

||
Consiglio Nazionale delle Ricerche

||
**ISTITUTO DI ELABORAZIONE
DELLA INFORMAZIONE**

PISA

||

RILEVAMENTO ED ELABORAZIONE IN LINEA DEL RIT-
MO CARDIACO IN TEST ORTO-CLINOSTATICI

L. Bedini, E. Bozzi, B. Carbone

Nota interna B83-21

Dicembre 1983

RILEVAMENTO ED ELABORAZIONE IN LINEA DEL RITMO CARDIACO IN TEST ORTO- -CLINOSTATICI

L. Bedini, E. Bozzi, B. Carbone

Introduzione

La rilevazione del ritmo cardiaco, utile in vari settori dell'attività clinica, viene effettuata a partire all'E.C.G. valutando la frequenza media dei picchi R, su intervalli di tempo di qualche secondo, oppure misurando l'intervallo intercorrente tra un picco R ed il successivo e quindi calcolando l'inverso di tale intervallo. E' necessario ricorrere al secondo modo in tutti quei casi in cui interessa una rilevazione battito per battito della frequenza cardiaca.

Nel primo caso la rilevazione viene di norma effettuata in via analogica, nel secondo è più opportuno avvalersi di tecniche digitali che facilitano l'esecuzione dell'operazione di divisione necessaria per il calcolo della frequenza a partire dalla misura dell'intervallo R-R.

La disponibilità di dispositivi digitali con prestazioni sofisticate ed in particolare di microprocessori rende più semplice la realizzazione di strumenti atti non solo a rilevare delle singole grandezze biologiche ma anche ad eseguire delle elaborazioni di tipo sofisticato sulle grandezze rilevate.

Nel presente lavoro viene descritto un sistema per l'analisi in linea del ritmo cardiaco in test orto-clino statici relativi a studi sulla regolazione neurovegetativa del ritmo cardiaco.

Tale sistema è stato realizzato utilizzando una scheda di acquisizione e pre-elaborazione basata sul microprocessore Z80 e un personal computer della Hewlett-Packard.

Esso consente principalmente di rilevare l'andamento del ritmo cardiaco a seguito di transizioni orto-clino statiche e di mediare gli andamenti rilevati a seguito di più transizioni successive al fine di migliorare il rapporto segnale rumore.

Il sistema è attualmente in uso presso la clinica delle malattie nervose e mentali dell'Università degli Studi di Pisa.

Descrizione delle modalità di rilevamento dei segnali

Nei test orto-clino statici inerenti alla regolazione neuro-vegetativa del ritmo cardiaco interessa valutare l'andamento del ritmo cardiaco a seguito di stimoli che inducono variazioni di frequenza cardiaca. Tra i vari stimoli possibili è stato scelto la transizione orto-clino statica e quella clino-orto statica.

L'esperimento consiste nel porre un paziente su di un lettino basculabile, e nel muovere con una cadenza prefissata (circa un minuto) il lettino da verticale a orizzontale (stimolo orto-clino statico), e da orizzontale a verticale (stimolo clino-orto-statico). La rotazione viene effettuata in circa 1 secondo; considerati i tempi di risposta del sistema biologico in esame, lo stimolo può essere considerato una sollecitazione a gradino; per diminuire il tempo di rotazione si è limitato l'angolo di rotazione da 0° a 70°, anziché da 0° a 90°. Sperimentalmente si è verificato che tale riduzione non modifica la risposta del sistema.

Durante l'esperimento vengono rilevati l'E.C.G. e la posizione del lettino; quest'ultima viene rilevata utilizzando un trasduttore potenziometrico.

In fig. 1 è riportato l'andamento nel tempo della posizione angolare del lettino; al susseguirsi di uno stimolo orto-clino e di uno clino orto è stato dato il nome di ciclo di stimolazione; il numero dei cicli per ogni esperimento è normalmente di 10; spesso viene ridotto, o a seguito del manifestarsi di particolari condizioni del paziente o sulla base di una decisione dell'operatore inerente alla qualità del segnale rilevato, come verrà meglio chiarito in seguito.

Elaborazione dei segnali

L'elaborazione dei segnali rilevati avviene secondo le modalità descritte nel seguito.

Si indichino con $TO_0, TO_1, TO_2 \dots TO_N$ e con $TC_0, TC_1, TC_2 \dots TC_N$ gli istanti in cui il lettino raggiunge l'inclinazione di 35° durante la transizione orto clino e clino orto. Sarà $TC_i - TO_i \cong 60$ secondi e $TO_{i+1} - TO_i = TC_{i+1} - TC_i = 120$ secondi.

Per ciascun intervallo si ponga $\tau_o = T_{CK}$ oppure $\tau_o = T_{OK}$.

Sia $t_o (\leq 0)$ l'istante riferito a τ_o in cui si ha il primo picco R precedente o coincidente con τ_o .

Si indichi con t_i $i = 1, 2, \dots N$ l'istante, riferito a τ_o , in cui cade l'iesimo picco R successivo a τ_o .

