

# Trattamento di segnali vocali mediante elaboratore numerico

G. FRANCINI, S. ROSSETTO, G. TRAINITO e G. VALLI

*Laboratorio per l'Elettronica Biomedica del C.N.R., Padova*

## 1. GENERALITÀ

Lo scopo della presente comunicazione è illustrare una fase della realizzazione di una uscita vocale per elaboratore numerico specialmente studiata in vista di applicazioni biomediche.

Nel seguito viene descritto l'insieme di apparecchiature e di programmi utilizzati per il lavoro preliminare di costruzione dell'insieme di Unità Fonetiche Normalizzate usate per la sintesi in tempo reale di messaggi verbali (ROSSETTO, TRAINITO & VALLI, 1971).

È messo a disposizione del ricercatore un terminale specializzato per l'acquisizione, visualizzazione, elaborazione ed ascolto di segnali vocali. Le modalità di svolgimento di tali operazioni vengono controllate tramite telescrivente in forma colloquiale; l'operatore può scegliere tra le varie opzioni offertegli di volta in volta dall'elaboratore, a seconda della funzione desiderata. Egli determina i parametri numerici di controllo o introducendoli da telescrivente o comunicandoli all'elaboratore tramite un *marker* luminoso che può spostarsi lungo il segnale analogico visualizzato su un *monitor* CRT.

Il sistema è nato come ausilio allo studio nel dominio del tempo dei segnali vocali, ma prevede anche la possibilità di adattarsi alla elaborazione della voce secondo le varie tecniche di trasformazione (trasformate di Fourier, Walsh, ecc.). Esso costituisce specialmente un valido ausilio all'analisi e alla sintesi del parlato; in particolare, consente un'agevole e veloce individuazione e acquisizione degli elementi necessari per la sintesi automatica di un qualsiasi messaggio parlato.

Precedenti lavori (FRANCINI, DEBIASI & SPINABELLI, 1968) richiesero un laborioso e paziente procedimento di manipolazione di nastri magnetici; tale procedimento venne poi agevolato dall'uso di un'apposita apparecchiatura (FRANCINI & SIGALOTTI, 1969) che, collegata ad un registratore magnetico, facilitava l'individuazione dei segmenti significativi del nastro. Col sistema in oggetto i segnali vocali vengono invece direttamente immagazzinati in forma numerica su disco magnetico dal calcolatore e sono quindi disponibili per ogni elaborazione automatica.

## 2. APPARECCHIATURE UTILIZZATE

## A) Sistema IBM 1800 con

- C.P.U. 1801/2 con 16 K voci di memoria;
- 1 registro per l'ingresso di dati numerici (D. I.);
- 2 registri per l'uscita di dati numerici (D. O.);
- Telescrivente d'ingresso-uscita mod. 1816;
- Lettore-perforatore di schede mod. 1442;
- Unità 1810/B a 2 dischi magnetici.

B) Convertitore analogico-numerico LABEN mod. FC 4096 (a 12 bit) opportunamente modificato per il collegamento all'elaboratore.

C) Convertitore numerico-analogico LABEN.

D) Temporizzatore LABEN mod. 5216 per sincronizzare la conversione nei due sensi.

E) Discriminatore di livello (T) e porta (G) per l'acquisizione autocomandata.

F) Microfono, altoparlante, amplificatori e filtri per banda telefonica.

G) Oscilloscopio HP mod. 9300 con schermo di  $8 \times 10''$ . Le operazioni di acquisizione ed emissione di segnali analogici avvengono secondo le configurazioni riportate in Fig. 1.

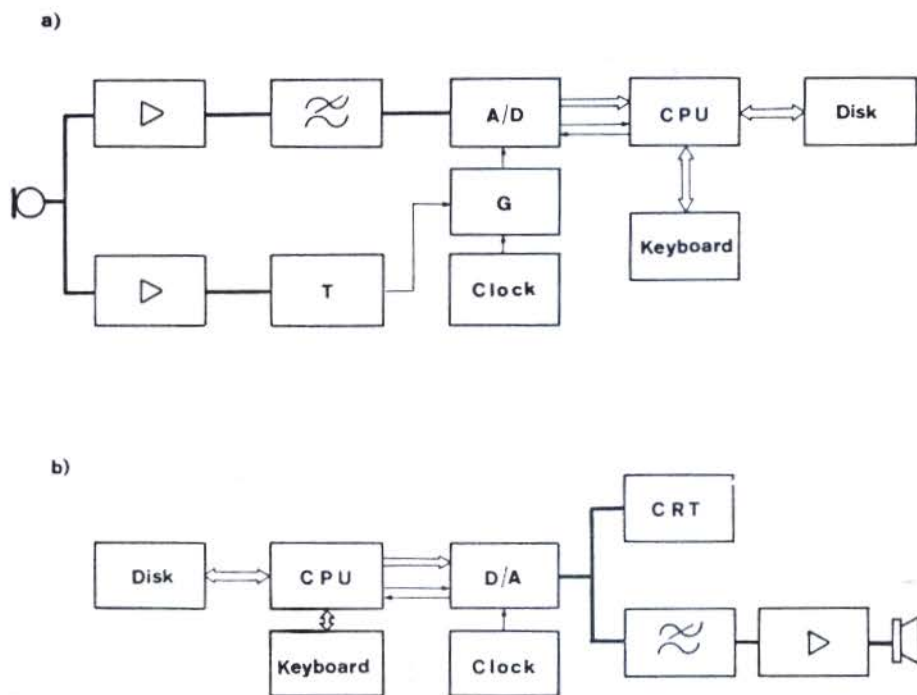


Fig. 1. — Disposizione delle apparecchiature per l'acquisizione (a) e l'emissione (b) dei segnali. (T = circuito discriminatore di livello, G = porta).

### 3. DESCRIZIONE DEL SISTEMA

I vari programmi che provvedono alle funzioni di ingresso, uscita od elaborazione dei segnali sono coordinati da un programma « cornice ».

Tutti i programmi sono di tipo colloquiale; lo scambio di informazioni tra operatore ed elaboratore avviene prevalentemente tramite la telescrivente. Un'apposita *routine* consente l'introduzione dei dati da tastiera in formato libero.

Il programma cornice offre all'operatore la scelta tra le varie funzioni previste, chiama il programma di volta in volta richiesto e, quando la funzione desiderata è completata, riassume il controllo per interpellare nuovamente l'operatore. Questa organizzazione conferisce flessibilità al sistema, rendendolo aperto a modifiche od aggiunte.

I principali servizi messi a disposizione del ricercatore sono:

- A) Acquisizione continua e memorizzazione su disco di segnali.
- B) Visualizzazione su *monitor* CRT del segnale memorizzato.
- C) Selezione di un segmento del segnale visualizzato.
- D) Elaborazione ed allocazione su disco del segmento selezionato.
- E) Ascolto di una parte qualsiasi del segnale memorizzato.

A) L'acquisizione dei segnali vocali comporta il campionamento e la conversione analogico numerica al ritmo imposto dal *clock*, la trasmissione dei dati così ottenuti alla memoria centrale dell'elaboratore attraverso il D. I. e infine la memorizzazione su disco.

L'acquisizione è continua, nel senso che la sua durata è limitata solo dalla capacità della memoria a disco, la quale è organizzata in 200 cilindri di 8 settori di 320 voci ciascuno. Quindi, campionando alla frequenza di 8 kHz, è possibile acquisire segnali della durata di oltre un minuto primo. Questo è ottenuto utilizzando due tabelle di 1280 voci ciascuna, concatenate ciclicamente fra loro, che vengono via via riempite dal D.I. alla frequenza imposta dal *clock* esterno. Quando la prima tabella è riempita, si ha un *interrupt* che viene utilizzato per provocare il riversamento della tabella stessa su disco, mentre comincia il riempimento della seconda tabella.

Quando anche quest'ultima è riempita si ha un altro *interrupt*, che in maniera analoga al precedente, provoca lo scaricamento su disco della seconda tabella, mentre si ricomincia a riempire la prima, e così via fino a completare l'acquisizione.

Sia il riempimento sia lo scaricamento delle tabelle avvengono con un procedimento di *cycle-stealing*, che consente alle operazioni di procedere contemporaneamente senza interferire una con l'altra; le dimensioni delle tabelle sono scelte in modo tale da consentire la continuità dell'acquisizione

alla frequenza di lavoro prescelta. Infatti il tempo di riempimento di una tabella, campionando a 8 kHz, è di circa 160 ms, mentre il tempo di scaricamento della stessa su disco è, nel caso più sfavorevole, dovendosi riempire quattro settori, di 120 ms.

È necessario rilevare che tale velocità di trasmissione di dati tra memoria centrale e disco è ottenuta ricorrendo ad una apposita *routine* (QUICK). Mediante essa è possibile gestire direttamente gli *interrupt* del disco, in modo da ottenere la lettura o scrittura di dati alla massima velocità consentita dall'*hardware*.

È anche possibile far sì che sia il segnale vocale stesso a comandare l'acquisizione che avviene solo quando esso supera un certo prefissato livello. Questo è ottenuto mediante un circuito discriminatore di livello che controlla una porta in modo da consentire o meno il passaggio degli impulsi del *clock* di campionamento.

B) La presentazione su *monitor* CRT di un tratto prescelto del segnale memorizzato su disco in forma numerica, è assicurata anzitutto da una speciale *routine* che trasmette al D.O. il corrispondente blocco di dati, dopo che essi sono stati richiamati da disco.

I dati vengono poi convertiti in forma analogica e il tratto di segnale campionato che così si ottiene è fatto comparire ripetitivamente sullo schermo del *monitor* al ritmo necessario per una visione priva di sfarfallio (almeno 40 quadri al secondo).

La *routine* sopra ricordata opera secondo una tecnica di tipo «*cycle-stealing*», che consente la visualizzazione del segnale contemporaneamente allo svolgimento di altre operazioni da parte del programma. L'immagine rimane presente sullo schermo finché l'operatore non ne comanda la modifica o la cancellazione.

Si è scelta per i tratti di segnale visualizzati, la lunghezza *standard* di 640 campioni, corrispondenti ad una durata di circa 80 ms. Una «*finestra*» di questa dimensione, soprattutto se visualizzata sull'ampio schermo della HP 9300, consente di esaminare particolari del segnale delle dimensioni di un campione e, nello stesso tempo, un tratto di segnale corrispondente ad episodi molto significativi, come lo svolgersi di una consonante di media lunghezza oppure un buon numero di periodi di una vocale.

Il programma accetta da telescrivente sia l'indicazione della coppia di settori da visualizzare, sia il comando di spazzolamento automatico del disco a partire da un certo settore, a salti di un settore.

C) È possibile indicare un punto qualsiasi del segnale che appare sullo schermo del *monitor*, tramite un *marker* luminoso i cui spostamenti lungo l'asse delle ascisse sono comandati dall'operatore da telescrivente

(DECANI, ROSSETTO & VALLI, 1971). Il *marker* viene ottenuto spostando verso la base dello schermo il trattino luminoso corrispondente al campione che interessa. In tal modo, chiamando due volte la apposita subroutine VMARK, è possibile indicare gli estremi del segmento di segnale da elaborare.

D) Le possibilità di elaborazione offerte dal sistema sono essenzialmente la « modifica del livello » e la « somma ».

