

Consiglio Nazionale delle Ricerche

**ISTITUTO DI ELABORAZIONE
DELLA INFORMAZIONE**

PISA

**METODOLOGIE E STRUMENTI PER L'ANALISI DIGITALE
DI SEGNALI RILEVATI DA AUTOVETTURA**

L. Bedini, G. Giunta

Nota interna B4-43

METODOLOGIE E STRUMENTI PER L'ANALISI DIGITALE
DI SEGNALI RILEVATI DA AUTOVETTURA

L. Bedini e G. Giunta

1. Introduzione

Un sistema per il trattamento numerico di segnali, oltre a rendere disponibili i principali algoritmi di elaborazione, deve anche fornire un ambiente interattivo che consenta facilmente di adattare e combinare le risorse disponibili in modo da consentire la soluzione del problema specifico sotto studio.

A causa della varieta' dei problemi incontrati nelle applicazioni non e' facile disporre di un sistema sufficientemente flessibile e generale da soddisfare tutte le possibili esigenze. Generalmente i sistemi esistenti, al fine di consentire una buona flessibilita' d'uso, soddisfano le esigenze relative ad una classe molto ristretta di problemi.

Lavoro svolto nell'ambito di un contratto di collaborazione con il Centro Ricerche FIAT.

La presente nota ha due obiettivi principali:

- a) fornire uno strumento di lavoro flessibile e adatto alla elaborazione di segnali rilevati da autovetture;
- b) fornire un ambiente interattivo sufficientemente generale che faciliti la realizzazione di strumenti di lavoro per l'elaborazione di altri tipi di segnali.

Lo strumento realizzato e' basato sul sistema VM/370 disponibile presso il CNUCE; utilizza un terminale video grafico TEKTRONIX 4013 in dotazione all'IEI; i dati da elaborare sono generalmente forniti su supporto magnetico digitale.

Per la conversione analogico digitale si prevede attualmente di utilizzare il sistema Fourier Analyzer 5450 della H.P. disponibile presso l'IEI. Tale sistema consente la conversione di 4 canali analogici e la memorizzazione dei dati campionati in nastro magnetico IBM compatibile fino ad una frequenza massima di campionamento per canale di 2500 camp./sec..

2. Requisiti specifici dello strumento

Per la descrizione dei requisiti richiesti allo strumento realizzato e' opportuno distinguere le seguenti due fasi:

- a) fase di pre-elaborazione

In tale fase e' richiesta:

- 1) introduzione dei dati di calibrazione e taratura;
- 2) visualizzazione grafica dei segnali acquisiti con possibilita' di compattazione dei dati al fine di rappresentare epoche di diversa durata sullo schermo grafico;
- 3) riconoscimento dei segnali che delimitano le varie prove digitalizzate;
- 4) stima del segnale di velocita' angolare istantanea delle ruote a partire dal segnale di ruota fonica;
- 5) selezione di epoche di interesse per le successive elaborazioni;
- 6) archiviazione delle epoche selezionate.

b) fase di elaborazione

In tale fase e' richiesto:

- 1) valutazione dello spettro di potenza;
- 2) valutazione del cross-spettro;
- 3) valutazione della funzione di auto e cross-correlazione;
- 4) stima della funzione di coerenza;

- 5) filtraggio dei segnali nel dominio sia del tempo che delle frequenze;
- 6) stima di indici di correlazione, di medie e di varianze;
- 7) stima di modelli autoregressivi;
- 8) presentazione in forma grafica e numerica dei risultati parziali e finali;
- 9) possibilita' di variare il tipo di elaborazione in dipendenza dai risultati parziali ottenuti;
- 10) possibilita' di archiviazione dei risultati di interesse.

