

## Elettronica applicata alla medicina

### 1) Introduzione

L'« *Elettronica medicale* » costituisce una branca dell'Elettronica che in questi ultimi anni va assumendo configurazione propria e la cui nascita fu dovuta alla fattiva collaborazione ed al reciproco interesse scientifico ed umano di studiosi e ricercatori del campo medico e di quello elettronico.

I primi videro nell'applicazione delle tecniche elettroniche un potente ausilio per le loro ricerche scientifiche, per l'agevolazione del lavoro diagnostico e clinico, per la compensazione di insufficienze funzionali e strutturali del malato.

I secondi sentirono tutto lo stimolo umano che deriva dal convertire nozioni tecnico-scientifiche in applicazioni utili e talora indispensabili sia al medico sia all'ammalato.

Tuttavia non è compito leggero per un tecnico intraprendere la realizzazione di una apparecchiatura il cui difettoso funzionamento può fuorviare il medico nella sua opera risanatrice o può essere addirittura letale per il paziente, come ad esempio nel caso delle apparecchiature per la regolazione del ritmo cardiaco.

Il contributo che l'elettronica apporta al progresso ed alla pratica della medicina consiste da un lato nella fornitura di una strumentazione destinata sia agli usi clinici sia a quelli scientifici, dall'altro nella messa a punto di protesi temporanee o permanenti capaci di integrare l'azione naturale di un organo inefficiente o addirittura di sostituirlo. In questo compito il progettista è spesso confortato dall'impiego di tecniche che ormai occupano un loro posto tradizionale nell'elettronica, come possono essere ad esempio quelle televisive. Tuttavia tali tecniche richiedono generalmente particolari modifiche e adattamenti; inoltre altrettanto di frequente si trova di fronte a problemi particolarissimi dovuti alla peculiare natura del fenomeno da misurare od alle particolari condizioni in cui tale fenomeno va misurato.

Se questo costituisce una difficoltà è d'altro canto un potente stimolo di interesse scientifico e l'elettronica trova in questo campo non solo una possibilità di applicazione, ma anche una sorgente di ispirazione. Tra l'altro:

- a) i trasduttori biologici di informazione potrebbero trovare applicazione ad esempio in elettronica industriale.
- b) I metodi di trattamento dell'informazione elaborati per applicazioni medicali hanno fatto scoprire una metodologia che può essere utile per lo studio di sistemi complessi.
- c) I materiali organici sono oggetto di studi che si pensa possano portare a componenti logici molto compatti e a debole consumo.

A documentazione del crescente sviluppo, da alcuni anni, dell'elettronica medicale, basti l'esistenza presso l'Institute of Radio Engineers di un gruppo professionale di Biomedical electronics dotato di una particolare pubblicazione periodica e l'esistenza di un International Institute for Medical electronics presieduto da V. K. Zworykin (ben noto per aver dato l'impulso essenziale allo sviluppo della televisione) e diretto dal Dr. J. F. Davis. Va pure osservato che in varie Università si vanno istituendo corsi di elettronica medicale e presso il Politecnico di Varsavia esiste addirittura una laurea in elettronica medicale.

## 2) Apparecchiature per elettronica medicale

Si dà di seguito una esemplificazione delle apparecchiature che l'elettronica mette a disposizione del medico, raggruppandole in base alle possibilità di impiego. La divisione adottata non è ovviamente rigida in quanto talvolta uno stesso strumento può servire a scopi diversi:

a) *Le apparecchiature per il rilevamento di dati* svolgono una funzione essenziale sia come guida negli interventi, sia nelle diagnosi fornendo indicazioni quantitative di aspetti qualitativi rilevati dal medico, oppure fornendo misure di fenomeni non direttamente rilevabili dal medico stesso o infine permettendo di migliorare rilievi tradizionali riducendo gli inconvenienti per il paziente.