La modifica del livello consiste nell'operazione di moltiplicazione del tratto di segnale, di estremi  $t_1$  e  $t_2$  (Fig. 2a), per la funzione a rampa rappresentata in Fig. 2b e definita dalla relazione:

$$R(t) \begin{cases} = \frac{(\text{Cost}_1 - \text{Cost}_2) \cdot (t_2 - t)}{t_2 - t_1} + \text{Cost}_2 & \text{per } t_1 \leq t \leq t_2 \\ = 1 & \text{per } t > t_2, t < t_1 \end{cases}$$

Le « altezze » della rampa  $\text{Cost}_1$  e  $\text{Cost}_2$  vengono introdotte dall'operatore.

Scegliendo opportunamente i parametri della rampa si può attenuare o amplificare un tratto di segnale (in particolare azzerarlo) e, in generale, sagomare l'involuppo del segnale a secondo delle esigenze.

L'operazione « somma » esegue la somma di due o più tratti di segnale prelezionati dall'operatore. A tale scopo viene predisposta un'area in memoria centrale nella quale vengono collocati, in posizione da scegliersi dal-

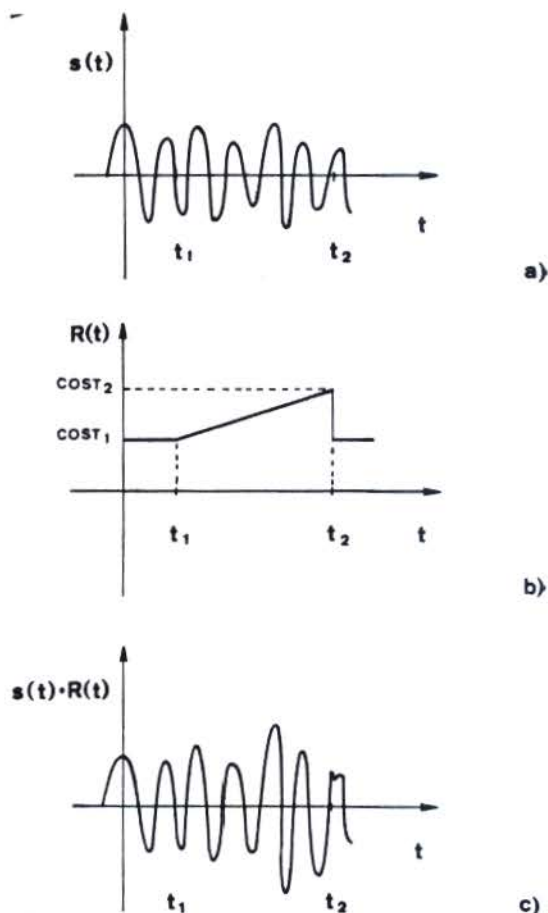


Fig. 2. — a) Segnale da elaborare; b) Funzione a rampa con  $\text{Cost}_1 = 1$  e  $\text{Cost}_2 = 2$ ; c) Segnale elaborato.

L'operatore, i successivi tratti di segnale e di volta in volta sommati col contenuto precedente dell'area stessa. Ciò consente in particolare, di traslare nel tempo porzioni di segnale, rispetto alla posizione originaria e, inoltre, di eseguire composizioni e mescolanze di più suoni.

Al termine delle elaborazioni si può trasferire il tratto considerato nella zona desiderata del disco.

E) L'ascolto di una porzione qualsiasi del segnale memorizzato è reso possibile mediante una tecnica di programmazione simile a quella adottata per l'acquisizione.

Tre tabelle di 320 voci ciascuna, concatenate ciclicamente fra di loro, si svuotano continuamente su un D.O., lavorando in *cycle stealing mode* alla frequenza imposta dal *clock* esterno. Mediante la *routine* di lettura veloce da disco, vengono riempite alternativamente due matrici di 960 voci ciascuna. Il contenuto delle matrici viene successivamente trasferito a blocchi di 320 voci per volta, a riempire ciascuna tabella appena essa si svuota. Il convertitore D/A, collegato al D.O., consente la ricostruzione del segnale vocale che può quindi essere ascoltato tramite un altoparlante. Lo svuotamento di ciascuna tabella richiede (alla frequenza di 8 kHz) 40ms, mentre il suo riempimento, che avviene quando l'*interrupt* di fine tabella segnala che essa è vuota, avviene in circa 7 ms. Inoltre ciascuna matrice viene riempita, nel caso più sfavorevole, in 110 ms, mentre viene svuotata ogni 120 ms. È quindi possibile l'ascolto con continuità di una porzione di disco di qualsivoglia dimensioni.

#### 4. APPLICAZIONI

La preparazione delle Unità Fonetiche Normalizzate può svolgersi come segue, utilizzando il sistema descritto:

a) Si acquisisce da microfono una frase opportuna, contenente i segmenti da isolare. Tale acquisizione può, a richiesta, essere comandata dalla voce stessa tramite il discriminatore di livello e la porta precedentemente descritti.

b) Con l'uso combinato del comando di ascolto e della visualizzazione su monitor CRT, si individuano i tratti da isolare e se ne comunicano gli estremi all'elaboratore, tramite il *marker* luminoso o la telescrivente.

c) Spesso i segmenti individuati presentano imperfezioni in rapporto a certe esigenze di uniformità e di chiarezza richieste per le unità fonetiche. Occorre infatti che esse abbiano livello uniforme, assenza di *click*, attacchi di forma opportuna, tratti di silenzio di lunghezza standard. La riduzione delle imperfezioni e la «sagomatura» del segnale si possono ottenere facilmente utilizzando la funzione «Modificazione livello».

d) Eseguite le operazioni richieste, le unità fonetiche possono essere trasferite nelle posizioni opportune del disco.

Un altro tipo di applicazione nel campo delle ricerche fonetiche può essere lo studio della composizione di più suoni. È possibile, tramite la funzione «Somma», sommare tratti di segnale fra loro e studiare l'effetto percettivo delle varie combinazioni, (es.: sonorizzazione di una consonante sorda, trasformazione di un suono in un altro variandone la durata, ecc.).

Si possono poi eseguire prove di sintesi del parlato simulando il sintetizzatore automatico. A tale scopo, una volta composta una lista delle unità fonetiche da collaudare, queste ultime possono essere trasferite su un'area del disco, in sequenza tale da formare le frasi richieste che possono essere ascoltate all'altoparlante tramite il programma di ascolto.

Si ringrazia il Sig. G. Maran, Advisory System Engineer della IBM Italia, per la stesura della routine Quick.

**Riassunto.** — Si descrive un sistema per l'acquisizione e il trattamento mediante elaboratore numerico di segnali analogici compresi nella banda  $0 \div 5$  kHz.

Scopo principale del lavoro è la risoluzione di alcuni problemi relativi alla sintesi elettronica della voce umana.

Il sistema consente le seguenti operazioni sui segnali:

- a) acquisizione con continuità e immagazzinamento su memoria periferica;
- b) rappresentazione su schermo oscilloscopico o riproduzione acustica;
- c) elaborazioni di vario tipo.

**Summary** (*Speech signal processing system*). — A system for the acquisition and processing of analog signals by computer is described. The system was introduced as an aid to the implementation of a computer vocal output, for communication between an IBM 1800 computer and hospitals. However, it must be considered as a general purpose system for signal processing. The signal acquisition technique is shown in Fig. 1a: the signal is amplified, filtered, A/D converted and sent continuously to disk memory, through the Central Processing Unit. Special programming allows filling an entire magnetic disk with signal data, in real time. In addition, the acquisition can be started by the signal itself, through a Trigger-Gate chain, which enables the sampling clock of the converter. As shown in Fig. 1b, the stored signal can be sent continuously to an external display (Cathode Ray Tube or loud-speaker).

The processing facilities supplied by the system are:

- a) Display on CRT of any preselected « window » of the stored signal.
- b) Selection by a simulated light-pen, of a segment of the displayed signal.
- c) Shaping of the selected segment through multiplication by a proper « ramp » function, as shown in Fig. 2.
- d) Summation of two or more signal segments.

#### BIBLIOGRAFIA

- FRANCINI, G. L., G. B. DEBIASI & R. SPINABELLI, 1968. Study of a System of Minimal Speech-Reproducing Units for Italian Speech. *J.A.S.A.* **43**, n. 6, 1282-1286.
- FRANCINI, G. L. & G. B. SIGALOTTI, 1969. Un'apparecchiatura elettronica per la ricerca di unità fonetiche. *Ric. Sci.*, n. 2, 188-193.
- DEGANI, R., S. ROSSETTO & G. VALLI, 1971. Terminale video dotato di dispositivo a macchia luminosa per elaborazioni di segnali biologici. *Rapporto 003 del LEBM, CNR, Padova.*
- ROSSETTO, S., G. TRAINITO & G. VALLI, 1971. Uscita audio per elaboratore: generazione in tempo reale di messaggi verbali. *Rapporto 007 del LEBM, CNR, Padova.*



## Gestione automatica di una unità di cura intensiva coronarica a scopo di ricerca

A. FERNANDEZ PEREZ de TALENS, P. MANCINI e C. MARCHESI

*Laboratorio di Fisiologia Clinica del C.N.R., Pisa*

Il sistema realizzato presso il Laboratorio di Fisiologia Clinica (MANCINI & MARCHESI, 1970) è stato concepito inizialmente come una strumentazione adatta ad aiutare il medico nella attività di ricerca sulle aritmie cardiache (FERNANDEZ PEREZ de TALENS, MANCINI & MARCHESI, 1970).

Per questa ragione, scopo primordiale del sistema è il tempestivo riconoscimento degli eventi morbosi che mettono in pericolo la sopravvivenza dei pazienti ricoverati per il conseguente intervento terapeutico. A tale scopo è necessaria la raccolta di elaborazioni e *display* dei parametri monitorati, il calcolo di indici significativi, ecc. (MARCHESI *et al.*, 1971).

Realizzato un tale programma si è visto che per ricerche su cardiopatie coronariche esso era largamente insufficiente.

È necessario disporre di un sistema che permetta di valutare gli effetti terapeutici dei farmaci adoperati (ARZBAECHER & DEAN, 1971) e che a tale scopo sia in grado di acquisire parametri elettrocardiografici ed emodinamici a richiesta del medico e non solo nei momenti di ritmo anomalo.

È necessario disporre di programmi di elaborazione che non sono realizzabili, con gli elaboratori disponibili, in tempo reale durante l'acquisizione, ma la cui risposta è necessaria in tempo quasi reale e cioè nell'ordine di secondi od al massimo dei minuti dopo l'acquisizione dei dati (da cui la necessità di un *play back*).

Inoltre tali programmi devono essere strutturati in modo da poterli richiamare o meno a seconda dei risultati delle elaborazioni precedenti.

Tutto il sistema deve dunque essere modulare, gerarchizzato e conversazionale. A tale scopo si è impostata una struttura di programmi residenti su disco magnetico facilmente richiamabili.

Vediamo la struttura attuale del sistema. Il sistema sfrutta parte della rete di calcolo del LFC (Fig.1), cioè alcuni dei canali sia digitali che analogici della rete di calcolo vengono utilizzati per la gestione della Unità di Cura Intensiva Coronarica.

In realtà (Fig. 2) il calcolatore gestisce due diverse centraline di monitoraggio:

- una centralina di VIGIL della Thompson Telco (Fig. 3);
- una centralina HP 780A della Hewlett-Packard (Fig. 4).