Si calcoli la successione.

$$S_k = \{T_i\} \text{ con} \\ T_i = t_i - t_{i-1} \quad i = 1 \div N$$

Tale successione verrà detta Periodo Cardiogramma (P C G) istantaneo relativo alla i -esima transizione orto clino se $\tau_o = T_{OK}$ o clino-orto se $\tau_o = T_{CK}$.

Al fine di migliorare il rapporto segnale rumore è necessario mediare diverse successioni S_k relative allo stesso tipo di transizione.

Sperimentalmente si è visto che il numero delle transizioni necessarie per avere un rapporto segnale rumore soddisfacente è compreso tra 7 e 10. Al fine di eseguire facilmente le medie si è ritenuto opportuno generare per ogni S_k una successione $\bar{S}_k \equiv \{T_i\}$ i cui valori sono relativi ad istanti di tempo \bar{t}_i $i = 0, 1, 2 \dots H$, con $\bar{t}_{i+1} - \bar{t}_i = \Delta t$ con Δt costante e con $\bar{t}_0 = \tau_o$.

L'analisi frequenziali di diversi PCG ha consentito di verificare che può essere assunto $\Delta t = 0,5$ sec. Il procedimento che consente di ottenere \bar{S}_k da S_k è illustrato in fig. 2; ciascun valore \bar{T}_j $j = 1, 2 \dots H$ della successione \bar{S}_k è ottenuto interpolando linearmente tra i valori T_C ed T_{C+1} della successione S_k tali che $t_C \leq J \Delta t \leq t_{C+1}$. \bar{T}_0 è assunto uguale a T_1 .

A partire dalle successioni \bar{S}_k $k = 1, 2, \dots, C$ e relative ad uno stesso tipo di transizione è possibile calcolare per ciascun J

$$\bar{S}_C(J) = \frac{1}{C} \sum \bar{T}_J \quad J = 0, 1, \dots, H$$

ove con C si è indicato il numero di cicli dell'esperimento ($C=7+10$), la sequenza $\bar{S}_C = [\bar{S}_C(0), \bar{S}_C(1), \dots, \bar{S}_C(H)]$ è detta periodo cardiogramma medio e sarà riferito o alla transizione orto-clino (\bar{S}_{co}) e alla transizione clino orto (\bar{S}_{cc}).

Nel nostro caso si è assunto $H = 110$; si è cioè ritenuto sufficiente considerare l'andamento del ritmo cardiaco per 55 secondi a partire dagli istanti τ_o .

A partire da \bar{S}_{co} ed \bar{S}_{cc} viene quindi determinato il ritmo cardiaco medio \bar{RCO} ed \bar{RCC} calcolando i reciproci degli elementi di \bar{S}_{co} e di \bar{S}_{cc} .

In fig. 3 si è riportato un tipico andamento di RCO e di RCC, l'ordinata viene convenzionalmente graduata in battiti al minuto (B/min).

L'andamento di \bar{RCC} viene riportato di seguito a quello di \bar{RCO} . Il grafico rappresenta la risposta ideale, con un rapporto segnale rumore migliorato rispetto alla risposta rilevata nel singolo ciclo, ad una transizione orto-clino effettuata all'istante 0 e una transizione clino orto effettuata all'istante 55sec.

In realtà le transizioni date effettivamente distano mediamente di 60 secondi; poiché 60 secondi è la durata media si è ritenuto opportuno interrompere l'elaborazione dopo 55 secondi dalla transizione.

Conduzione in linea dell'esperimento

Al fine di migliorare la potenzialità del test si è adottata la scelta di effettuare l'elaborazione in linea, con le modalità di seguito riportate.

All'inizio dell'esperimento, con il soggetto collocato sul lettino basculabile in posizione eretta (angolo di rotazione 70°) viene rilevato ed analizzato il periodo cardiaco per circa 15 secondi al fine di testare la validità del segnale E.C.G..

Se il segnale E.C.G. è valido si dà inizio al test segnalando all'operatore di effettuare la rotazione orto-clino; l'istante in cui il lettino assume la posizione angolare di 35° viene assunto come istan-

te τ_0 per il primo semi ciclo orto-clino. Dopo 60 secondi si segnala all'operatore di effettuare la transizione clino-orto; si assume come istante τ_0 del primo semi ciclo clino-orto l'istante in cui il lettino assume la posizione angolare di 35° .

Dopo 60 secondi si segnala all'operatore di effettuare la transizione orto-clino. Nell'istante in cui il lettino ruotato dall'operatore supera l'angolo di 30° termina il primo ciclo ed inizia il ciclo successivo, vedi fig. 1a.

Il ciclo successivo viene temporizzato come il primo ciclo. Oltre alla rilevazione e memorizzazione dei periodi cardiaci istantanei relativi al ciclo in esame, viene eseguito anche l'interpolazione dei dati relativi al ciclo precedente e il risultato viene presentato sul video. L'operatore ha la possibilità di accettare o rigettare i dati relativi al ciclo precedente. A cominciare dal terzo ciclo viene eseguita anche la media con i dati interpolati relativi ai cicli precedenti; tale media viene presentata sul video e viene data all'operatore la possibilità di decidere se continuare o meno la condizione dell'esperimento.