3. Stima della velocita' angolare istantanea delle ruote

Il segnale di velocita' angolare istantanea viene stimato a partire dal segnale di ruota fonica. Questo ultimo e' ottenuto rilevando la d.d.p. indotta su una bobina posta in prossimita' di una ruota dentata solidale con la ruota stessa; temporalmente si presenta come un segnale ripetitivo, quasi sinusoidale, a valore medio nullo, la cui frequenza di ripetizione varia al variare della velocita' della ruota. L'informazione relativa alla velocita' angolare istantanea puo' essere rilevata misurando l'intervallo intercorrente tra due attraversamenti successivi dello zero, con la stessa pendenza. Il segnale analogico, filtrato con un filtro anti-aliasing, viene campionato con una

frequenza di campionamento opportuna [1], al fine di rilevare con buona precisione gli istanti di attraversamento dello zero.

A partire dai campioni generati il segnale velocità angolare istantanea viene ottenuto con i seguenti passi:

- 1) il segnale campionato è riportato a valor medio nullo, al fine di eliminare eventuali derive del convertitore.
- 2) Per ogni coppia di campioni x_i ed x_{i+1} tale che $x_i < 0$ e $x_{i+1} > 0$ si esegue un'interpolazione lineare come mostrato in fig. 1.

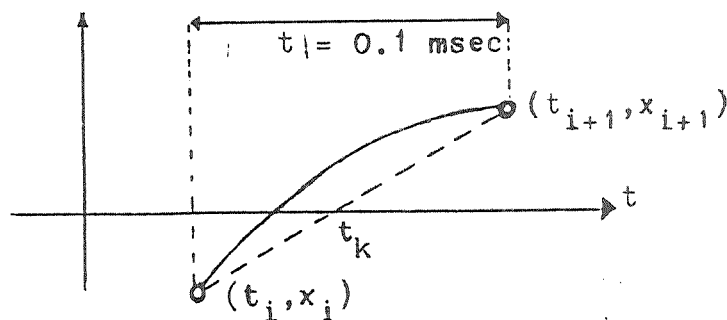


Fig. 1 - Valutazione dell'istante t_k di attraversamento dello zero.

Si è assunto come istante di attraversamento dello zero l'istante t_k .

- 3) Dalla successione $\{t_k\}$, $k = 0, 1, 2, \dots$, mediante interpolazione lineare (fig. 2) si è valutata la successione $\{P_1\}$ che si assume esprimere il valore del periodo istantaneo campionato con frequenza $f_0 = 5 \text{ KHz}$.

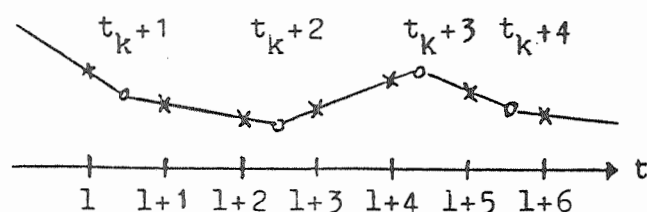


Fig. 2 - Interpolazione lineare degli intervalli misurati.

4. Descrizione degli algoritmi di elaborazione

Per comodita' di programmazione gli algoritmi sono stati raggruppati nelle seguenti classi principali:

a) analisi spettrale

Questa classe raccoglie alcune delle elaborazioni piu' frequentemente usate nell'analisi dei segnali [2,3], quali stima della densita' spettrale e cross-spettrale di potenza e magnitude squared coherence (MSC) [4].

La stima della densita' spettrale e cross-spettrale di potenza, e' ottenuta mediante il metodo del periodogramma [5].

Facendo riferimento a due serie temporali (x_k) ed (y_k) le stime sopracitate sono eseguite nel modo seguente:

-> ognuna delle due serie temporali e' divisa in N segmenti consecutivi ciascuno costituito da P campioni. P deve

essere una potenza di 2 e deve essere scelto in modo da garantire la risoluzione in frequenza richiesta;

-> ogni segmento e' moltiplicato per una funzione pesante, scelta dall'operatore;

-> il generico n-esimo segmento cosi' ottenuto viene trasformato con un algoritmo FFT in modo da ottenere le sequenze complesse $\{X_n(k)\}$ ed $\{Y_n(k)\}$;