Per collegare al calcolatore le due ICCU è stato necessario realizzare una interfaccia elettronica (Fig. 5) che:

- a) adatti le varie caratteristiche elettriche e le diverse codifiche dei segnali tra i vari blocchi;
- b) generi i segnali di richiesta di interruzione al calcolatore quando dovuto;

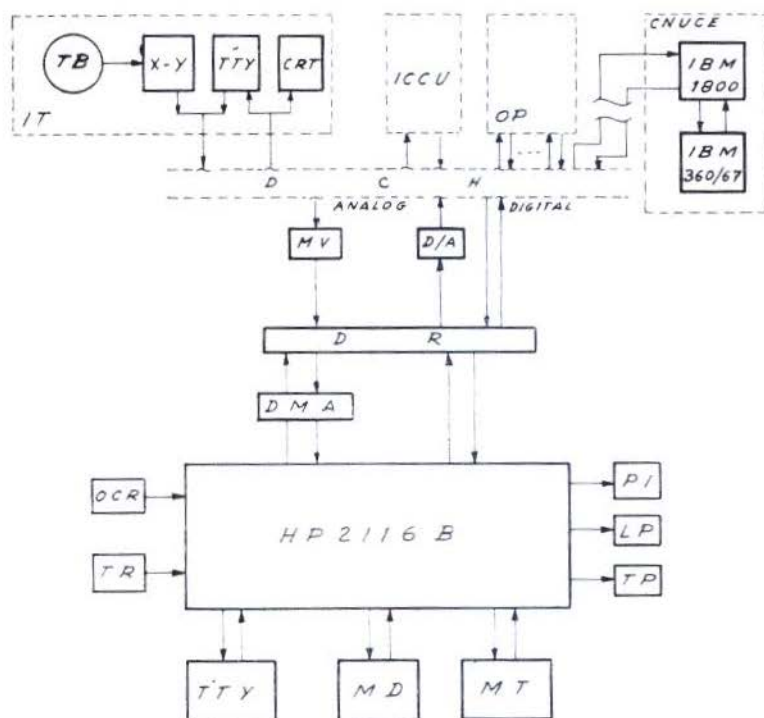


Fig. 1. — Rete di calcolo del Laboratorio di Fisiologia Clinica del C.N.R. a Pisa. Simboli usati:

CRT = Tubo a raggi catodici; CNUCE = Centro Nazionale Universitario di Calcolo Elettronico; DCII = Canali dei dati, analogici e digitali; DMA = Accesso diretto alla memoria; DR = Duplex register, registro di I/O al calcolatore; D/A = Convertitore digitale analogico; HP2116B = Calcolatore; IT = Terminale interattivo; IBM1800 = Calcolatore del CNUCE; IBM360/67 = Calcolatore del CNUCE; ICCU = Unità di Cura Intensiva Coronarica; LP = Line printer; MD = Unità a disco magnetico; MT = Unità a nastro magnetico; MV = Multiviter; OP = Altri laboratori periferici; OCR = Optical character reader; PI = Plotter incrementale; TB = Track-ball; TP = Perforatore di nastro di carta; TR = Lettore di nastro di carta; TTY = Teletype; X-Y = Coordinatografo.

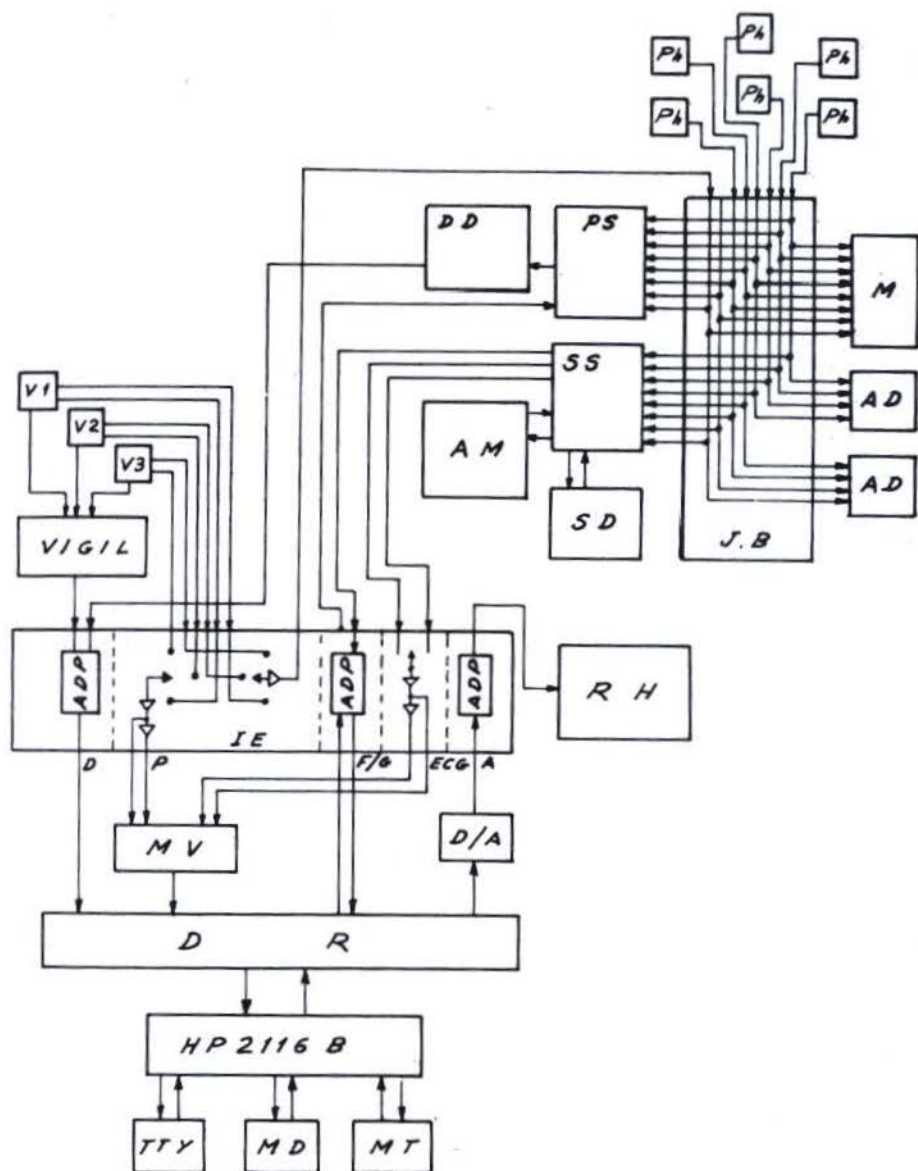


Fig. 2. — Sistema di gestione delle Unità di Cura Intensiva. Simboli adoperati:  
 A = Canale analogico; ADP = Adattatore; AD1 = Analog display HP7824A dei pazienti PH1, PH2, PH3, PH4; AD2 = Analog display HP7824A dei pazienti PH5, PH6, (V1, V2, V3); AM = Arrhythmia Monitor HP7822A; D = Canale digitale; DD = Digital display HP5601A; DR = Duplex Register, Registro di I/O del calcolatore; D/A = Convertitore digitale analogico; ECG = Derivazioni elettrocardiografiche; F/E = Controlli Flag ed Encode; HP2116B = Calcolatore; IE = Elettronica di interfaccia; JB = Junction Box HP8823A; M = Monitor HP-Vigil; MD = Unità a disco magnetico; MT = Unità a nastro magnetico; MV = Multiverter; P = Derivazioni delle pressioni endocavitari; PH1, ..., PH6 = Pazienti dell'Unità HP; PS = Patient Selector HP780:11; RH = Registratore Honeywell; SD = Signal Delay, Nastro magnetico analogico a loop per ritardo di tre secondi HP780:5E; SS = Signal Selector HP 14039A; TTY = Teletype; V1, V2, V3 = Pazienti della Unità Vigil; Vigil = Centralina Thompson-Telco.

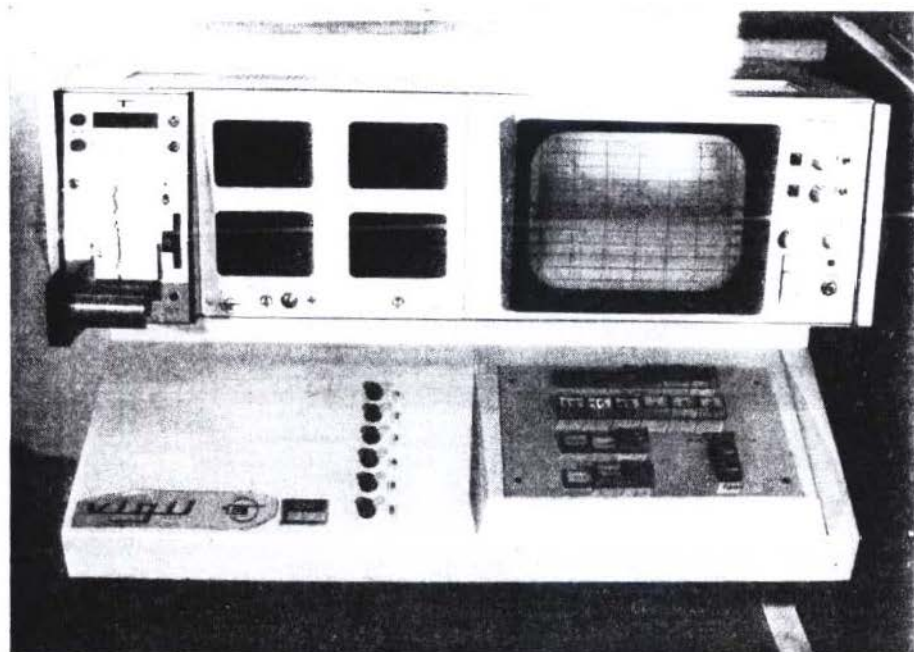


Fig. 3. — Centralina della Unità di Cura Intensiva della Thomson-Telco a tre pazienti.

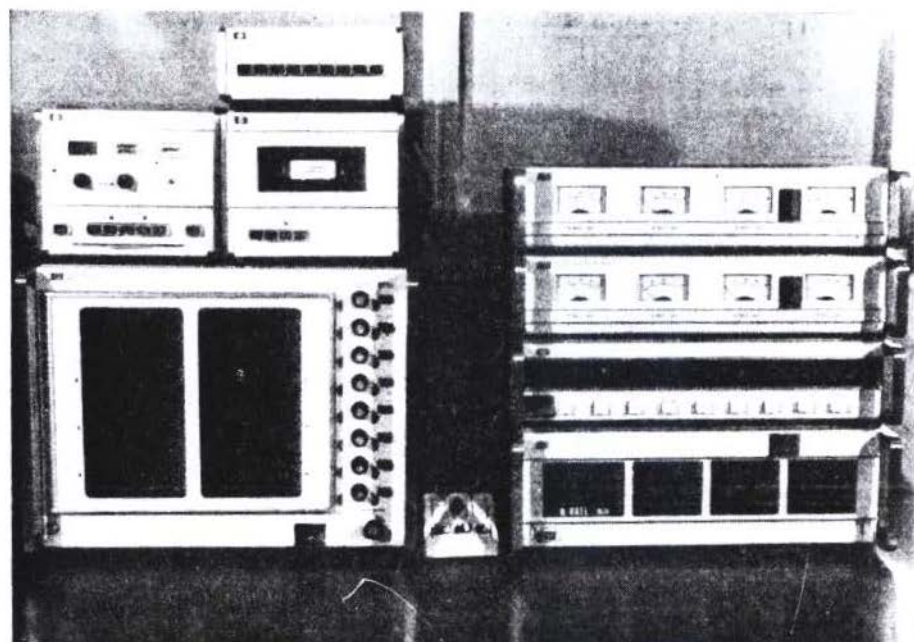


Fig. 4. — Centralina della Unità di Cura Intensiva della Hewlett-Packard a sei pazienti.