In Fig. (4) mostra la sincronizzazione delle varie attività a partire dal secondo ciclo.

Alla fine dell'esperimento, a partire dal periodo cardiaco medio viene calcolato e presentato sul video il ritmo cardiogramma medio. Quest'ultimo viene anche riportato su stampante grafica, unitamente ad alcuni dati elaborati ed ad un tracciato utile ai fini diagnostici (Punti di Rizzo).

Descrizione del sistema

Il progetto dell'hardware è stato effettuato in modo da consentire la gestione contemporanea del processo di acquisizione e calcolo

degli intervalli di tempo intercorrente tra un picco R ed il successivo dell'E.C.G., del processo di elaborazione dei dati acquisiti, della presentazione dei grafici elaborati sul video e della interazione operatore-sistema. Lo schema a blocchi del sistema è riportato in fig. 5. La contemporaneità di gestione di tutti i processi sopradescritti è stata ottenuta utilizzando due sistemi separati interagenti per l'elaborazione.

Un primo sistema, basato sullo Z80 gestisce l'acquisizione dei segnali (ECG e posizione del lettino), misura l'intervallo intercorrente tra due picchi R successivi dell'E.C.G. ed invia i dati al secondo sistema tramite linea seriale RS232.

Il secondo sistema, costituito dal Personal Computer HP85, elabora i dati ricevuti, presenta i grafici elaborati su video, gestisce l'interazione con l'operatore.

Il sistema a microprocessore, mostrato in fig. 6, è basato sullo Z80, in configurazione con 2K di ROM ed 1K RAM; le periferiche utilizzate sono:

- un CTC a cui è devoluto il compito della misura del periodo istantaneo e della richiesta di interrupt relativa all'istante in cui si ha un'onda "R"
- una porta in ingresso che riceve un segnale digitale, opportunamente isolato dal paziente tramite un disaccoppiatore ottico, ogni qual volta viene cambiata la posizione del lettino
- una porta in uscita che consente tramite indicatori a LED di conoscere gli stati più significativi del sistema;
- un SIO che gestisce tramite interfaccia RS232 a 9600 baud il collegamento tra il micro e il personal computer.

In fig. 7 è riportata la configurazione del sistema HP-85 che è un personal computer fornito di:

- unità a nastro incorporato che permette di caricare e memorizzare programmi e dati su cassette a nastro magnetico;
- un video su cui è possibile presentare in modo alfanumerico 32 caratteri su 16 righe , in forma grafico 256 pixel utilizzabili per l'asse X e 192 per l'asse Y;
- una stampante termica incorporata che consente l'over-copy del video;
- hardware per l'interconnessione con un plotter o una stampante esterna.

Sistema software

Il programma che gestisce l'esperimento, è composto di due parti fondamentali. La prima è implementata sul sistema a microprocessore, scritta in assembler Z80 e memorizzato in ROM.

La seconda parte è implementata sull'HP-85 ed è scritta in Basic e memorizzata su cassetta magnetica da cui è ripresa e caricata in memoria, al momento dell'esecuzione. Il software in Basic è suddiviso, per motivi legati alla dimensione della memoria disponibile, in due moduli a cui è stato dato il nome di "ECG1" e "STAMPE" ognuno di tali moduli può richiamare l'altro, le variabili comuni vengono conservate in memoria, il diagramma di flusso relativo all'interconnessione dei due moduli è mostrato in fig. 8.

"Il modulo "ECG1" gestisce e guida l'operatore nell'esecuzione dell'esperimento, in fig. 9 è mostrato il diagramma di flusso relativo all'esecuzione di un ciclo di misura. Il modulo "STAMPE" è automaticamente caricato in memoria dopo l'esecuzione di "ECG1"; in forma interattiva con l'operatore provvede alla richiesta dei dati clinici e antropometrici, alla presentazione dei risultati sul video, o su plotter, alla loro archiviazione su cassetta magnetica.