-> a partire dalle trasformate vengono stimate le quantita' richieste mediante le seguenti formule:

$$\text{Densita' spettrale canale } x = C_g \sum_{n=1}^N |X_n(k)|^2 = \hat{G}_{xx}(k)$$

$$\text{Densita' spettrale canale } y = C_g \sum_{n=1}^N |Y_n(k)|^2 = \hat{G}_{yy}(k)$$

$$\text{Densita' cross-spettrale canali } x, y = C_g \sum_{n=1}^N X_n^*(k) Y_n(k) = \hat{G}_{xy}(k)$$

$$\text{Magnitude Squared Coherence} = \frac{|\hat{G}_{xy}(k)|^2}{\hat{G}_{xx}(k) \hat{G}_{yy}(k)}$$

dove $C_g \triangleq 1/NP f_c$ ed X^* indica il complesso coniugato di X .

E' possibile definire a piacere il numero di medie, la lunghezza dei segmenti di campioni ed anche la finestra temporale.

Nel caso di stima della densita' cross-spettrale di potenza, essendo l'uscita un vettore complesso e' possibile

scegliere il tipo di rappresentazione, modulo-fase (in questo caso si hanno due grafici) o polare.

La stima della Magnitude Squared Coherence puo' essere fatta in sequenza con le stime di cui sopra; cio' permette un'unica lettura e manipolazione dei dati.

b) Stima delle funzioni di correlazione

Questa classe comprende gli algoritmi per la stima delle funzioni di auto-correlazione, cross-correlazione, indice di correlazione tra due serie $\{x_k\}$ ed $\{y_k\}$.

La valutazione delle correlazioni puo' essere ottenuta od antitrasformando i corrispondenti spettri o cross-spettri di potenza o direttamente nel dominio del tempo utilizzando la formula:

$$R_{xy}(k) = \frac{1}{M-k} \sum_{i=1}^{M-k} x_{i+k} \cdot y_i$$

L'indice di correlazione e' ottenuto con l'espressione:

$$IC = \frac{\max_k [R_{xy}(k)]}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

ove con σ_x^2 e σ_y^2 si sono indicate rispettivamente le stime della varianza di $\{x_k\}$ e di $\{y_k\}$.

c) Stima dell'andamento temporale di medie e di varianze

Questa classe consente di prefissare una finestra temporale mobile e di calcolare all'interno di tale finestra grandezze statistiche quali la media, la varianza e il valore quadratico medio.

d) Analisi spettrale con metodi autoregressivi

In alternativa agli algoritmi illustrati al punto a), e' possibile utilizzare metodi basati su modelli autoregressivi (AR) per la stima della densita' spettrale di potenza.

L'uso di questi ultimi e' utile per ottenere elevate risoluzioni anche in presenza di sequenze temporali di breve durata.

L'algoritmo di stima realizzato consente all'utente di prefissare l'ordine del modello o di stimare quest'ultimo automaticamente attraverso il criterio FPE.

5. Algoritmo per la realizzazione di filtri digitali

Sono resi disponibili algoritmi per la realizzazione di filtri nel dominio sia del tempo che delle frequenze [6,7].

La realizzazione nel dominio nel tempo presenta le seguenti particolarita':

- 1) Possibilita' di visualizzare i grafici della risposta impulsiva e della funzione di trasferimento del filtro.

- 2) Possibilita' di modificare tali parametri in ambiente esecutivo.
- 3) Possibilita' di utilizzare una finestra di Hamming generalizzata al fine di limitare le componenti di disturbo. L'effetto di tale finestra si puo' notare nel confronto tra le fig. 3,4 e le fig. 5,6.
- 4) E' resa disponibile l'operazione di decimazione della sequenza generata con passo a scelta. Tale operazione consente di ottenere risultati corretti solo nel caso che la massima frequenza delle componenti spettrali successive al filtraggio non superi la nuova frequenza di campionamento.
- 5) Possibilita' di eliminare la componente continua, prima di applicare il filtro digitale.

Di seguito e' riportato il procedimento di calcolo di un filtro FIR passa-banda con frequenze di taglio F_1 ed F_2 .