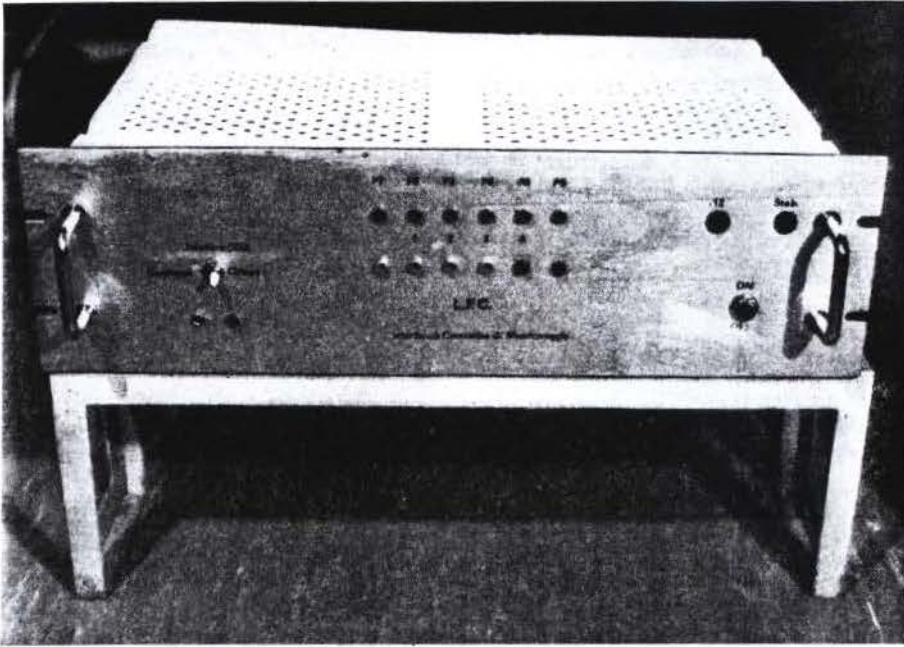


Fig. 5. — Elettronica di Interfaccia tra le Centraline delle Unità di Cura Intensiva T-T e HP, il Registratore della Honeywell di tipo multipoint su strip-chart ed il Calcolatore HP2116B.

c) controlli un Registratore *multipoint* su *strip-chart* su cui sono immagazzinabili i risultati.

Come si è accennato prima, dati i molti programmi necessari su base conversazionale, data la dimensione della memoria dell'elaboratore nonchè la necessità di una zona di lavoro sufficientemente ampia per l'immagazzinamento temporaneo dei dati appena acquisiti, non è pensabile mantenere residente in memoria l'insieme di tutti i programmi di gestione e di elaborazione necessari al sistema.

D'altronde bisogna tener presente la necessità di poter passare da un programma ad un altro (dalla acquisizione di dati alla loro elaborazione, o da certe elaborazioni al monitoraggio di parametri diversi da quelli che sono stati sorgente di dati) in tempo sufficientemente breve e in modo che non comporti per il personale infermieristico un carico di lavoro non di loro competenza (sostituzione nastri magnetici, connessione di moduli, ecc.).

Perciò si è pensato ad una struttura generale del *software* (Fig. 6) composta da un programma principale sempre residente in memoria del calcolatore e da tanti programmi modulari residenti su disco magnetico e richia-

mabili automaticamente dal programma principale quando, su base conversazionale, il medico abbia introdotto certi valori per certe scelte.

Come si vede dalla figura ci sono quattro tipi di programmi :

1) ARITM, programma di acquisizione di dati ECG da pazienti, quando esso ha dei cicli anomali :

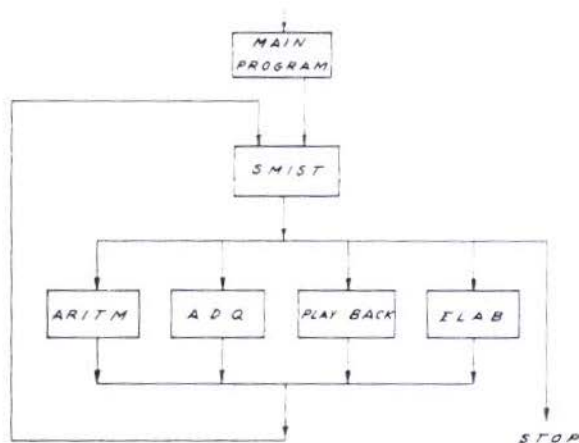


Fig. 6. — Struttura generale del software del sistema.

MAIN PROG Programma principale

SMIST Programma di smistamento tra i programmi residenti sul disco magnetico

ARITM Programma di acquisizione di dati ECG da pazienti durante i soli cicli anomali

ADQ Programma di acquisizione dei dati da paziente secondo una temporizzazione decisa dal medico

ELAB Programmi di elaborazione fuori linea di indici derivati su dati già acquisiti

PLYBK Programma di lettura e display di dati già acquisiti o di indici già elaborati

2) ADQ, programmi di acquisizione con eventuale elaborazione di dati analogici e o digitali da paziente secondo una temporizzazione decisa dal medico;

3) ELAB., programmi per il calcolo di indici derivati, per l'ottenimento di linee di grandezza, statistiche, ecc.;

4) PLAY BACK, un programma di lettura e *display* di quelle parti di tracciati già acquisiti che si ritengono interessanti per il loro confronto e correlazione.

**Riassunto.** — Viene descritta la struttura di un sistema per la gestione di una Unità di Cura Intensiva della Thompson-Telco ed una della Hewlett-Packard da parte di un calcolatore di controllo di processo HP2116B.

Seguono cenni sulla organizzazione interattiva conversazionale dei programmi.

**Summary** (*Automated gestion of two Intensive Care Units*). — The system builded at the Clinical Physiology Laboratory of the Italian National Research Council in Pisa has been intended at first glance as an useful instrument for the medical personnel in their research work on cardiac arrhythmias. More complex functions needed to the automated gestion of two Intensive Care Units has required the effort to prepare a specific hardware and a specific software, the structures of which are described.

#### BIBLIOGRAFIA

- ARZBAECHER, R. C. & R. DEAN, 1971. A computer system for on-line drug-screening. *Comp. Biomed. Res.* **4**, 239.
- FERNANDEZ PEREZ de TALENS, A., P. MANCINI & C. MARCHESI, 1970. Un sistema per la acquisizione e la riduzione automatica di segnali ECG anomali. ACM Italian Chapter on «Tracciati bioelettrici», Roma.
- MANCINI, P. & C. MARCHESI, 1970. Interfaccia Centraline di Monitoraggio. Nota Interna Laboratorio di Fisiologia Clinica, Pisa.
- MARCHESI, C., A. FERNANDEZ PEREZ de TALENS, P. MANCINI & A. MASERI, 1971. Gestione automatica di una Unità di Cura Intensiva Coronarica a scopo di ricerca. ANIPLA, Giornate di lavoro sulla «Automazione nella Assistenza Sanitaria», Milano.

## L'elaboratore elettronico nella gestione di un servizio di radiodiagnostica

A. CHIESA e G. F. PISTOLESI

*Istituto di Radiologia dell'Università di Padova presso il Centro Ospedaliero Clinicizzato di Borgo Roma, Verona.*

Nell'ospedale moderno l'aspetto organizzativo assume sempre più un ruolo determinante anche nei confronti delle cure mediche. Queste trovano un ausilio indispensabile nel corretto e rapido scambio delle informazioni tra i singoli servizi ed i reparti. È logico che la radiologia, che costituisce una delle fonti principali di informazione nell'ambito dell'ospedale, debba essere in grado di ricevere e di trasmettere le informazioni secondo un principio di rapidità, di uniformità e di completezza quale difficilmente è dato di ottenere con i sistemi in uso.

Disponendo di un elaboratore nell'ospedale, sorge immediatamente il problema della sua utilizzazione per scopi medici. Gli indirizzi di scelta sono ovviamente legati all'*hardware* a disposizione; tuttavia le applicazioni devono essere programmate con una visione nel tempo assai lontana, indipendenti, entro certi limiti, dal sistema già operativo, o per lo meno adattabili anche a sistemi più avanzati. È buona norma, d'altro canto, che le realizzazioni siano attuate per gradi; l'enorme massa di informazioni che entra in giuoco ogni qualvolta ci si accinge alla automatizzazione di un settore medico è già di per sé un ostacolo che obbliga a procedere per gradi.

La radiologia è certamente, come si è detto, uno dei settori di gestione ospedaliera in cui l'elaboratore può essere facilmente inserito. I settori della radioterapia e della medicina nucleare si prestano con relativa facilità alle applicazioni del calcolo elettronico per la quantità relativamente scarsa di dati da trattare e per la prevalente necessità di eseguire elaborazioni di tipo matematico. Più complessi si presentano le realizzazioni nel campo della radiodiagnostica. L'elaboratore in radiologia diagnostica trova applicazione in tre momenti cronologicamente ben distinti: rispettivamente nella fase preparatoria, nella fase di svolgimento e nella fase successiva all'espletamento dell'indagine radiodiagnostica.



Analizziamo ora i vari momenti.

1) Prima dell'espletamento dell'indagine, l'elaboratore può essere utilizzato nella programmazione del lavoro e nella prenotazione dei pazienti.

2) Durante l'espletamento dell'indagine, l'elaboratore può intervenire nella programmazione di un seriografo o di un iniettore; nella stesura e nella trasmissione dei referti; come aiuto alla diagnosi; infine nell'analisi automatica di un radiogramma.

3) Dopo l'espletamento dell'indagine, l'elaboratore può intervenire nella gestione dell'archivio e nel *retrieval*.

Risulta da questo come tutto il complesso lavoro radiodiagnostico possa essere gestito dall'elaboratore. Va subito detto che è ben lontana la pratica realizzazione delle tappe illustrate poc'anzi, la maggior parte delle quali si trova a livello sperimentale. Disponendo di un elaboratore, riteniamo che sia saggio, allo stato attuale, impostare l'utilizzazione tenendo presenti i problemi della gestione ospedaliera, che sono problemi di economicità. Le applicazioni di avanguardia o di ricerca (e quindi economicamente passive) dovrebbero essere assegnate a gruppi di lavoro su base nazionale o internazionale.

Questa premessa vale a giustificare la scelta, da noi fatta, di assegnare la priorità al punto 1) dello schema precedente. L'intervento dell'elaboratore prima dell'espletamento dell'indagine permette di agire in più direzioni:

1) ricerca automatica dell'esistenza o meno di una cartella già intestata al paziente in questione, qualora questi sia già stato esaminato presso l'Istituto di Radiologia o come paziente ricoverato o come paziente ambulatoriale;

2) distribuzione del lavoro nelle sale radiodiagnostiche in maniera più razionale, senza sovraccarico eccessivo o senza rallentamenti indesiderabili;

3) razionalizzazione delle informazioni ai reparti, unificando la terminologia e limitando l'uso dei telefoni alle comunicazioni più urgenti;

4) razionalizzazione del sistema di trasporto dei degenti dai reparti alla radiologia e viceversa.