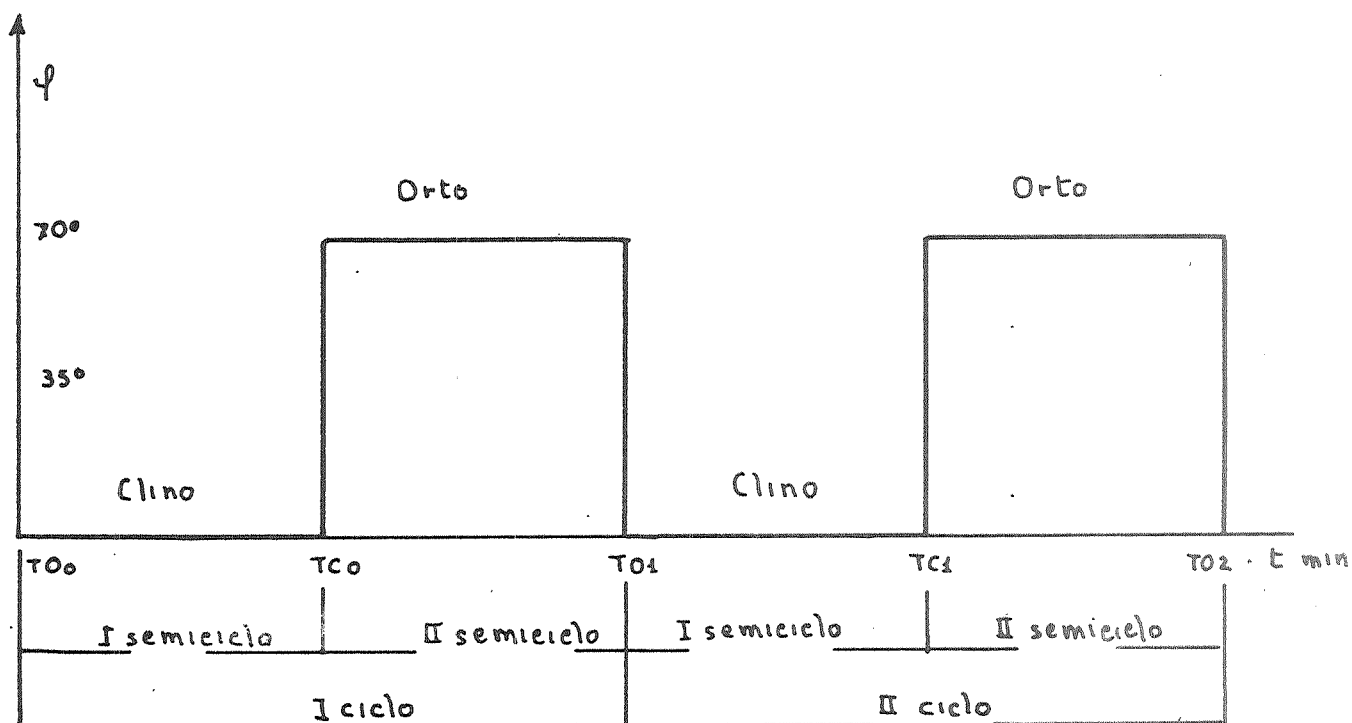
Conclusioni

Il sistema realizzato è in uso da circa un anno presso la Clinica delle Malattie Nervose e Mentali dell'Università degli Studi di Pisa ed è stato sperimentato su un'ampia casistica (più di 100 soggetti).

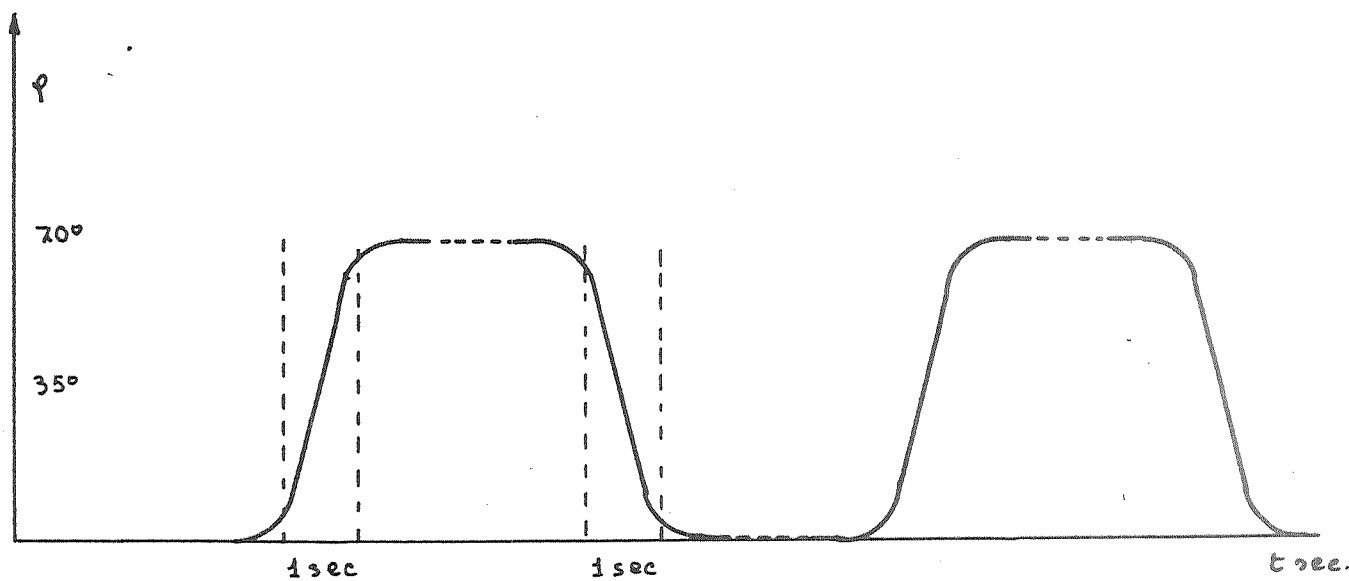
Sono state apprezzate la facilità di uso, l'affidabilità e le prestazioni, soprattutto quelle inerenti alla elaborazione in tempo reale e alla presentazione grafica dei risultati.