1. Vengono calcolati i vettori W_1 , W_2 e W cosi' definiti:

$$W_1(i) = 2 F_1 \operatorname{sinc} (2 \pi F_1 \Delta t (i-1)) \quad i = 2, 3, \dots, N$$

$$W_2(i) = 2 F_2 \operatorname{sinc} (2 \pi F_2 \Delta t (i-1)) \quad i = 2, 3, \dots, N$$

$$W_1(1) = 2 F_1$$

$$W_2(1) = 2 F_2$$

$$W(i) = W_2(i) - W_1(i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, N$$

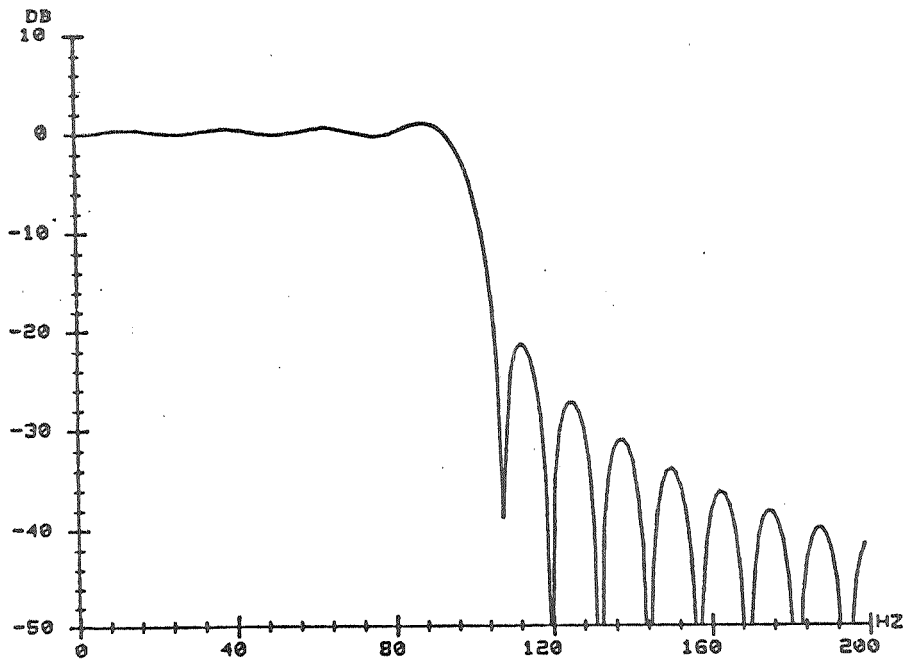


Fig. 3 - Funzione di trasferimento di un filtro FIR con banda 0-100 Hz senza uso di finestre.

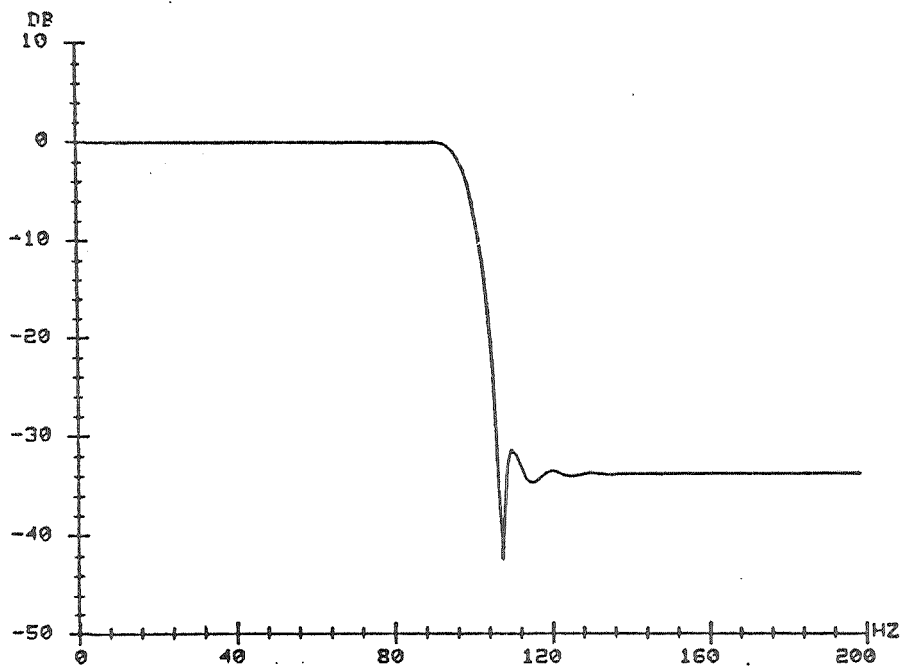


Fig. 4 - Funzione di trasferimento di un filtro FIR con banda 0-200 Hz con l'uso della finestra di Hamming.