Per l'attuazione di questi punti è stato messo in opera un Sistema Automatico per la Gestione delle Indagini Radiodiagnostiche che prevede, in futuro, l'inserimento di altri compiti di interesse più precipuamente medico, oltre quelli di tipo organizzativo della programmazione del lavoro e della prenotazione degli esami.

Cardine fondamentale dell'operatività del sistema è la scheda per la richiesta di indagini radiodiagnostiche (Fig. 1). Tale scheda viene acclusa alla cartella del paziente al momento del ricovero e viene perforata in corsia con il metodo *port-a-punch* in occasione della richiesta di una o più indagini radiodiagnostiche. Dalle corsie, in ore determinate, le schede pervengono

Fig. 1. — Scheda per la richiesta di indagini radiodiagnostiche. Le colonne da 1 a 20 costituiscono il sistema di identificazione del paziente e sono pre-perforate dal Servizio di Fisica. Le colonne 22-24 identificano la sezione (reparto) e vengono perforate in corsia, come le successive colonne al momento della richiesta di indagine. Nella colonna 26 viene perforato il tipo di trasporto che il paziente richiede. Dalla colonna 28 alla colonna 80 si trovano elencati 81 diversi tipi di indagini radiodiagnostiche che il medico può richiedere.

LATO DA INSERIRE

NUMERO RADIOLOGICO				COGNOME E NOME				NUMERO SEZIONE	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1	2	1	3	4	5	6	7	8	9
1	2	1	3	4	5	6	7	8	9
1	2	1	3	4	5	6	7	8	9
1	2	1	3	4	5	6	7	8	9

SEDE E TIPO DI TRASPORTO

<input type="checkbox"/> SEMOVENTE	<input type="checkbox"/> LETTO	
<input type="checkbox"/> CLAVICOLA	<input type="checkbox"/> AVAMPEDIE	<input type="checkbox"/> COLONNA DORSALE
<input type="checkbox"/> SPALLA	<input type="checkbox"/> EMICOSTATO	<input type="checkbox"/> COLONNA LOMBARE
<input type="checkbox"/> OMBRO	<input type="checkbox"/> STERNO	<input type="checkbox"/> SACRO-COCCIGE
<input type="checkbox"/> GOMITO	<input type="checkbox"/> CRANIO	<input type="checkbox"/> COLONNA VERTEBR.
<input type="checkbox"/> AVAMBRACCIO	<input type="checkbox"/> BASE CRANICA	<input type="checkbox"/> PANOR. PEDIATR.
<input type="checkbox"/> POLSO	<input type="checkbox"/> ROCHE E MASTOIDI	<input type="checkbox"/> ETA OSSEA
<input type="checkbox"/> MANO	<input type="checkbox"/> FOMI OTTICI	<input type="checkbox"/> OSSA LUNGHE
<input type="checkbox"/> BACINO	<input type="checkbox"/> SENI PARANASALI	<input type="checkbox"/> CALCIF. VASALI
<input type="checkbox"/> ANCA	<input type="checkbox"/> OSSA FACCIALI	<input type="checkbox"/> MAMMELLA
<input type="checkbox"/> FEMORE	<input type="checkbox"/> OSSA NASALI	<input type="checkbox"/> LARINGE
<input type="checkbox"/> SINOCCHIO	<input type="checkbox"/> MANDIBOLA	<input type="checkbox"/> TORACE
<input type="checkbox"/> GAMBA	<input type="checkbox"/> TEMPORO-MANDIBOL.	<input type="checkbox"/> CUORE-GROSSI VASI
<input type="checkbox"/> CAVIGLIA	<input type="checkbox"/> DENTI	<input type="checkbox"/> CHIMIOGRAFIA
<input type="checkbox"/> PIEDE	<input type="checkbox"/> COLONNA CERVICALE	<input type="checkbox"/> STRATIGRAFIA
<input type="checkbox"/> FARINGE-ESOF.	<input type="checkbox"/> BRONCOGRAFIA	<input type="checkbox"/> FLEB. ADDOM.
<input type="checkbox"/> ORECCH. I VIE	<input type="checkbox"/> FISTOLOGRAFIA	<input type="checkbox"/> SPLENOPORTOGRAFIA
<input type="checkbox"/> COLON	<input type="checkbox"/> ARTROGRAFIA	<input type="checkbox"/> AORTOGRAF. TRANS. LOMB.
<input type="checkbox"/> COLECHITOGRAF.	<input type="checkbox"/> ENCEFALOGRAFIA	<input type="checkbox"/> ARTERIOGR. ADDOM.
<input type="checkbox"/> COLANGIOGR.	<input type="checkbox"/> MIELOGRAFIA	<input type="checkbox"/> ARTERIOGR. ARTI
<input type="checkbox"/> COLANG. KENR.	<input type="checkbox"/> CAROTIDOGRAFIA	<input type="checkbox"/> ANGIOCARDIOGRAF.
<input type="checkbox"/> ADDOME	<input type="checkbox"/> VERTEBRALGRAFIA	<input type="checkbox"/> CORONARIOGRAFIA
<input type="checkbox"/> UROGRAFIA	<input type="checkbox"/> BRACHIALGRAFIA	<input type="checkbox"/> LINFOGRAFIA
<input type="checkbox"/> PNEIDR. ASC.	<input type="checkbox"/> FLEB. CAPO-COLLO	<input type="checkbox"/> ISTEROSALPINGOGR.
<input type="checkbox"/> CISTOGRAFIA	<input type="checkbox"/> FLEB. MEDIASTINICA	<input type="checkbox"/> PNEUMOGEC.
<input type="checkbox"/> URETROGRAFIA	<input type="checkbox"/> FLEBOGR. ARTI	<input type="checkbox"/> PNEUMOPERITONEO
<input type="checkbox"/> SCIALOGRAFIA	<input type="checkbox"/> ANGIOPNEUMOGR.	<input type="checkbox"/> PNEUMORETROPERIT.
<input type="checkbox"/> LARINGOGRAF.	<input type="checkbox"/> AORTOGRAF. TORAC.	<input type="checkbox"/> PNEUMOMEDIASTINO

STANDARD

CONTRASTI

ISTITUTI OSPITALIERI DI VERONA - SERVIZIO DI FISICA SANITARIA

al « Servizio di Fisica » che provvede alla loro elaborazione. Questa consiste in alcuni momenti fondamentali, cronologicamente così disposti:

1) Ricerca automatica del numero della cartella precedente (per pazienti già esaminati) o assegnazione di un nuovo numero per i pazienti al primo esame presso il nostro Ospedale. Poichè non esiste, attualmente, una numerazione unica nell'ambito dell'ospedale che rimanga immutata nel corso dei successivi ricoveri anche a distanza di anni, è stato necessario ricorrere ad un numero radiologico che indichi, invariato nel tempo, sempre lo stesso paziente. Per il richiamo di tale numero esiste un archivio su disco con i nomi e le date di nascita di tutti i pazienti già esaminati, affiancati dal rispettivo numero di cartella radiologica. La ricerca avviene partendo dalla data di nascita e dall'iniziale del cognome;

2) Valutazione dell'incompatibilità tra indagini radiologiche richieste contemporaneamente o in rapida successione nello stesso individuo; dopo la ricerca del numero, l'elaboratore provvede a passare in rassegna tutti gli esami radiologici richiesti per ciascun paziente, confrontandoli con quelli dei quattro giorni precedenti; in tale maniera è possibile evitare la prenotazione di un'urografia in un paziente che uno o due giorni prima ha eseguito un esame del tubo digerente. Questo programma serve anche a disporre, nella maniera più logica, l'ordine di esecuzione di indagini tra loro incompatibili nello stesso paziente, per esempio: primo giorno, urografia; secondo

#### PROGRAMMAZIONE DEGLI ESAMI RADIOLOGICI

urogr.	col.	t.d.				
col.		urogr.	t.d.			
t.d.				urogr.	col.	
urogr.	t.d.				col.	
t.d.				col.		urogr.
col.		t.d.				urogr.
1	2	3	4	5	6	7
giorni						

Fig. 2. — Possibilità di programmazione dei tre tipi più comuni di indagine radiologica in ambito addominale. Successione più favorevole: urografia, colangiografia, apparato digerente. Successione più sfavorevole: colangiografia, apparato digerente, urografia.

giorno, colangiografia; terzo giorno tubo digerente e non viceversa (Fig. 2). Tale passaggio elimina una piccola parte di esami; questi vengono accantonati in attesa che trascorra il tempo opportuno per la loro esecuzione.

3) Lista generale degli esami richiesti. A questo momento l'elaboratore presenta la lista dei pazienti che possono eseguire le indagini radiologiche nel giorno successivo, essendo state escluse tutte le indagini incompatibili. La lista indica, insieme al cognome ed all'iniziale del nome del paziente, il numero radiologico, la sezione di provenienza, la modalità di trasporto alla radiologia (semovente o letto) ed il tipo di esame da eseguire; gli esami sono raggruppati per tipo. Su questa lista l'accettazione radiologica esegue

una supervisione, necessaria in quanto può variare, da giornata a giornata, la disponibilità di personale medico ed ausiliario destinato all'esecuzione degli esami con conseguenti modificazioni del programma di lavoro.

#### 4) Lista per le sezioni.

Ottenuto l'assenso necessario alla prosecuzione del lavoro, l'elaboratore provvede a stampare le liste per la sezione (Fig. 3) nelle quali sono indicati i pazienti, l'esame che loro compete, l'ora di discesa alla radiologia, la sala di radiodiagnostica dove si esegue l'esame e le eventuali istruzioni per la preparazione del paziente.

5) Lista di sala radiodiagnostica (Fig. 4). Questa lista è specifica per ciascuna sala radiodiagnostica, tenuto conto che le dodici sale dell'Istituto di Radiologia sono programmate in maniera da svolgere un tipo di lavoro uniforme per ciascuna di esse. In tale lista compaiono il cognome del paziente, l'indicazione della corsia di appartenenza, dell'ora di arrivo alla radiologia e del tipo di esame da eseguire.

PATOLOGIA MEDICA		GIORNO 02/09/70	
ARDUINI A.	GAMBA	H 9,30	SALA 7
ARDUINI A.	TIRIO-TARSICA	H 9,30	SALA 7
ARDUINI A.	TORACE	H 9,30	SALA 7
BIZZI A.	COLONNA VERTEBRALE	H 9,30	SALA 7
GIRIN I.	TORACE	H 9,30	SALERT
MILTO A.	TORACE	H 9,30	SALA 7
LAZZARIN A.	CUORE GROSSI VASI	H 9,30	SALA 7
UNGARO G.	CUORE GROSSI VASI	H 9,30	SALA 7
SPINI S.	DIAGNOSTICA I VTE	H 9,30	SALA 1
ISTRUZIONI: DIGIUNO DALLA MEZZANOTTE			
DE CARLI A.	DIAGNOSTICA I VTE	H 9,30	SALA 8
ISTRUZIONI: DIGIUNO DALLA MEZZANOTTE			
QUARRESI G.	DIAGNOSTICA COMPLETO	H 9,30	SALA 1
ISTRUZIONI: DIGIUNO DALLA MEZZANOTTE			
CLISTERE DI PULIZIA 2H PRIMA			
BERTI S.	UROLOGIA	H 9,00	SALA 9
ISTRUZIONI: PROVA DI SENSIBIL. J 12H PRIMA			
AZIENDA E PRESSIONI ARTERIOSA			
DIGIUNO DALLA MEZZANOTTE			
CLISTERE DI PULIZIA 2H PRIMA			

Fig. 3. — Lista per la sezione.

