

## UN NUOVO SISTEMA PER LA ANALISI ED ELABORAZIONE DI SEGNALI EEG

V. Cappellini, E. Del Re, P.L. Emiliani, P. Martinelli, V. Roma, R. Sferlazzo

### 1. INTRODUZIONE

In alcuni campi dell'analisi clinica, come nel caso di lesioni o stati epilettici o nel controllo dell'anestesia, e' notevolmente importante visualizzare l'evoluzione nel tempo di alcune componenti dell'elettroencefalogramma (EEG) e le relazioni di queste componenti in diverse derivazioni prelevate sulla volta cranica. Cio' implica la necessita' di disporre di adatti sistemi per l'analisi passa banda in tempo reale di diverse derivazioni elettroencefalografiche.

In questo lavoro e' descritta la realizzazione in forma numerica di un sistema del tipo precedente, dove il modulo minimo e' un analizzatore numerico in sedici bande contigue di quattro derivazioni. Questo modulo minimo, che puo' essere moltiplicato in parallelo se si vogliono analizzare piu' di quattro derivazioni, e' a sua volta diviso in moduli elementari dei quali solo alcuni devono essere duplicati per l'aggiunta di nuovi canali.

L'analizzatore passa banda e' poi seguito da un estrattore di valore efficace, con tempi di integrazione che possono arrivare fino ad alcuni minuti, realizzato mediante un microcalcolatore.

Nel seguito sono descritti prima i criteri di scelta dei filtri utilizzati nella elaborazione e poi la struttura dell'analizzatore passa banda. Viene quindi presentato il sistema di estrazione del valore efficace e sono descritte le unita' di ingresso-uscita.

### 2. PROGETTO DEI FILTRI UTILIZZATI NELL'ELABORATORE

L'unita' di analisi realizzata e' un banco di filtri che estrae dai segnali di ingresso il contenuto spettrale in 16 bande contigue. In particolare con un campionamento a 100 Hz, l'unita', costituita da 16 filtri ognuno con larghezza di banda nominale di 2 Hz, permette di analizzare l'intervallo di frequenza 0-32 Hz con una finezza sufficiente ad estrarre dal segnale le componenti fondamentali per un'analisi clinica del segnale.

I filtri utilizzati sono a risposta impulsiva finita (FIR) con  $N=255$  coefficienti, progettati secondo un metodo generale di approssimazione della risposta in frequenza con il criterio di Chebychev [1]. Il loro dimensionamento e' stato

effettuato in base ad una analisi delle prestazioni ottenibili al variare dei parametri del problema, cioe' la lunghezza della risposta indice, la larghezza della banda di transizione e le massime deviazioni in banda e fuori banda. L'analisi e' stata limitata a valori di  $N$  uguali a potenze del 2, data la semplificazione ottenibile in questo caso nel controllo della apparecchiatura e la constatazione che le memorie disponibili in commercio sono prodotte con un numero di celle corrispondenti appunto ad una potenza del 2.

I filtri sono stati progettati in modo da avere l'incrocio delle risposte in frequenza a -6 dB e hanno un errore in banda massimo di .42 dB ed una attenuazione fuori banda minima di -32 dB. La pendenza e' tale che il passaggio dal valore 1 al primo zero della risposta in frequenza avviene in 0,8 Hz.

I coefficienti dei filtri sono rappresentati in virgola fissa con punto decimale a sinistra e con una lunghezza di parola di 16 bit, suggerita dal fatto che la memoria dei coefficienti e' realizzata con memorie EPROM organizzate in celle di 8 bit.

### 3. DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI ANALISI SPETTRALE

Per aumentare la modularita' del sistema, il modulo elementare corrispondente all'analisi di 4 canali e' stato diviso in sottomoduli, alcuni dei quali possono essere utilizzati anche da eventuali canali aggiuntivi.

In particolare la parte di elaborazione numerica relativa al filtraggio passa banda e' stata divisa in 4 blocchi funzionali, fisicamente realizzati su cartoline diverse:

- a) unita' aritmetica,
- b) unita' di controllo,
- c) memoria dei coefficienti,
- d) memoria dei campioni.

Descriviamo per prima la cartolina contenente l'unita' aritmetica, perche' le scelte effettuate nella sua realizzazione hanno poi influenza sulla struttura degli altri elementi che devono fornirle i dati e controllarne il funzionamento.

Se calcoliamo il numero di moltiplicazioni che devono essere effettuate in un secondo per 4 canali, 16 filtri di 255 coefficienti ed un campionamento di 100 Hz, si ottiene un tempo di moltiplicazione di  $\sim 0,6 \mu s$ . Questo e' abbondantemente compatibile con il tempo di operazione di moltiplicatori a matrice che puo' essere dell'ordine di  $0,1 \mu s$ . Questi componenti sono pero' costosi e risulterebbero sottoimpiegati in una applicazione quale quella in esame. Sono stati percio' utilizzati componenti piu' economici, come i moltiplicatori del tipo serie-parallelo, che sono compatibili come tempo di operazione con la realizza-

Prof. Vito Cappellini, Ing. Enrico Del Re, Istituto di Elettronica, Ingegneria, Firenze.  
Dr. Pier Luigi Emiliani, IROE-C.N.R., Firenze.  
Ing. Piero Martinelli, Ing. Vincenzo Roma, OTE Biomedica S.p.A., Firenze.  
Prof. Rodolfo Sferlazzo, Servizio di Elettroencefalografia, Ospedale Neuropsichiatrico, Firenze.



zione di un canale singolo.