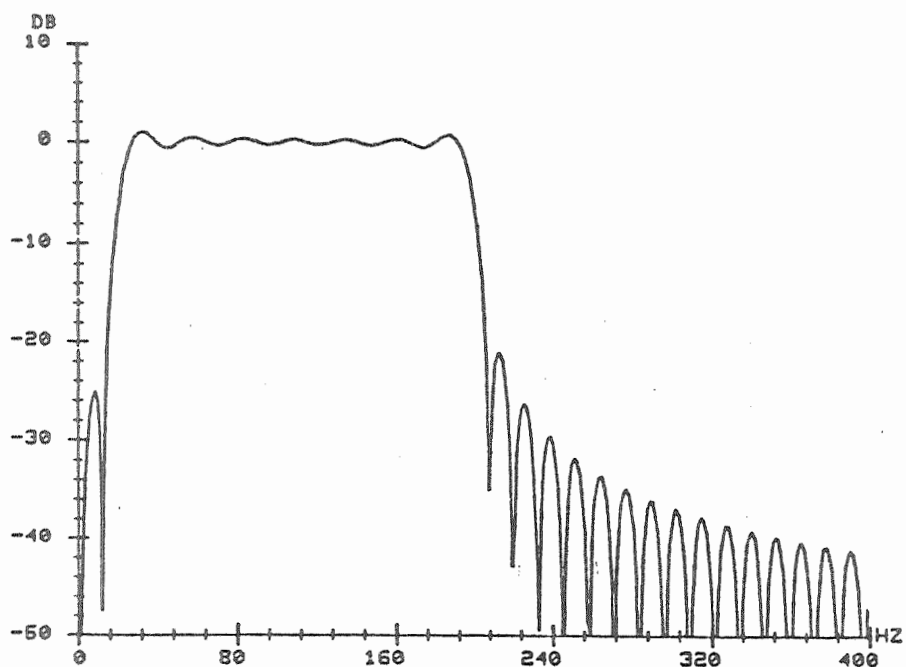


Fig. 5 - Funzione di trasferimento di un filtro FIR con banda 20-200 Hz senza uso di finestra.