Bibliografia

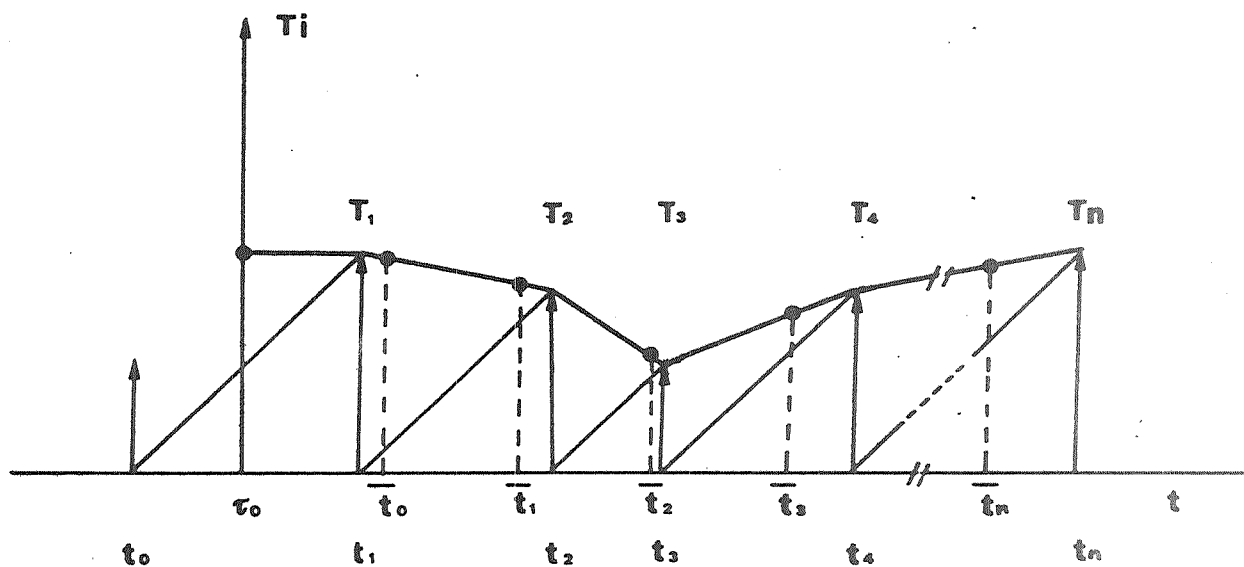
- L. Bedini, F. Denoth, E. Gandini-Collodel, S. Gandini, A. Starita: A proposed model for the investigation of the central automatic regulating system; Proceedings of III International Symposium on Biobernetics, Lipsia 3-7/8/1971.
- C. Rizzo: Metodo pratico per l'Esplorazione del sistema nervoso vegetativo; Riv. Pat. Nerv. Ment. 56, 448, 1940.
- ZILOG: Microcomputer Components Data Booc., 1981.
- Mostek bus STD: MDX - CPU2.
- Mostek bus STD: MDX - S102.
- Mostek bus STD: MDX - PIO.
- Hewlett - Packard: I/O Programming Guide.