La loro lista è molto estesa; valgano ad esempio i seguenti apparecchi:

Termometri elettronici - Elettroencefalografi - Elettrocardiografi (1) - Radiosonde intestinali (2) - Amplificatori di luce (per la riduzione dell'esposizione ai raggi x) - Densitometri - Contatori di globuli rossi - Misuratori di pressione e portata sanguigna (3) - Misuratori ad ultrasuoni (4 - 5).

b) *Le apparecchiature per l'interpretazione di dati diagnostici* sono intese alla riduzione del gravoso compito di interpretazione di grande mole di dati, come ad es. la lettura ed interpretazione su base statistica degli elettrocardiogrammi od elettroencefalogrammi. Per tali operazioni si usano calcolatori analogici (6), calcolatori numerici (7 - 8), spesso sussidiati da convertitori analogico-numeric.

I calcolatori numerici sono in questo settore l'apparato più potente che l'Elettronica mette a disposizione della scienza medica e perciò meritano considerazione a parte.

c) *Le apparecchiature per terapie varie* agiscono direttamente sul malato a scopo terapeutico. Di molte di esse si può dire che fanno ormai parte dell'usuale prassi medica e perciò ci si limita a darne qui solo alcune brevi citazioni quali i raggi X, le applicazioni di elettrotermia, l'elettrochoc, i generatori di correnti galvaniche e faradiche e così via.

d) *Le apparecchiature per interventi diretti* talvolta facilitano l'intervento stesso sul paziente, ma a volte permettono addirittura soluzioni altrimenti inattuabili. Ad esempio si citano: la chirurgia ad ultrasuoni (9), efficacemente applicata in neurochirurgia (10) ed in campo otorinolaringoiotrico (11); la chirurgia mediante laser, per ora solo in esperimento; le apparecchiature che mantengono la corretta circolazione sanguigna e l'ossigenazione del sangue anche quando cuore e polmoni sono esclusi dal ciclo naturale.

e) *Le apparecchiature ausiliarie per il malato* hanno il carattere di vere e proprie protesi temporanee o permanenti. Così dai relativamente semplici apparecchi per deboli di udito, ormai diffusissimi, si è pervenuti alle realizzazioni più recenti ed elaborate quale la mano artificiale, dotata di opportuni sensori e motori, sì da sostituire completamente la mano agli effetti meccanici (12 - 13) ed il *pacemaker* che regola e comanda l'attività cardiaca in casi di disfunzioni cardiache gravi; quest'ultimo può generare esso stesso gli impulsi di comando, ed essere installato internamente (14) oppure essere in gran parte esterno (15); altrimenti esso può utilizzare gli impulsi del nodo auricolare e stimolare il ventricolo dopo amplificazione e ritardo (16).

f) *Le apparecchiature per la sorveglianza ed il controllo* hanno lo scopo di alleggerire e nello stesso tempo offrire garanzie di continuità a tutte le attività di controllo dei malati (17 - 18). Esse sono principalmente quelle del tipo data-logger e rilevano e teletrasmettono ad un centro di sorveglianza i dati fondamentali: (temperatura, portata e pressione sanguigna, battito cardiaco). Nella stessa categoria si possono includere le installazioni televisive a circuito chiuso (19). Tale tipo di apparecchiature trova pure utili impieghi didattici.

g) *Le apparecchiature per indagini indirette e per studi scientifici* occupano una gamma estesissima che va dal microscopio elettronico all'impiego dei radio isotopi come tracciatori per le ricerche sul metabolismo, del radio-iodio per la rivelazione di tumori alla tiroide.

Gli ultimi sviluppi tendono a togliere le limitazioni di precedenti apparecchiature com'è per la microscopia in ultravioletto che, nel campo degli ingrandimenti fino a 30.000 diametri, può presentare alcuni vantaggi di impiego rispetto alla microscopia elettronica, ma richiede la conversione con sistemi televisivi dell'immagine all'ultravioletto in immagine visibile.

Ma una importanza sempre maggiore vanno assumendo le tecniche di simulazione per gli evidenti vantaggi che esse offrono permettendo uno studio scevro da preoccupazioni per il paziente. Calcolatrici analogiche, reti elettriche permettono di costruire modelli neuronici, di temperatura umana, di sistemi nervosi, di sistemi biologici (20 - 21 - 22). Il ricorso a questi dispositivi permette anche al medico di familiarizzarsi con concezioni tipiche del campo elettronico quali l'impiego di schemi a blocchi, l'uso della funzione di trasferimento e così via.