RADIOLOGIA	SALA 7	GIORNO 02/09/70
CORRIOLI A.	PAT. CHIR.	H 8,30 OMBRO
STRADIOTTO E.	PAT. CHIR.	H 8,30 COLONNA DORSALE
IOSI A.	PAT. CHIR.	H 8,30 COLONNA DORSALE
ALDA G.	PAT. CHIR.	H 8,30 FEMORE
TINTO A.	PAT. CHIR.	H 8,30 TORACE
GALLO E.	PAT. CHIR.	H 8,30 TORACE
LITARDI V.	PAT. CHIR.	H 8,30 TORACE
ARDUINI A.	PAT. MED.	H 9,30 GAMBA
ARDUINI A.	PAT. MED.	H 9,30 TIRIO-TARSICA
BIZZI A.	PAT. MED.	H 9,30 COLONNA VERTEBRALE
ARDUINI A.	PAT. MED.	H 9,30 TORACE
GIRIN I.	PAT. MED.	H 9,30 TORACE
NALIN A.	PAT. MED.	H 9,30 TORACE
LAZZARIN A.	PAT. MED.	H 9,30 CUORE GROSSI VASI
UNGARO G.	PAT. MED.	H 9,30 CUORE GROSSI VASI
STIVALATO G.	CL. MED.	H 10,00 BACINO
PEORINI I.	CL. MED.	H 10,00 BACINO
PEORINI I.	CL. MED.	H 10,00 COLONNA CERVICALE

Fig. 4. — Lista per la sala radiodiagnostica.

6) Lista per il servizio trasporto. Nella lista per il servizio barellieri (Fig. 5) al nome del paziente si fa precedere la denominazione della sezione di appartenenza, mentre sono in seguito indicate le modalità di trasporto, l'ora di discesa e la sala dove il paziente deve essere condotto.

SERVIZIO	BARELLIERI	GIORNO	02/09/70	
PAT. CHIR.	CORDIOLI A.	LETTO	H 8,30	SALA 7
PAT. CHIR.	STRADIOTTO E.	SEMOV.	H 8,30	SALA 7
PAT. CHIR.	TOSE A.	LETTO	H 8,30	SALA 7
PAT. CHIR.	ALDA G.	LETTO	H 8,30	SALA 7
PAT. CHIR.	TINTO A.	SEMOV.	H 8,30	SALA 7
PAT. CHIR.	GALLU E.	SEMOV.	H 8,30	SALA 7
PAT. CHIR.	LITARDI V.	SEMOV.	H 8,30	SALA 7
PAT. MED.	GHINI R.	LETTO	H 8,30	SALA 1
PAT. MED.	DE CARLI A.	LETTO	H 8,30	SALA 1
PAT. CHIR.	RIVA M.	SEMOV.	H 8,30	SALA 1
PAT. CHIR.	POLO M.	LETTO	H 9,00	SALA 1
PAT. MED.	BERTI G.	SEMOV.	H 9,00	SALA 9
PAT. MED.	FOSCHINI I.	SEMOV.	H 9,00	SALA 3
PAT. CHIR.	CALIARI A.	BAREL.	H 9,00	SALA 3
PAT. CHIR.	HAZZI E.	SEMOV.	H 9,00	SALA 7

Fig. 5. — Lista per il servizio trasporto.

Fin qui il sistema attualmente operante; con esso sono stati aboliti numerosi « punti caldi » nel servizio di accettazione e segreteria radiologiche quali:

a) ricerca manuale nello schedario alfabetico del numero radiologico precedente ogni qualvolta un paziente si presenti per un esame;

b) accantonamento delle richieste di indagine radiologica rispettando, nella loro evasione, l'ordine di arrivo in radiologia e le incompatibilità tra esami diversi in uno stesso paziente;

c) possibilità di prenotazione di indagini che, al momento della esecuzione, si rivelano impossibili per l'influenza ancora esercitata da un esame precedente (es. bario in addome): tale evenienza rallenta lo smaltimento degli esami provocando dei momenti di inutilizzabilità nel carico giornaliero delle sale radiodiagnostiche;

d) carico di ciascuna sala radiodiagnostica in base alle reali possibilità di lavoro: l'assegnazione automatica delle indagini alle singole sale impedisce le scelte personali;

e) comunicazione alle sezioni del programma di lavoro radiologico per il giorno successivo, che richiederebbe altrimenti l'impiego di personale idoneo e l'obbligo a numerose chiamate telefoniche;

f) trasporto dei pazienti alla radiologia; questo tende, in genere, ad essere disomogeneo con lunghe attese per coloro che, arrivati tra i primi, sono invece chiamati all'esame verso la fine del lavoro.

Come si vede, è stata razionalizzata una notevole mole di lavoro di segreteria: a questo vantaggio va aggiunta la riduzione di percentuale di errori ad ogni livello (medico, tecnico, infermieristico e segretariale).

Il sistema presenta ancora dei limiti, legati al tipo di elaboratore a disposizione (IBM 1130): ciò comporta il trasferimento manuale delle schede e dei dati dalla radiologia al servizio di fisica e viceversa. Inoltre la memoria dell'elaboratore per i dati radiologici non può essere tenuta a disposizione della accettazione *on line*. Ciò comporta la ricerca manuale nell'archivio alfabetico delle informazioni relative ai pazienti che debbono venire esaminati al di fuori del programma di lavoro (emergenza, pronto soccorso, pazienti ambulatoriali non prenotati). L'ostacolo potrà essere superato quando le attrezzature consentiranno di avere una memoria costantemente *on line*, accessibile direttamente dalla radiologia attraverso un *terminal*.

Potrà essere il punto di partenza per allargare gli orizzonti dell'automazione in radiodiagnostica e l'inizio reale nel comporre il mosaico che porta alla gestione integrata.

**Riassunto.** — Il servizio di radiodiagnostica può usufruire dell'elaboratore elettronico in tre momenti della sua attività: *a*) prima dell'indagine radiologica (programmazione del lavoro e prenotazione degli esami); *b*) durante l'espletamento delle indagini (programmazione delle apparecchiature, diagnosi aiutata, riconoscimento di immagini, stesura e trasmissione dei referti); *c*) dopo le indagini radiologiche (archivio).

Viene riferita l'esperienza degli AA. nell'uso dell'elaboratore per quanto riguarda l'automatizzazione del punto *a*). Il progetto realizzato presso la sede staccata in Verona dell'Istituto di Radiologia dell'Università di Padova (Centro Ospedaliero Clinicizzato di Borgo Roma, 1050 letti), è basato sulla memorizzazione di tutti i pazienti, ambulatoriali o ricoverati, cui è stata espletata un'indagine radiologica. Qualsiasi richiesta di esame radiologico, espletata mediante perforazione di una scheda con il sistema *port-a-punch* è pertanto preceduta dalla ricerca e dalla identificazione, da parte dell'elaboratore, delle eventuali precedenti indagini, ciò che consente l'immediato richiamo dall'archivio sia della documentazione iconografica che della cartella radiologica.

Successivamente, l'elaboratore provvede ad assegnare le singole prenotazioni di indagini corredate dalla completa documentazione delle eventuali precedenti ricerche radiologiche — ad una delle dodici sale di radiodiagnostica disponibili in Istituto, rispettando le caratteristiche funzionali di ciascuna di queste; la successione cronologica è stabilita valutando i tempi medi di espletamento di ciascuna indagine.

Le richieste quotidiane di indagine radiologica che pervengono all'elaboratore sono circa 250; poichè di queste numerose sono quelle che si riferiscono allo stesso paziente, l'elaboratore provvede a scegliere la successione

più vantaggiosa onde evitare «tempi morti» curando anche di distribuire le successive indagini nelle giornate seguenti.

Analogamente, l'elaboratore non programma l'indagine fino a che non sia trascorso, da una eventuale indagine praticata nelle giornate precedenti, il tempo minimo necessario per garantire il corretto espletamento della stessa.

Per quanto concerne infine lo svolgimento pratico della attività radiologica l'elaboratore provvede a comunicare la programmazione della giornata successiva alle corsie di degenza con le istruzioni necessarie alla preparazione del paziente, alle sale di radiodiagnostica ed al servizio responsabile del trasporto dei pazienti dalle corsie all'Istituto di Radiologia.

**Summary** (*Use of the computer in a radiodiagnostic department*). — The radiological work in a radiodiagnostic department is divided into three main times and each of them may be served by the computer: a) before radiodiagnostic examination (work planning and patient scheduling); b) during radiodiagnostic examination (equipment planning, aid to diagnosis, image or pattern recognition, report compiling and transmitting); c) after radiodiagnostic examination (coding and retrieval).

The AA. deal with their experience in the automatization of the point a). The project is operating at the Radiology Dpt. of the Centro Ospedaliero Clinicizzato of Borgo Roma in Verona (1,050 bed hospital). The basic point of the system is the memory storage of all in — and out — patients who have done a radiological examination in the hospital. Each request of a radiodiagnostic examination is done in the ward by punching a card by the port-a-punch system. Then the computer analyzes the punched card to identify the patient and to be able to retrieve from files the x-rays documentation and the former reports. After the retrieval of former documentation and reports, the computer assigns the patients to the appropriate radiodiagnostic room (there are 12 radiodiagnostic rooms and each of them has a peculiar operating characteristic). The computer, furthermore, assigns an adequate time-slot for carrying-out the examination: generally the radiologist conforms to this standard-time.

The x-ray examination requests are about 250 a day. If two or more examinations are contemporaneously requested for a same patient, the computer is able to choose the most advantageous sequence in order to avoid dead-time or superposition. The computer avoids, furthermore, to schedule an examination until the minimum time, compatible with a previous examination regarding the same patient, has elapsed.

The computer carries out the secretarial work too. It prints a daily working sheet which is sent to each ward and by which the wards get to know the names of the patients to be examined next day and the instructions for fasting, cleaning and iodine test. Other working sheets are sent to each x-ray diagnostic room and to the patient escort Service.

## Riconoscimento automatico di forme biologiche, in particolare di cromosomi umani in metafase

G. REGOLIOSI

*Istituto di Biometria e Statistica medica e Centro G. Zambon. Università degli Studi, Milano.*

Nella geometria elementare due triangoli vengono considerati uguali quando, opportunamente traslati e ruotati, possono essere esattamente sovrapposti l'uno all'altro. Quindi, ai fini del riconoscimento, tutti i triangoli sovrapponibili, comunque traslati e ruotati, devono essere considerati come facenti parte della stessa classe, cioè in definitiva come lo stesso triangolo.

Alla grande varietà di configurazioni che così si ottiene per figure geometriche appartenenti alla stessa classe, si aggiungono, per figure non geometriche quali sono i *pattern* biologici, ulteriori e ben più gravi sorgenti di variazione; queste possono essere sia locali (illuminazione non uniforme del vetrino, degradazione nel processo di microfotografia, aventi come conseguenza, ad esempio, che il contorno delle figure appare piuttosto frastagliato), sia globali, cioè dovute non più a vero e proprio *noise* (rumore casuale), ma a deformazioni dell'immagine, quali ad esempio la sovrapposizione di due parti di una stessa figura.