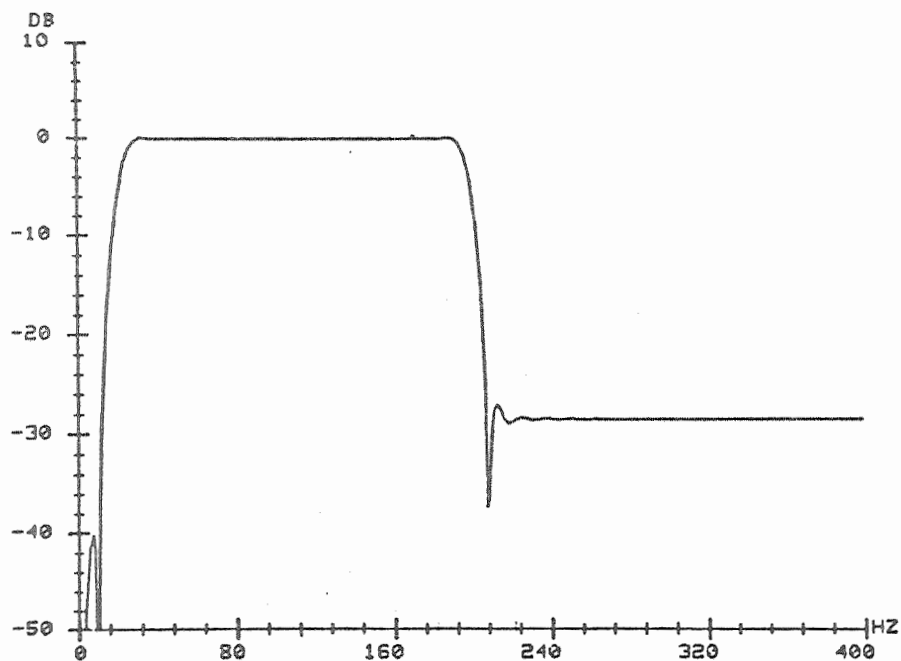


Fig. 6 - Funzione di trasferimento di un filtro FIR con banda 20-200 Hz con l'uso della finestra di Hamming.

2. Viene visualizzato l'andamento del vettore W (come esempio vedere fig. 7,8).
3. Viene richiesto l'indice L di troncamento del vettore W , con eventuale successiva correzione con la finestra di Hamming.
4. Il vettore W , viene normalizzato al fine di rendere l'area unitaria.
5. Viene visualizzata, se richiesta, la funzione di trasferimento del filtro.
6. E' richiesto il passo di decimazione D .

L'esecuzione del filtraggio numerico e' quindi ottenuto con la formula:

$$y(i) = \sum_{n=-L}^L V(i-n+1) W(|n|) \quad i=L, L+D, \dots$$

Il filtro nel dominio delle frequenze utilizza un algoritmo FFT per il calcolo della trasformata e viene implementato nei seguenti passi:

- 1) Selezione della finestra temporale del segnale su cui si vuole operare il filtraggio.
- 2) Calcolo della FFT della finestra temporale selezionata.
- 3) Moltiplicazione delle trasformata per la funzione di trasferimento desiderata.
- 4) Calcolo della FFT inversa.

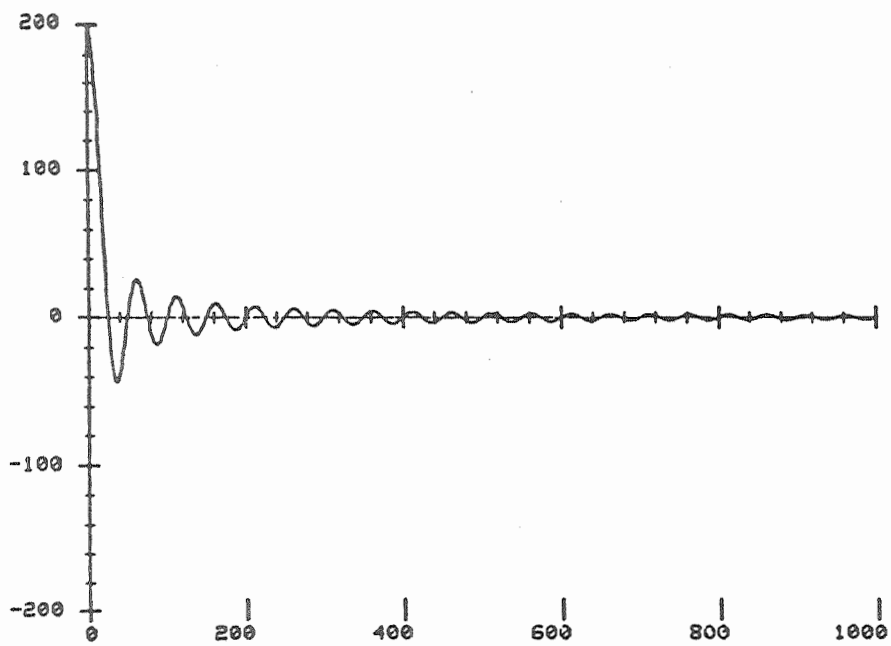


Fig. 7 - Risposta all'impulso di un filtro FIR con banda 0-100 Hz.

