware.

Questo approccio ampliò apprezzabilmente il campo di applicazione clinica delle nostre metodiche e facilitò, ad esempio, lo studio simultaneo dei movimenti del sangue e delle pareti arteriose, evidenziando, attraverso la correlazione tra tali movimenti, la possibilità di diagnosticare precocemente l'aterosclerosi. Tuttavia, l'utilizzo di un apparecchio commerciale limitava sensibilmente la nostra libertà di azione. In particolare, non avevamo modo di intervenire sulla sequenza dei segnali di trasmissione, una sequenza che, opportunamente configurata, può risultare decisiva in molte nuove applicazioni. Per questo motivo, approfittando dell'ingresso in laboratorio di giovani e brillanti ingegneri come Stefano Ricci, Enrico Boni e Alessandro Ramalli, oltre che del valido contributo di numerosi laureandi e dottorandi, decidemmo di tentare l'avventura di sviluppare un ecografo completo, capace di fare indagini sia di Imaging che Doppler, ma 'aperto' ('open scanner') alla possibilità di operare secondo i desideri dell'utente. Così, nel 2008, nacque ULA-OP (acronimo di ULtrasound Advanced Open Platform), oggi unanimemente riconosciuto come il primo open scanner portatile al mondo, e l'unico interamente sviluppato all'interno di una Università. Con ULA-OP potemmo finalmente visualizzare insieme ai profili di velocità la regione in cui essi erano generati e, soprattutto, testare sperimentalmente qualunque nuova modalità di indagine giudicata promettente in base ai risultati delle simulazioni.

Il nuovo ecografo destò l'interesse di molti laboratori attivi nel campo dell'ecografia ad ultrasuoni, i quali, inaspettatamente, ci chiesero di replicarlo per le loro esigenze. Cercammo di rispondere a tutte le richieste con grande entusiasmo, anche perché dietro ogni richiesta s'intravedeva la possibilità di avviare una interessante collaborazione scientifica. Ovviamente fu un periodo molto impegnativo, anche perché un laboratorio di ricerca universitario non è mai attrezzato per una, sia pur piccola, produzione. Questa attività incoraggiò la nascita di X-Phase, *spin-off* dell'Università di Firenze che reclutò alcuni dei più bravi ingegneri scaturiti da MSDLab per produrre sistemi innovativi, quasi sempre ad ultrasuoni. In accordo con la nostra Università, X-Phase avviò in particolare la produzione di ULA-OP, di cui oggi risultano attrezzati più di 30 laboratori in tutto il mondo, Europa, Asia e Nord America compresi.

Lo sviluppo di ULA-OP ha anche rinforzato significativamente la collaborazione con Esaote, che non solo ha accettato che le proprie sonde fossero utilizzate insieme al nostro strumento, ma ha anche deciso di utilizzare ULA-OP, col nostro supporto, per la valutazione di nuove metodiche di loro interesse.

Nel corso degli ultimi anni, MSDLab ha significativamente esteso le capacità dell'ecografo, dando vita alla versione a 256 canali (ULA-OP 256, Figura 85), fortemente orientata ad applicazioni in tempo reale che richiedono alta velocità di operazione. In particolare, il sistema è stato recentemente dimostrato capace di fornire migliaia di immagini al secondo (un *frame rate* decine di volte superiore a quello delle apparecchiature tradizionali), dimostrandosi così idoneo all'impiego, congiunto con sonde

innovative come gli array 'sparsi', anche nel campo della ecografia 3D. Su questi temi sono in corso diverse collaborazioni con Università prestigiose (Lione, Delft, King's College, Waterloo, Colorado) e, oltre a Esaote, società all'avanguardia come STMicroelectronics e Invensense, che favoriranno la crescita del patrimonio scientifico del Laboratorio. Quest'ultimo potrà così valorizzare il proprio ruolo di 'ponte' tra Elettronica e Ultrasuoni, consapevole della necessità di mantenere le caratteristiche di multidisciplinarietà che lo hanno sempre contraddistinto, continuando a prestare la dovuta attenzione ai possibili contributi di Informatica, Fisica, Elaborazione dei segnali, Fisiologia.



Figura 85 – Gli ecografi ULA-OP, a 64 canali, e ULA-OP256, specializzato nell'elaborazione ultraveloce dei segnali ecografici da 256 trasduttori