Inoltre può accadere che due o più figure appaiano non separabili, perchè troppo ravvicinate o addirittura sovrapposte.

Da quanto detto deriva che la stessa forma biologica (ad es., un cromosoma della classe *A*) può apparire sotto aspetti estremamente diversi tra loro, e conserva alcune proprietà invarianti rispetto alle deformazioni, quali, ad es., l'area e la posizione del centromero, solo se si riesce a isolarla, cioè a distinguerla da altre forme e dal fondo.

Di fronte alle difficoltà sopra elencate, il procedimento di riconoscimento umano è estremamente efficiente. Si può dire, infatti, utilizzando una descrizione ovviamente schematica e di comodo, che l'uomo può studiare la figura servendosi sia della memoria, che gli permette il confronto mentale con figure standard nelle più diverse configurazioni, sia di una strategia di riconoscimento estremamente articolata. L'aspetto più importante di questa strategia è costituito dall'individuazione delle caratteristiche utili per il rico-



noscimento a partire da quella visivamente più evidente e seguendo un ordine che dipende in modo essenziale dalle caratteristiche già trovate; ad esempio, la presenza di due sporgenze ben definite di uguali dimensioni separate da una rientranza può essere la caratteristica individuata per prima in un cromosoma in metafase e, in base alla posizione di questa, le altre caratteristiche vengono via via osservate.

Inoltre l'uomo risolve casi dubbi classificando dapprima i cromosomi più «sicuri» e sistemando nei posti vuoti del cariotipo le figure più incerte; addirittura, il confronto tra più metafasi può servire a definire casi critici (ad es., sospetti di malformazioni in numero o forma).

D'altra parte, il riconoscimento manuale presenta due caratteristiche negative: la prima è la quantità di tempo richiesta, soprattutto se si tiene conto del tempo effettivo, comprendendo cioè le pause e gli orari in cui il citologo non lavora; il fattore tempo impedisce attualmente lo *screening* di una gran massa di cellule e quindi la possibilità di una prevenzione in soggetti, per esempio, esposti a radiazioni.

L'altro aspetto carente è il tipo di informazione ottenibile manualmente, che rimane sostanzialmente qualitativa e non permette quindi efficaci confronti tra soggetti e quindi l'individuazione di piccole, ma significative, differenze nella dimensione e nella posizione del centromero. Quindi anche ai fini della precisione della ricerca la classificazione manuale risulta piuttosto povera.

Un procedimento di riconoscimento automatico ha dunque come scopo la risposta delle manchevolezze suddette, in modo che sia reso possibile un vasto *screening* e facilitata la ricerca sulle informazioni portate dai singoli cromosomi. Tuttavia l'impossibilità di memorizzare una gran quantità di figure standard e la necessità di ridurre al minimo i tempi di calcolo richiedono che il procedimento automatico sia formato da passi semplici e il più possibile indipendenti. Occorre cioè che le operazioni complesse compiute dall'uomo, ricche di *feed-back* e di interazioni reciproche, siano qui semplificate in modo sostanziale e ridotte ad una sequenza fissa di operazioni distinte.

Generalmente si distinguono tre fasi nell'operazione di cariotipizzazione automatica:

1) Localizzazione al microscopio della metafase e digitalizzazione della stessa, mediante, ad esempio, un *flying spot scanner* guidato da un calcolatore. La metafase è trasformata in una matrice di numeri, ciascuno dei quali fornisce, in una data scala, la densità ottica di un dato punto della cellula (livello di  $gr^{-1}$ ).

2) Estrazione dei singoli cromosomi e calcolo delle caratteristiche utili per il loro riconoscimento.

3) Classificazione dei cromosomi. Una caratteristica tipica del problema del riconoscimento dei cromosomi che lo distingue anche dal riconoscimento di altre forme biologiche, è la necessità che la classificazione della singola metafase sia completa e senza errori, in modo da evitare di dover prendere in considerazione troppe metafasi per lo stesso soggetto.

Per giungere al risultato richiesto è necessario, se non si vuole venir meno alle condizioni di semplicità imposte all'analisi, che sia previsto in casi dubbi l'intervento umano all'interno del procedimento automatico, attraverso l'uso di una *light-pen* su un *display* sul quale viene presentato il cromosoma (o il gruppo di cromosomi) di dubbie caratteristiche. L'interazione dovrà essere naturalmente ridotta al minimo sia come numero di volte sia come durata di ogni singolo intervento. È necessario quindi che il procedimento automatico sappia giudicare da sé quando il riconoscimento è dubbio e presentare la figura nella forma più adatta a un veloce intervento esterno (che dovrà limitarsi a una o due operazioni). In un sistema completo l'interazione dovrà essere possibile sia nella seconda che nella terza fase.

Allo stato attuale della ricerca, il problema non consiste tanto nel progettare macchine nuove, cioè aumentare l'attendibilità delle prestazioni e la risoluzione dell'immagine né diminuire i costi delle macchine stesse, quanto nell'individuare algoritmi semplici che, composti in una opportuna strategia, permettano l'esecuzione delle tre fasi di cui si è detto.

Senza voler esaurire il problema, ci si può limitare ad esporre due esempi che riguardano entrambi la seconda fase e costituiscono la parte più critica dell'intero procedimento automatico.

Si è visto come una metafase numerizzata sia costituita da una matrice di interi, ciascuno dei quali fornisce una informazione sulla quantità di DNA nell'intorno di un punto. Supponendo che ciascun cromosoma appaia nella metafase ben distinto da ogni altro, rimane il problema di estrarre il cromosoma dal fondo cioè di definire quali punti della matrice appartengono alla figura e quali no. Un semplice procedimento di soglia non è sufficiente: infatti considerare come facenti parte di un cromosoma tutti i punti aventi livello di grigio superiore a un certo valore può provocare la perdita di parti di cromosomi o di interi cromosomi o, al contrario, l'introduzione di figure spurie, poichè l'illuminazione dell'immagine non è uniforme.

Neppure una soglia locale, cioè variabile da cromosoma a cromosoma (in funzione, ad esempio, del livello di grigio medio) dà risultati accettabili: può infatti accadere che un cromatide, o parte di esso, appaia più chiaro del resto della figura e quindi venga perso nel procedimento di soglia.

Il metodo che ci sembra più adeguato consiste nel sottoporre preventivamente la matrice ad un filtraggio bidimensionale (operatore di convoluzione discretizzato) che metta in evidenza le proprietà locali di curvatura.

L'operatore scelto è il laplaciano, il quale permette di distinguere abbastanza bene tra punti di fondo e zone di contorno; queste ultime hanno valori del laplaciano che passano velocemente da negativi a positivi; è quindi possibile individuare un contorno in un certo senso ottimale, posto cioè dove lo metterebbe l'osservatore umano, in dipendenza solamente da proprietà locali (l'operatore coinvolge infatti solamente dodici valori intorno a ciascun punto) (GALLUS & NEURATH, 1970).

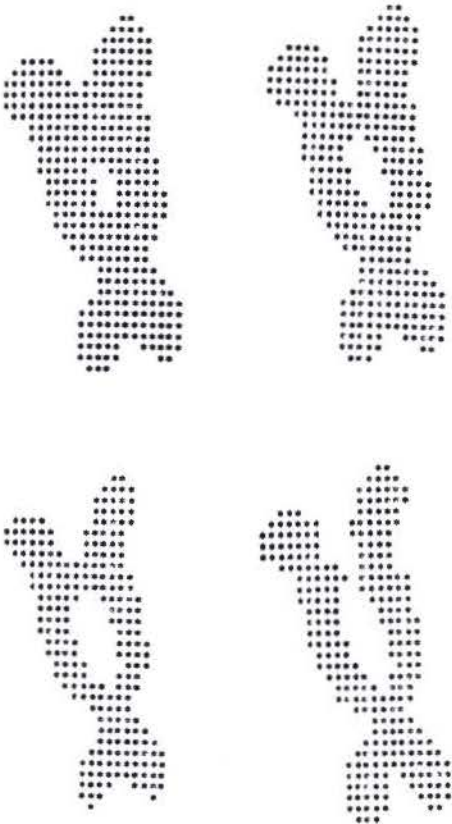


Fig. 1. — Un cromosoma come appare a due diverse soglie di grigio prima (a sinistra) e dopo (a destra) il filtraggio.

si applichi l'algoritmo più semplice (e quindi più veloce); solo quando un opportuno indice segnala la poca attendibilità del risultato, un algoritmo più elaborato e quindi più lento viene applicato, e così via.

L'intervento umano è richiesto quando anche l'algoritmo più complesso dà risultati insoddisfacenti.

La Fig. 1. mostra il diverso comportamento, su uno stesso cromosoma, dell'operazione di soglia e del laplaciano: nel primo caso il valore della soglia è critico in quanto un suo cambiamento provoca la perdita di una parte del cromosoma (e quindi la variazione di dimensione e di posizione del centromero), mentre nel secondo il cambio di soglia lascia la figura praticamente inalterata.

Il secondo esempio riguarda la scelta e l'organizzazione in strategia degli algoritmi necessari per la localizzazione del centromero, cioè per la operazione, più complessa, dell'intero procedimento di riconoscimento.

In generale più algoritmi vengono utilizzati per la stessa operazione, per cercare di ridurre al minimo la possibilità di errori. Tuttavia l'organizzazione degli algoritmi può essere di vario genere. Una prima possibilità (HILDITCH & RUTOVITZ, 1969) consiste nell'ordinare gli algoritmi secondo la complessità crescente, in modo cioè che a tutti i cromosomi

Questa procedura « in sequenza » minimizza i tempi di calcolo, ma i risultati dipendono in modo essenziale dalla sicurezza degli indici di attendibilità.

Una seconda strategia (GALLUS, MORABITO & REGOLIOSI, 1971) consiste nell'utilizzare due o più algoritmi « in parallelo », cioè nell'applicarli tutti ad ogni cromosoma, giudicando dell'attendibilità dei risultati in base alla coincidenza o meno degli stessi. La condizione perchè la strategia in parallelo sia efficiente è che i singoli algoritmi siano indipendenti tra loro in modo che il confronto dei risultati sia significativo.

Il vantaggio fondamentale è costituito dalla maggior sicurezza nei risultati, soprattutto se, oltre al confronto tra i risultati degli algoritmi, vengono utilizzati indici di attendibilità sui singoli algoritmi. Questa situazione permette di utilizzare algoritmi molto semplificati (e quindi molto più veloci) rispetto a quelli componenti una strategia in sequenza. Naturalmente si pone il problema di come comportarsi in caso di risultati discordanti e di decidere in quali casi occorre l'inserimento umano.

Un terzo tipo di strategia potrebbe consistere nel fare intervenire di volta in volta durante il procedimento quell'algoritmo che fornisce risultati più sicuri, simulando quindi in modo più preciso il comportamento umano. Attualmente il nostro gruppo ha messo a punto due algoritmi di localizzazione del centromero che sono molto veloci e sostanzialmente indipendenti, pur utilizzando entrambi le sole informazioni portate dal contorno del cromosoma.