La capacità di calcolo complessiva necessaria e' poi ottenuta utilizzando piu' di un moltiplicatore e realizzando 4 canali di elaborazione separati ognuno costituito da un moltiplicatore serie-parallelo e da un accumulatore serie. Ogni coefficiente (16 bit) viene portato ai 4 ingressi seriali dei moltiplicatori contemporaneamente, mentre agli ingressi parallelo (8 bit) vengono portati 4 campioni dei diversi segnali di ingresso attraverso 4 registri (ingresso in parallelo, uscita in parallelo) di interfaccia (Fig. 1).

I filtri omologhi dei diversi canali sono quindi effettuati contemporaneamente e disponibili allo stesso tempo alle uscite serie degli accumulatori.

L'unità di controllo e' microprogrammata, cioe' e' costituita da una PROM nella quale sono memorizzati i segnali di controllo delle altre cartoline e da un contatore che legge in modo sequenziale tali segnali. La sua struttura generale puo' essere utilizzata anche da ulteriori canali, con l'aggiunta di alcuni bit alla PROM per i segnali di comando necessari per il trasferimento dei campioni nel canale di interconnessione fra le cartoline, quando si ha piu' di un blocco di elaborazione collegato sullo stesso canale.

La memoria dei coefficienti (4096 parole di 16 bit) e' realizzata con memorie EPROM (2716), lette in sequenza con una temporizzazione comandata dalla cartolina di microprogrammazione. E' interfacciata verso l'esterno con un convertitore parallelo-serie, per adattare la sua uscita con l'ingresso serie dei moltiplicatori usati nella unità aritmetica (Fig. 1).

La memoria dei campioni e' realizzata con RAM statiche e vi si accede con una sequenza di lettura e scrittura che simula un funzionamento del tipo registro a spostamento. Dovendo servire come memoria di ingresso per quattro canali, ha una dimensione di 1024 celle di 8 bit, che vengono lette e scritte a gruppi di 4 parole.

#### 4. SISTEMA DI CALCOLO DEL VALORE EFFICACE

Questo sistema deve essere in grado di effettuare il quadrato dei campioni in uscita dall'analizzatore e la accumulazione dei quadrati per un tempo programmabile in funzione delle diverse applicazioni. Infine i risultati della accumulazione devono essere divisi per il numero di somme effettuate e ne deve essere estratta la radice quadrata.

Le esigenze di programmabilità e il tipo di operazione da compiere (radice quadrata) hanno suggerito una realizzazione di questa parte per mezzo di un microcalcolatore (INTEL 8080). Purtroppo pero' un microcalcolatore di questo tipo non e' in grado di effettuare una moltiplicazione nel tempo intercorrente fra l'arrivo di due campioni successivi, uguale a 156  $\mu$ s. Il problema e' stato risolto usando un moltiplicatore serie-parallelo connesso fra l'uscita dell'analizzatore opportunamente interfacciata e l'ingresso del microcalcolatore. Il moltiplicatore acquisisce i dati in uscita dall'analizzatore, ne esegue il quadrato e presenta i 16 bit del prodotto all'ingresso di una interfaccia parallelo collegata al microcalcolatore, che riceve i dati e li somma ai risultati parziali precedentemente ottenuti, utilizzando per ogni canale una cella di 32 bit.

Alla fine del tempo di accumulazione, programmabile attraverso una tastiera, tutti i risultati delle varie bande vengono normalizzati e sono calcolate le radici quadrate.

I risultati vengono inviati verso l'esterno attraverso una interfaccia parallelo cui puo' essere collegata una stampante, un registratore od un qualsiasi altro sistema di presentazione.

Nel caso che si debbano elaborare piu' di 4 canali, si possono inserire nel sistema piu' unità del tipo precedente o si puo' variare la configurazione "hardware" ed il "software" del microcalcolatore allo scopo di ottenere maggiori velocità di elaborazione. E' stato infatti visto che, connettendo direttamente l'uscita del moltiplicatore al canale di memoria del 8080 ed effettuando le operazioni di lettura e scrittura in memoria come operazioni di gestione della catasta operativa e' possibile effettuare l'accumulazione su tutte le uscite di 16 derivazioni, cioe' su 256 segnali, usando un solo microprocessore.

#### 5. UNITA' DI INGRESSO-USCITA

L'analizzatore numerico descritto sopra costituisce solo la parte centrale di un sistema che deve essere poi dotato di opportuni sottosistemi di ingresso e uscita per l'acquisizione dei dati e la presentazione dei risultati.