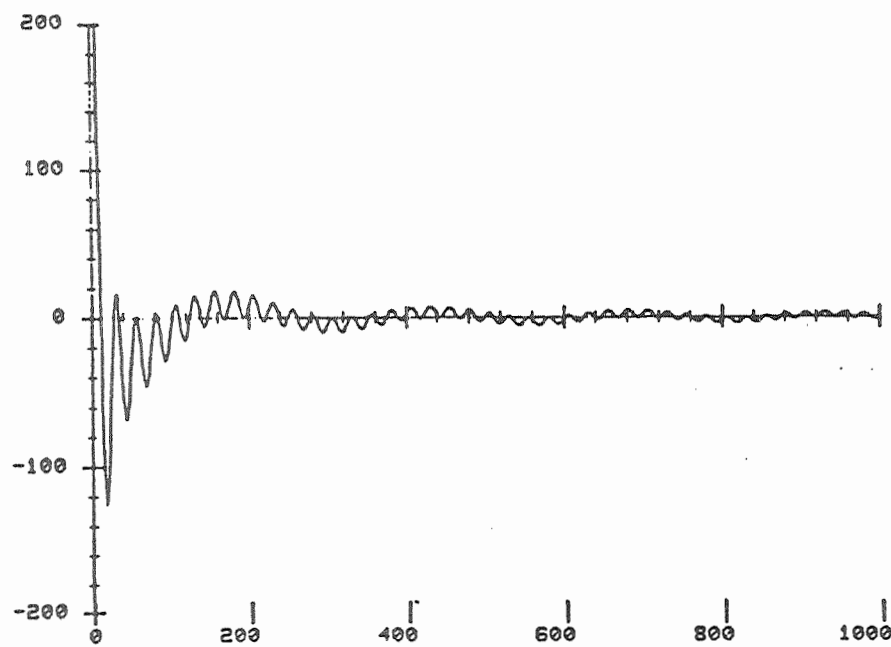


Fig. 8 - Risposta all'impulso di un filtro FIR con banda 20-200 Hz.

6. Modalita' di presentazione dei risultati

Particolare attenzione e' stata posta alla presentazione dei risultati, principalmente di quelli in forma grafica.

In particolare e' stato progettato un pacchetto grafico che presenta le seguenti caratteristiche principali:

- 1) possibilita' di definire i parametri grafici per assi cartesiani, finestre grafiche ecc.
- 2) possibilita' di modificare i parametri durante l'esecuzione.
- 3) memorizzazione dei parametri grafici introdotti alla fine di ogni elaborazione e ripristino automatico all'inizio di una nuova elaborazione; tale scelta solleva l'utente da continue richieste di dati.
- 4) possibilita' di inserimento di commenti alfanumerici sui grafici tracciati.
- 5) Verifica automatica della compatibilita' dei parametri inseriti con il contesto di rappresentazione grafica.

Il pacchetto grafico prevede attualmente l'uso del terminale grafico Tecktronix 4013; e' stato strutturato in modo da consentire un facile adattamento ad un terminale di tipo diverso.

7. Struttura del Software

La struttura fa uso dell'interprete EXEC utilizzabile sotto il "Converstational Monitor System" [8]; questa scelta consente di interfacciare l'utente con uno strumento completo e per quanto possibile con accessi controllati.

Uno schema a blocchi della struttura realizzata e' riportata in fig. 9.