a) andamento della posizione angolare (φ)
del lettino in funzione del tempo

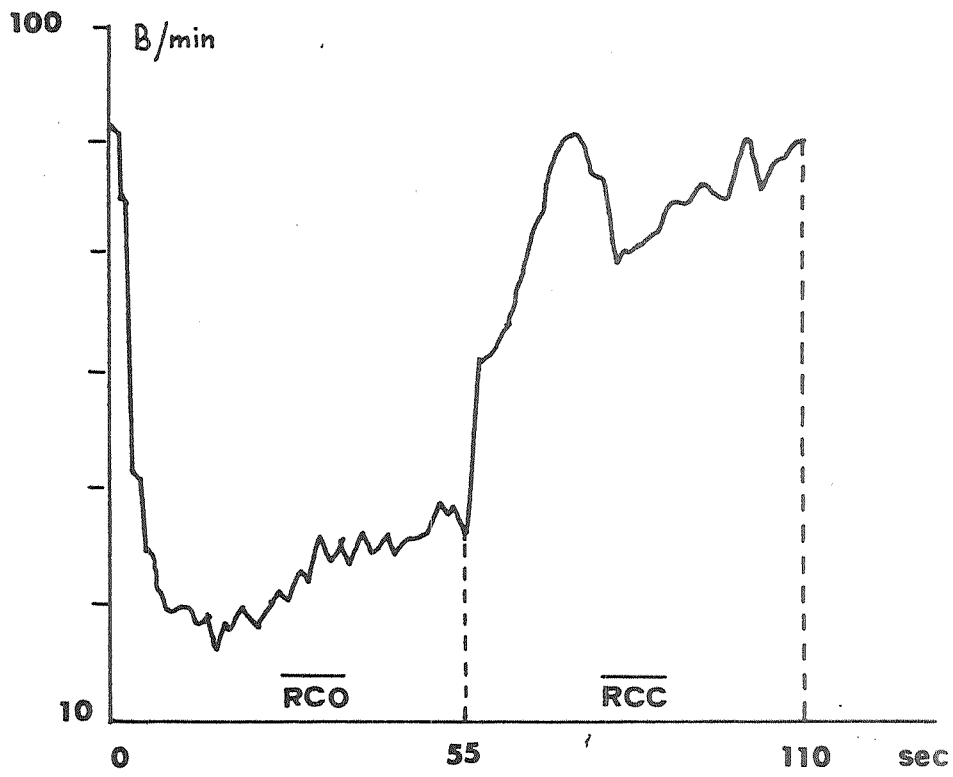


b) andamento delle transizioni del lettino

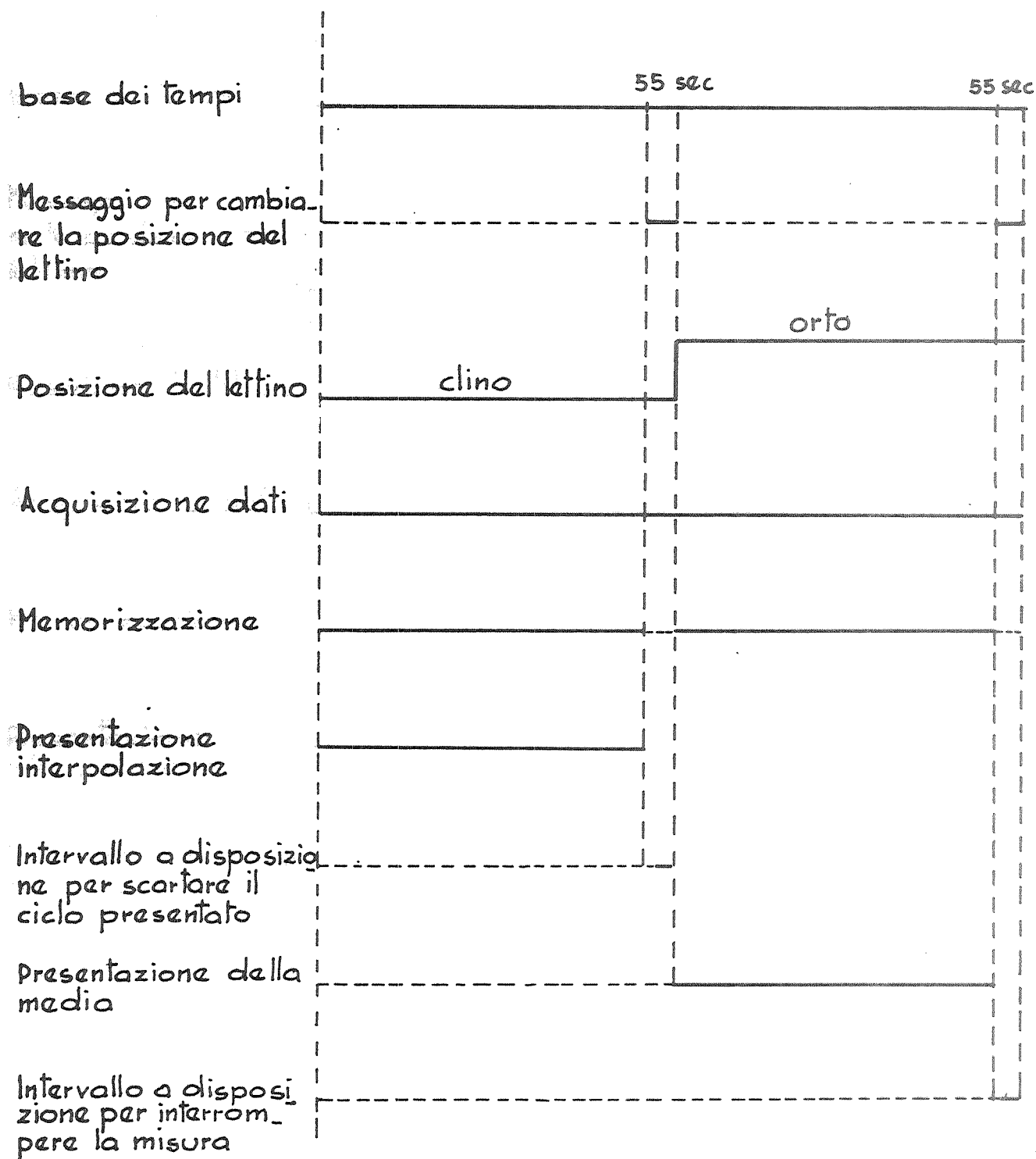