L'unità di ingresso e' costituita da un multiplex analogico a 4 ingressi, da un campionatore e da un convertitore analogico-digitale a 8 bit (compreso il segno). Per l'analisi di piu' di 4 canali, l'unità di ingresso puo' essere moltiplicata o puo' essere sostituita con una avente un multiplex con piu' canali ed eventualmente un convertitore piu' veloce.

In uscita e' invece necessario un sistema di selezione e presentazione dei risultati. Infatti con 4 segnali di ingresso sono prodotti in uscita 64 segnali e quindi e' necessario un sistema di selezione dei segnali di interesse (per esempio tutte le componenti  $\alpha$  o  $\beta$ ) e di trasferimento ad un sistema di presentazione (registratore a carta, monitor TV...) o un sistema di compressione dei risultati, come l'estrazione dei valori efficaci che possono essere stampati o presentati sotto forma di istogrammi.

Nel caso del modulo elementare per 4 canali, la selezione dei segnali e il loro invio verso l'esterno puo' essere effettuato con lo stesso microcalcolatore che effettua l'accumulazione per il calcolo del valore efficace.

#### 6. CONCLUSIONI

Il sistema descritto e' stato sperimentato nelle sue varie parti mostrando un perfetto funzionamento. E' in fase di avvio un ampio programma di applicazione del sistema alla analisi ed elaborazione di segnali EEG in ambiente clinico.

E' infine interessante osservare che il sistema, nella sua forma di analisi di 16 segnali (con 4 moduli), e' utilizzabile per effettuare analisi ed elaborazioni di "micromappe EEG" (16 punti) al fine di caratterizzare a tempi piu' o meno brevi la distribuzione spaziale degli andamenti tempo-frequenza dei segnali EEG.

Si ringrazia l'Ing. Celli per la utile collaborazione.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1 V. CAPPELLINI, A. G. CONSTANTINIDES, P. EMILIANI: Digital Filters and Their Applications, "Academic Press", London-New York, 1978.



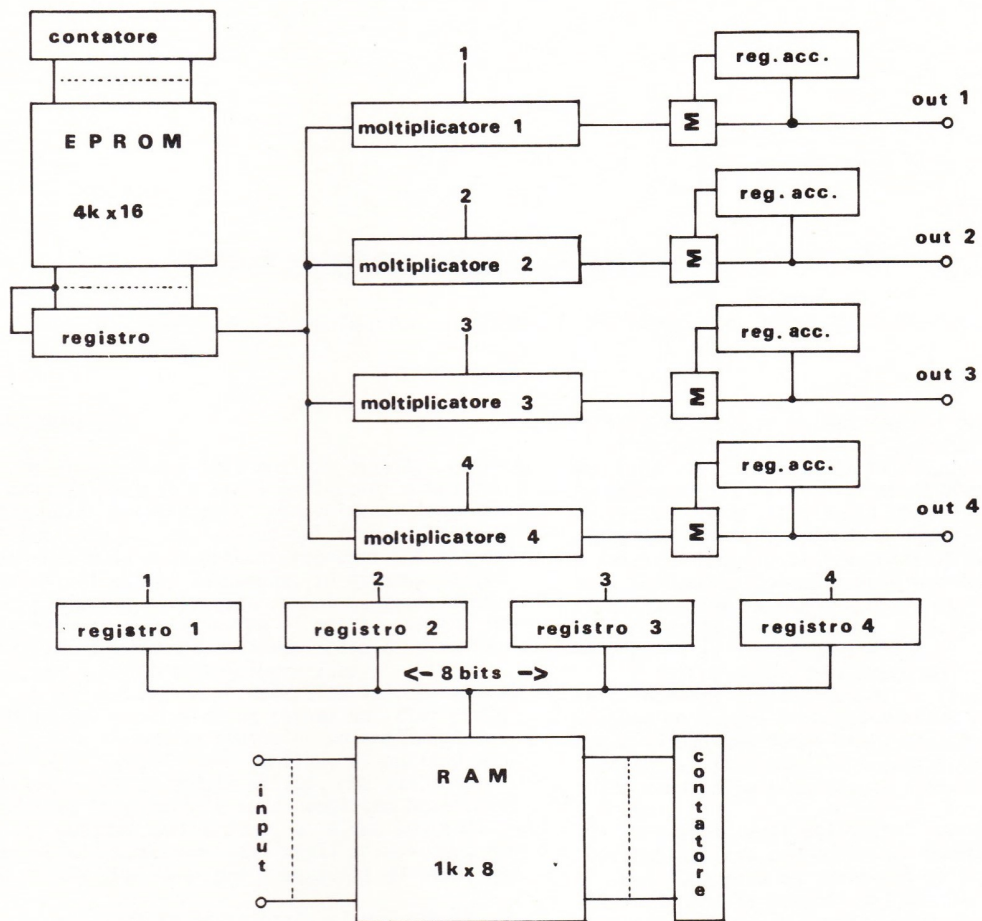


Fig.1 - Schema a blocchi del sistema di analisi spettrale