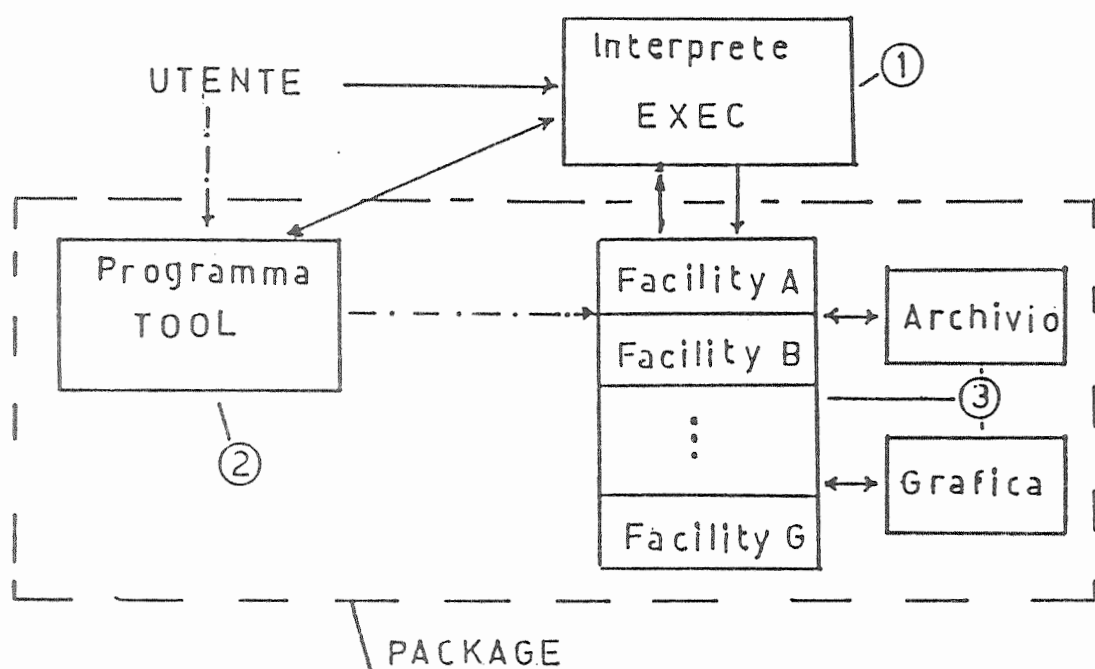


Fig. 9 - Struttura del package e delle sue interazioni con l'esterno (-.-accessi virtuali, — accessi reali)

Le facility sono interfacciate e strutturate da un programma supervisore.

TOOL e' una procedura EXEC che svolge le seguenti funzioni:

1. Presenta un menu' delle facility a disposizione dell'utente (tra queste vi e' la facility HELP per l'apprendimento guidato del pacchetto).
- 2) Aggiorna i puntatori correnti dell'archivio di elaborazioni definito dall'utente.
- 3) Controlla l'esecuzione della facility scelta dall'utente.

Il menu' fornito e' il seguente:

1. Analisi spettrale (AS)
2. Stima di quantita' statistiche (SC)
3. Filtraggio digitale (FD)
4. Generazione di processi stocastici (GPS)
5. Stima con modelli autoregressivi (AR)
6. Help (HL)
8. Conclusioni

Il package realizzato implementa tutte le principali operazioni eseguibili sui segnali numerici, quali il filtraggio numerico sia nel dominio del tempo che nel dominio delle frequenze, la trasformata diretta ed inversa di Fourier, il calcolo delle funzioni di auto e cross-correlazione e dell'MSC, la stima di spettri di potenza con il metodo dei periodogrammi e con metodi autoregressivi;

consente inoltre la presentazione video-grafica dei risultati con la tecnica dei menu guidati.

Il package per quanto orientato alla elaborazione di dati rilevati da autovettura, ha una struttura di tipo generale che lo rende adatto alla elaborazione di segnali relativi ad altri campi applicativi.

BIBLIOGRAFIA

- (1) H. Freeman: "Discrete-time systems", ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1965.
- (2) L.R. Rabiner, B. Gold: "Theory and application of digital signal processing", ed. Prentice - Hall, New Jersey, 1975.
- (3) A.V. Oppenheim, R.W. Schaffer: "Digital Signal Processing", ed. Prentice-Hall, New Jersey, 1975.
- (4) G.C. Carter, J.F. Fennie: "A Coherence and Cross Spectral Estimation Program" in "Programs for DSP", ed. IEEE press, 1979.
- (5) L.R. Rabiner, R.W. Schaffer, D. Diwgos: "Periodogram Method for Power Spectrum Estimation" in "Programs for DSP", ed. IEEE press, 1979.
- (6) J.H. McClellan, T.W. Parks, L.R. Rabiner: "FIR linear Phase Filter Design Program" in "Programs for DSP", ed. IEEE press, 1979.

(7) G. Giunta: "Pacco di simulazione per sistemi di comunicazione", Tesi di Laurea in Ing. Elettronica, Pisa, 1985.

(8) IBM Virtual Machine Facility/370. Introduction 1975.