Si può dire sia una caratteristica peculiare dell'elettronica, che ne giustifica anche il rapido sviluppo, la messa a punto di una metodologia per lo studio di sistemi complessi attraverso la scissione in parti, o blocchi, il cui funzionamento può essere completamente caratterizzato mediante pochi parametri ben definiti.

La scienza medica ha per oggetto sistemi ben più complessi, tuttavia i metodi accennati possono trovare applicazione almeno per lo studio di problemi parziali. Anche per essa, come già è avvenuto con profitto per altre scienze, appare utile ricorrere ai metodi di simulazione che traducono il complesso in esame in un sistema elettronico scindibile in parti ed ognuna oggetto di indagine distinta.

h) *Apparecchiature accessorie.* Sono usate sia dalla scienza medica come dalla fisiologia e chimica terapeutica e sono costituite da un esteso numero di tipi di:

Amplificatori, trasduttori, registratori, strumenti per lo studio di forze, pressioni, vibrazioni e così via.

### 3) Problemi di particolare rilievo e attualità

Tra le apparecchiature precedentemente accennate ve ne sono due che meritano particolare attenzione: i calcolatori numerici per l'interpretazione di dati e i data-logger per la

sorveglianza ospedaliera. Entrambi i tipi di apparecchiature sono attualmente in una fase particolarmente attiva di studio e sperimentazione su piano internazionale.

Esse richiedono, tanto per lo studio, quanto per la applicazione, un notevole impegno finanziario e quindi lo studio può essere affrontato soltanto da gruppi di ampie possibilità e l'applicazione è per il momento prevedibile soltanto in cliniche e ospedali di notevole importanza.

Il calcolatore elettronico permette l'elaborazione di dati in quantità tale da mettere il medico in grado di sfruttare il tesoro scientifico e le soluzioni di molti problemi che esistono allo stato potenziale nell'enorme quantità di informazione che è prodotta dalla stessa ricerca e pratica medica.

La funzione più suggestiva di un calcolatore nel campo della medicina è quella che viene spesso detta della « diagnostica automatica » (23 - 24). In realtà spetta al medico, al clinico, allo studioso vagliare il materiale e le possibilità che il calcolatore sceglie tra molte, ma già il compito di biblioteca automatica è un potente aiuto alla diagnostica stessa permettendo di riferirsi in breve tempo a un enorme numero di casi.

In uno stadio più avanzato il calcolatore esegue le sue scelte analizzando i complessi sintomi della malattia del paziente. Se la logica delle analisi mostra che i dati sono inadeguati per un determinato giudizio, il calcolatore indica la migliore serie di domande supplementari da porre.

Se una determinata analisi non può ancora essere fatta, il calcolatore è allora usato per calcolare la probabilità di altre alternative diagnostiche.

Il calcolatore è anche usato per analizzare elettrocardiogrammi ed elettroencefalogrammi (6 - 7), per scoprire scompensi di cuore e vascolari, per misurare la circolazione periferica e per individuare occlusioni di circolazione.

Ma la medicina sta rapidamente raggiungendo il punto in cui complicate operazioni matematiche, analisi e riduzione di dati sono preliminari per ulteriori progressi. Il calcolatore fa il possibile per esplorare teorie, eseguire esperimenti e simulazioni, scoprire correlazioni e risolvere problemi altrimenti insolubili.

La diffusione dell'uso del calcolatore, oltre ai problemi finanziari che comporta, presenta problemi tutt'altro che trascurabili di compenetrazione delle due distinte mentalità del medico e dell'elettronico.

Il primo deve riuscire a comprendere le possibilità operative della macchina, che talvolta richiedono di precisare in forma comprensibile alla macchina stessa, certi elementi dettati dalla sua esperienza e dalla sua particolare intuizione.

Il secondo deve riuscire a adattare la macchina, e soprattutto il programma, a problemi di cui non è in grado di rendersi conto a fondo.