- FIG.2- Procedimento adoperato per effettuare l'interpolazione

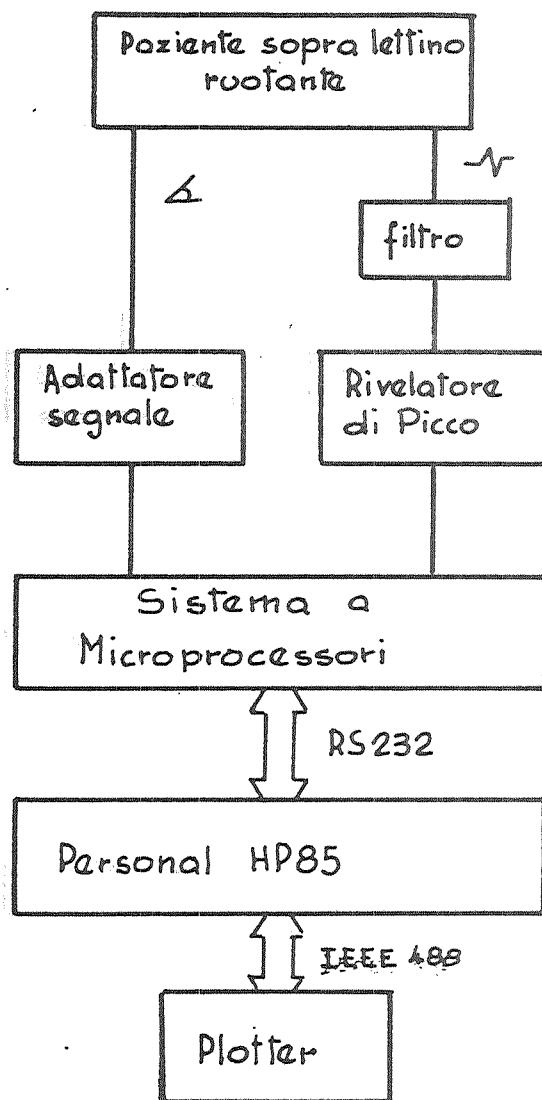




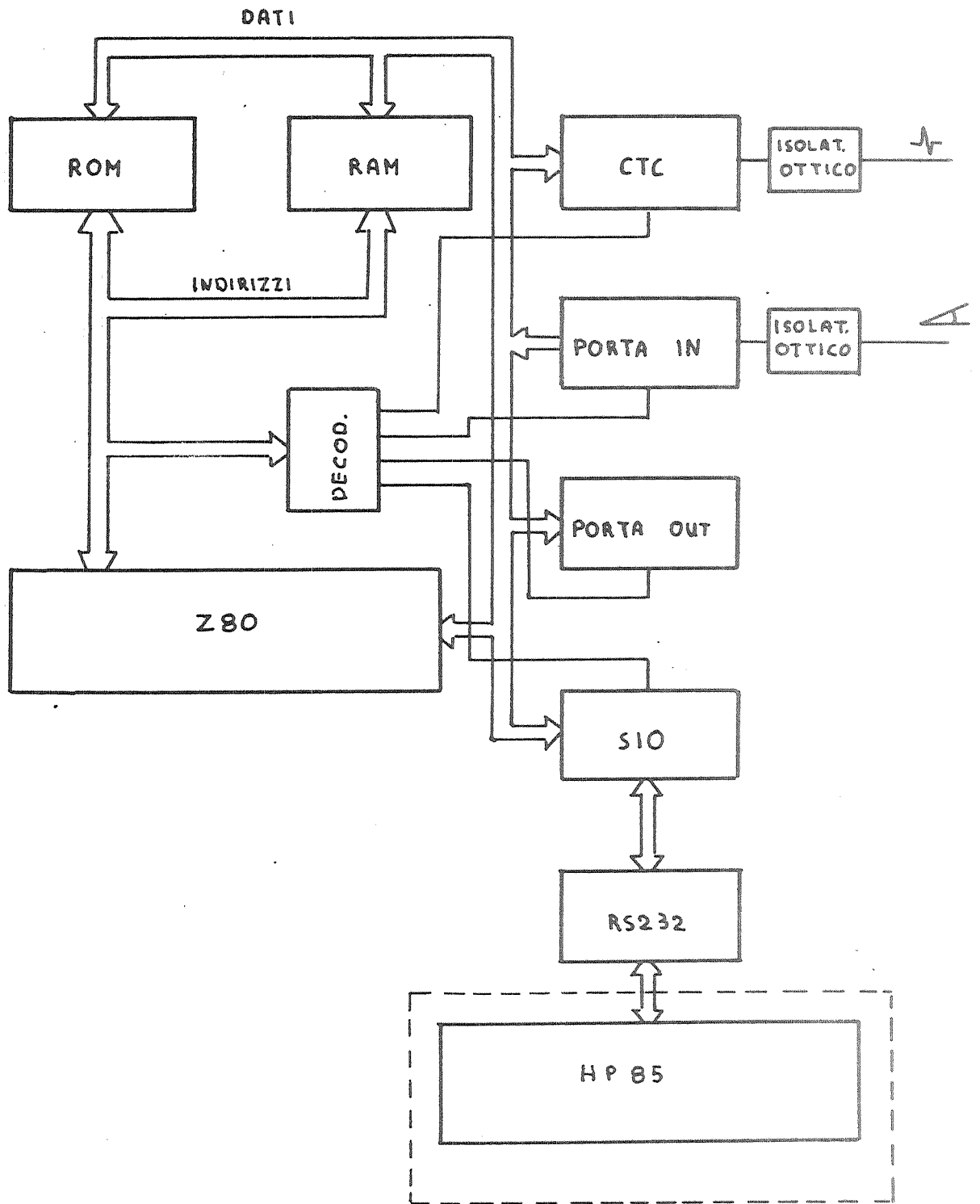
- FIG.3- Andamento del Ritmo Cardiaco Medio Orto-Clino