Il primo calcola caratteristiche locali di curvatura attraverso un'opportuna codifica del contorno e, in base ad esse, localizza estremità dei cromatidi (zone ad alta curvatura positiva) e centromero (zone a curvatura negativa) (GALLUS & NEURATH, 1970; REGOLIOSI, 1970).

Il secondo metodo utilizza invece le distanze tra un punto fisso (il baricentro) e i punti del contorno per individuare i vertici dei cromatidi, e le distanze reciproche tra opportune zone del contorno per localizzare il centromero (GALLUS, MORABITO & REGOLIOSI, 1970).

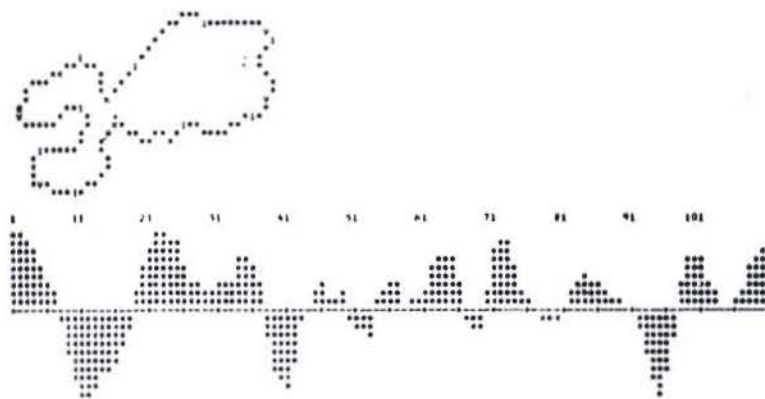
Le Fig. 2 e 3 possono servire per confrontare i risultati dei 2 metodi citati.

Un'analisi dei risultati dei due metodi e della strategia che li organizza non può per ora essere molto significativa, perchè un miglioramento e una precisione degli stessi è ancora allo studio. Basti dire che, in base ai risultati fin qui ottenuti, un'utilizzazione ottimizzata dei 2 metodi dovrebbe portare al 90% di risultati esatti.

Può interessare infine qualche notizia sui gruppi che hanno finora messo a punto, almeno in fase sperimentale, un sistema completo di riconoscimento di cromosomi. Il gruppo inglese fa parte del Medical Research Council ed è diretto da D. Rutovitz; i gruppi americani sono due, il primo diretto da P.W. Neurath (New England Hospitals, Boston) e l'altro da K.R. Castleman (Jet Propulsion Laboratory, Pasadena). Tutti i gruppi si limitano, per ora, a trattare cellule di soggetti normali, utilizzando algoritmi e strategie

simili a quelle proposte da noi (il gruppo di Neurath ha addirittura accolto integralmente il primo degli algoritmi succitati); attualmente il tempo richiesto per la classificazione di una metafase è in media di circa 10 minuti, ma è certamente riducibile a 2 minuti, diminuendo soprattutto la durata degli interventi dell'operatore esterno.

OBJECT NC. 22



OBJECT NC. 22

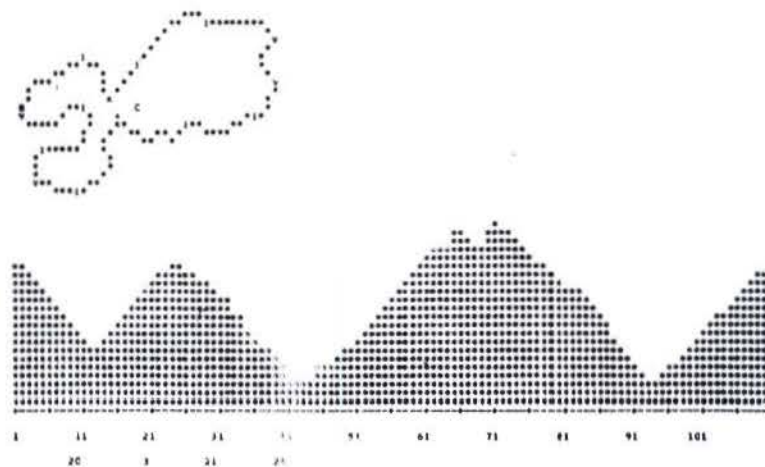


Fig. 2. — Contorno di un cromosoma coi punti caratteristici ( $F$  = vertici,  $K$  = strozzature del centromero,  $+$  = punto di centromero) localizzati attraverso il metodo della codifica (in alto) e quello delle distanze (in basso). I grafici rappresentano rispettivamente la codifica (a valori positivi corrispondono punti del contorno a curvatura positiva), e la sequenza delle distanze dal baricentro. Il punto 1 dei grafici corrisponde al punto  $B$  del contorno, il quale è percorso in senso antiorario.

OBJECT NO. 14



OBJECT NO. 14

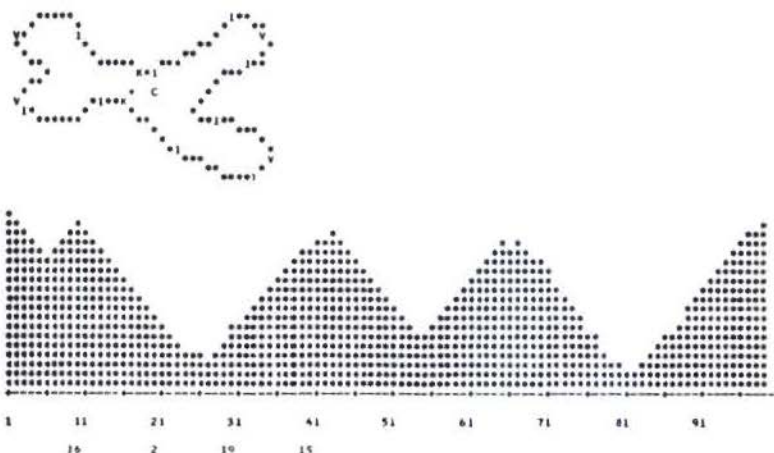


Fig. 3. — Equivale alla Fig. 2, ma per questo cromosoma i centromeri localizzati dai due metodi sono leggermente differenti.

Per concludere, quanto detto può dare un'idea del genere di problematica e delle possibilità insite nei procedimenti automatici di riconoscimento applicati a forme biologiche e quindi della convenienza nel continuare e potenziare questi studi.

**Riassunto.** — La grande variabilità di forme dei *pattern* biologici, che rende non banale lo stesso lavoro di classificazione manuale, richiede che il riconoscimento automatico sia articolato secondo un'opportuna strategia. Prendiamo come esempio la cariotipizzazione automatica.

Procedimenti di «pulizia» dell'immagine, eseguiti attraverso opportuni algoritmi, permettono di ridurre effetti di deformazione e di rumore dovuti alle operazioni di fotografia e di numerizzazione della cellula in metafase. Isolati, uno alla volta, i singoli cromosomi, si tratta ora di mettere a punto una strategia che permette di scegliere quei parametri che meglio differenziano un cromosoma da un altro e di dare una valutazione numerica attendibile. La strategia da noi attualmente usata insieme con una alternativa possibile sono descritte e confrontate con altre in uso.

Particolarmente importanti sembrano le seguenti caratteristiche: i parametri «descrittivi» sono tratti essenzialmente dal solo contorno dei cromosomi; più algoritmi che ricercano le stesse quantità sono usati in modo articolato; vengono utilizzati indici di attendibilità dei risultati parziali.

Le valutazioni numeriche dei parametri (misure) così ottenute permettono sia una classificazione dei cromosomi nella cellula, sia la rivelazione, non possibile coi metodi manuali, di piccole, ma significative, differenze in alcune caratteristiche morfologiche tra soggetti diversi. Questa possibilità sembra attualmente uno dei principali vantaggi dell'adozione di metodi automatici nel processo di riconoscimento suddetto, insieme con una evidente riduzione dei tempi necessari per l'operazione.

**Summary** (*Automatic recognition of biological patterns, particularly of human chromosomes*). — Chromosome recognition has been one of the first applications of pattern recognition techniques to biomedicine, and is certainly the most relevant in terms of financial efforts and number of groups involved. Many different reasons justify this interest but probably the hope to speed up the visual morphological analysis is the most important.

Another «intrinsic» aspect of the automatic analysis is its objective and quantitative character; new possibilities at clinical and genetical level are expected to come from it. The cytologist analyses the figures with a complex procedure. He is able to merge the information each time in the most suitable way; so the «measuring» and classification phases are not two sharply distinct steps, especially in difficult cases.

On the contrary the automatic recognition procedure must be divided into independent steps, e.g.: 1) cell digitalization; 2) chromosome isolation and feature extraction; 3) classification, in order to be simple and fast enough.

From the theoretical and operational point of view the main difficulty of the problem is connected with point 2). In fact the boundary between the object and the background is not well defined at all. A precise isolation of the object is therefore very far from being a trivial problem. As far as the extraction of the meaningful information is concerned the biological variability prevents using linear mathematical models or simple geometrical properties and requires a logical examination of the shape.

A well ground solution of chromosome isolation is offered by a pre-elaboration of the matrix, given by a discretized convolution operator, emphasizing shape and local curvature characteristics and reducing the degradation caused by several noise sources (GALLUS & NEURATH, 1970) (Fig. 1).

At least two different strategies can be used for feature extraction. One is a sequential recognition procedure, in which more recognition algorithms are ordered with ascending complexity: the simplest and quickest method is applied to chromosomes and, only if the reliability obtained is not sufficient, a second algorithm is used and so on (HILDITCH & RUTOVITZ, 1969).

The second procedure consists of utilizing two or more independent algorithms in parallel and of taking the final decision on the basis of a comparison of the results.

Provided the independency property is respected and the methods are sufficiently fast, the eventual disadvantage in speed in comparison to the sequential strategy can in principle be compensated by a greater reliability of results (GALLUS, MORABITO & REGOLIOSI, 1971).

Two algorithms are at the basis of our recognition procedure. The former recognizes the chromatid tips as highly convex boundary regions, while two highly concave regions indicate the points in which the centromeric axis crosses the boundary (GALLUS & NEURATH, 1970; REGOLIOSI, 1970).

In the latter method the chromatid tips are identified as relative maximum points in the sequence of center of mass-boundary points distances while the centromeric axis is determined through the identification of the two nearest joints between two suitable subsets of boundary joints (GALLUS, MORABITO & REGOLIOSI, 1970) (Fig. 2 and 3).

In conclusion, a brief analysis of results suggests that in principle an optimized utilization of the two methods should result in 99% performance of the system.

#### BIBLIOGRAFIA

- GALLUS, G., A. MORABITO & G. REGOLIOSI, 1970. Symmetry problems in biological images. *Atti XI Convegno-Mostra Automaz. Strumentaz.*, Milano.
- GALLUS, G., A. MORABITO & G. REGOLIOSI, 1971. On a complete chromosome recognition scheme. *Proc. IFAC Symposium Automatic Control and Computers in the Medical Field*, p. 111-118.
- GALLUS, G., & P. W. NEURATH, 1970. Improved computer chromosome analysis incorporating preprocessing and boundary analysis. *Phys. Med. Biol.*, **15**, 435-445.
- HILDITCH, J. & D. RUTOVITZ, 1969. Chromosome recognition. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **157**, 339-350.
- REGOLIOSI, G., 1970. Metodi di elaborazione del contorno nella localizzazione del centro-mero di cromosomi umani. *Monografie Centro G. Zamboni*, **5**, 136-157.