Nella sorveglianza ospedaliera il data-logger introduce quelle doti di sicurezza che solo una macchina può assicurare ad operazioni ripetitive per lungo tempo. Una volta applicati a ciascun paziente opportuni trasduttori per le varie grandezze che interessa controllare, il data-logger si collega ciclicamente a ciascun trasduttore, converte il segnale analogico in numerico, lo trasferisce ad una unità centrale che così viene a disporre ciclicamente, con frequenza anche elevata, dei dati relativi a tutti i pazienti controllati. L'unità centrale elabora le informazioni secondo le varie esigenze. Ad esempio, ad intervalli prestabiliti, può trasferire le informazioni su un diagramma, che consente di conservare una registrazione permanente in forma più compatta di quella ottenibile da diagrammi fatti a mano o da singoli strumenti. Ma, soprattutto, il data-logger può segnalare quando una delle grandezze esce da limiti prestabiliti e dare l'allarme. I limiti sono facilmente cambiabili a giudizio del medico e la macchina può essere predisposta anche in modo da tener conto di situazioni più complesse in cui si dà l'allarme quando si verifica una certa combinazione di parametri.

Ma in questa applicazione l'aspetto più importante è l'in-stancabilità e la sicurezza della macchina. D'altro canto nella sorveglianza normale può essere un inconveniente l'istallazione permanente di trasduttori sul paziente. Tale inconveniente è peraltro lieve e diventa insignificante nel caso della sorveglianza postoperatoria.

#### 4) Conclusioni

*L'elettronica medica* è una disciplina assai giovane, ma già conta al suo attivo successi impressionanti.

Il medico vi trova mezzi per migliorare la diagnosi, la cura, la sicurezza del malato nel corso dell'anestesia e dell'atto chirurgico, per sostituire organi con strutture artificiali dotate di sensibilità e movimento.

La scienza e tecnica moderna in generale, ma, in maniera particolarmente evidente, l'elettronica medica, impongono nella ricerca e nell'applicazione una situazione paradossale: la necessità di una stretta e approfondita specializzazione ed il bisogno di una larga cultura interdisciplinare. Molto è stato fatto nel campo della specializzazione, meno nel campo della formazione interdisciplinare.

Nel campo dell'elettronica medica vi è tuttora un intervallo vuoto tra la posizione del problema da parte del medico

e la possibilità di risoluzione da parte dell'elettronico. Si ha perciò la sensazione che, anche semplicemente per la difficoltà di linguaggio e impostazione, non tutte le possibilità attuali sono pienamente sfruttate.

Ad ovviare ciò si dedicano apposite organizzazioni, ma è necessaria anche un'ampia ed intima collaborazione tra singoli. Tale collaborazione, che va rapidamente sviluppandosi, sarà di grande utilità sia alla medicina, sia all'elettronica e soprattutto offrirà al malato possibilità di guarigione oggi ancora impensabili.

E' in questa visione unitaria di lavoro, volto ad alleviare le sofferenze dell'umanità, che si trovano le più solide garanzie per un sempre più esteso sviluppo dell'Elettronica medicale.

#### BIBLIOGRAFIA

- (1) *L. G. Goulding*, Electrocardiography. « Instrum. Pract. » (G.B.), Vol. 16, N. 10, 1229-32 (Oct. 1962).
- (2) *B. Jacobson*, Endoradiosonde Techniques - A Survey. « Med. Electronics Biol. Engng. » (G.B.), Vol. 1, N. 2, 165-80 (April-June 1963).
- (3) *G. L. Pressman - P. M. Newgard*, A Transducer for the Continuous External Measurement of Arterial Blood Pressure. « IEEE Trans. Bio-Med. Electronics » (U.S.A.), Vol. BME - 10, N. 2, 73-81 (April 1963).
- (4) *D. Gordon*, Ultrasonics Rays in Medical Diagnosis - A Survey. « Med. Electronics Biol. Engng. » (G.B.), Vol. 1, N. 1, 51-9 (Jan.-March 1963).
- (5) *W. J. Fry*, Present and Future Applications of Ultrasonics in Biomedicine ». « Proc. Inst. Radio Engrs » (U.S.A.), Vol. 50, N. 5, 1393-1404 (May 1962).
- (6) *C. A. Steinberg - S. Abraham - C. A. Caceres*, Pattern Recognition in the Clinical Electrocardiogram. (IRE Trans. Bio-Med. Electronics » (U.S.A.), Vol. BME - 9, N. 1, 23-30 (Jan. 1962).
- (7) *B. G. Farley - L. S. Frinshkopf - W. A. Clark - Jr. and J. T. Gilmore*, Computer Techniques for the Study of Patterns in the Electroencephalogram. « IRE Trans. Bio-Med. Electronics » (U.S.A.), Vol. BME - 9, N. 1, 4-12 (Jan. 1962).
- (8) *L. B. Lusted - R. S. Ledley*, Medical Applications of Electronic Computers. « Medical Electronics Conference », I, 10-14 (London, 1960).
- (9) *J. Ambrose*, Pulsed Ultrasound, Illustrations of Clinical Applications « Brit. J. Radiol. », Vol. 37, 165-78 (March 1964).
- (10) *W. J. Fry - F. J. Fry - R. Meyers - R. C. Eggleton*, The Use of Ultrasound in Neurosurgery. « Medical Electronics Conference, III », 453-8 (London 1960).