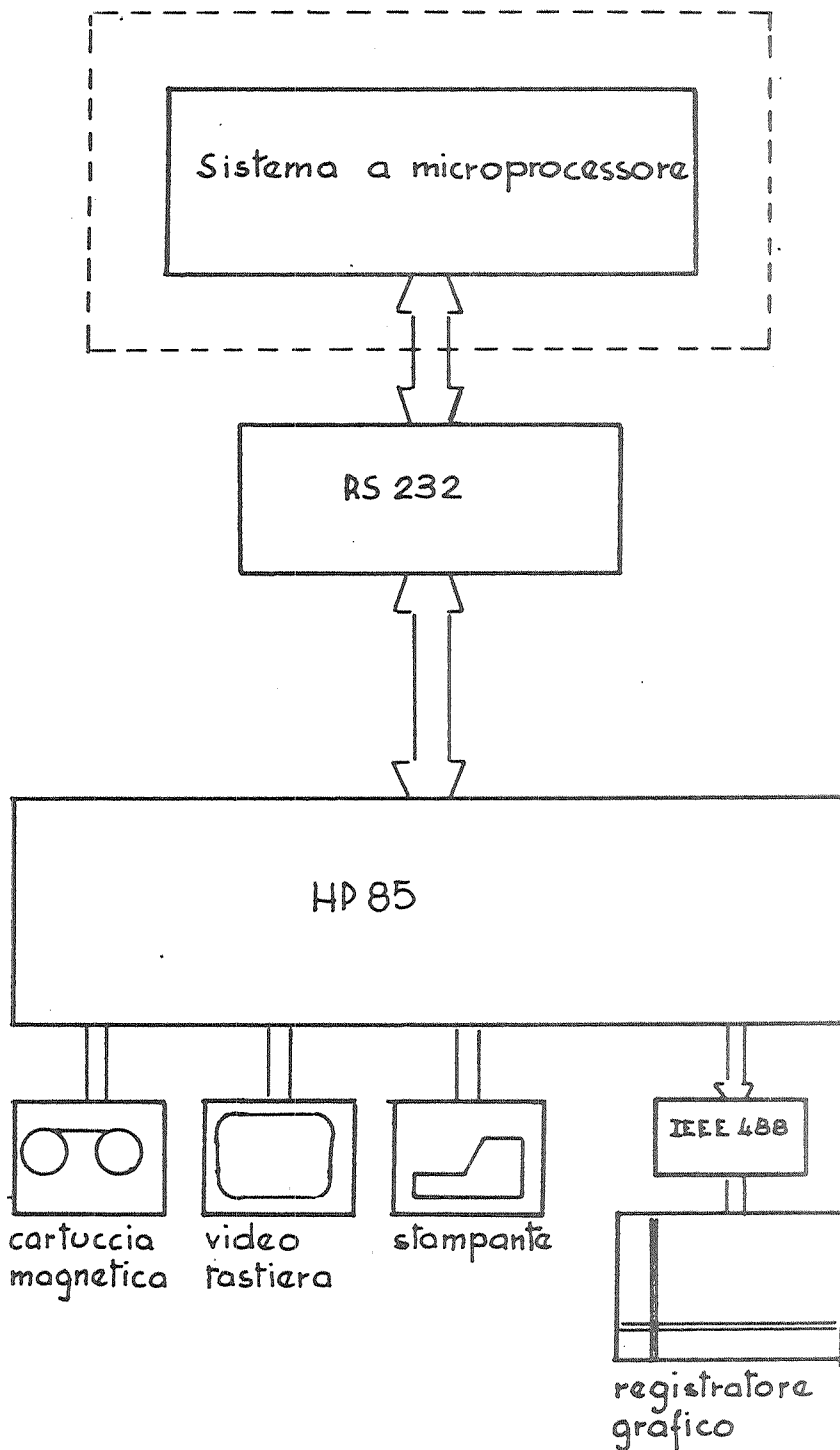
- FIG. 4 - Sincronizzazione delle attività
(valida dopo il secondo ciclo)



- FIG.5- Rappresentazione schematica del sistema



- FIG.6- Schema a blocchi del Sistema a Microprocessori



- FIG. 7 - Risorse del Personal computer HP85