- (11) *M. Arslan*, Gli ultrasuoni in chirurgia. « Atti Rassegna Elettronica III Sessione » (Roma 1963).
- (12) *W. G. Horn*, Muscle Voltage Moves Artificial Hand. « Electronics » (U.S.A.), Vol. 36, N. 41, 32-3 (11 Oct. 1963).
- (13) *R. Tomovic - G. Boni*, An Adaptive Artificial Hand. « IRE Trans. Automatic Control » (U.S.A.), Vol. AC - 7, N. 3, 3-10 (April 1962).
- (14) *H. Raillard*, Development of an Implantable Cardiac Pacemaker. « Solid - State Circuits ». « Conference Paper » Philadelphia, 88-9, Feb. 1962.
- (15) *L. Eisenberg - A. Mauro - W. W. L. Glenn*, Transistorized Pacemaker for Remote Stimulation of the Heart by Radio-Frequency Transmission. « IRE Trans. Bio-Med. Electronics » (U.S.A.), Vol. BME - 8, N. 4, 253-7 (Oct. 1961).
- (16) *L. H. Montgomery - H. L. Bailey - P. C. Jolley - S. E. Stephenson*, An Artificial His's Bundle and Ventricular Stimulator. « Medical Electronics Conference, II », 233-4 (London 1960).
- (17) *J. T. Martin*, Comments upon Problems Encountered in Electronic Monitoring of Uncooperative Patients. « Proc. Nat. Electronics Conf. » (U.S.A.), Vol. 18, 708-10 (1962).
- (18) *J. A. Reynolds*, A « Patients Monitor » for Hospital Out-Patients Departments. « Electronic Engng. » (G.B.), Vol. 36, 30-3 (Jan. 1964).
- (19) *J. Dethier - J. P. Draps*, Television by Brilliance Amplifier in Radio Surgery and Especially in Traumatology. « Rev. Gen. Electronique » (France), Vol. 15, 28-31 (July-Aug. 1961).
- (20) *A. J. Cote, Jr.*, Simulating Nerve Networks. « Electronics » (U.S.A.), Vol. 34, N. 41, 51-3 (Oct. 13, 1961).
- (21) *R. J. Crosbie - J. D. Hardy and E. Fessenden*, Electrical Analog Simulation of Temperature Regulation in Man. « IRE Trans. Bio-Med. Electronics » (U.S.A.), Vol. BME - 8, N. 4, 245-52 (Oct. 1961).
- (22) *E. C. De Land*, Simulation of a Biological System on an Analog Computer. « IRE Trans. Electronic Comput. » (U.S.A.), Vol. EC - 11, N. 1, 17-25 (Feb. 1962).
- (23) *E. M. Bennett - J. W. Degan*, The Diagnostic Process in Men and Automata. « IRE Trans. Human Factors Electronic » (U.S.A.), Vol. HFE - 2, N. 2, 68-72 (Sept. 1961).
- (24) *V. K. Zworykin*, A Mechanized Matching Procedure for Computer Aided Differential Diagnosis. « Med. Electronics Biol. Engng. » (G.B.), Vol. 1, N. 1, 85-9 (Jan.-March 1963).



## INTERVENTI SULLA RELAZIONE

### A. ROSTAGNI

La relazione del collega Francini ci ha prospettate le possibilità concrete che l'elettronica offre oggi alla pratica medica, ed alcune che si prospettano per il futuro. Essa viene in qualche modo a completare il quadro che ci aveva presentato ieri il collega Ageno, integrandolo in quella parte da lui volutamente lasciata all'oscuro, la parte strumentale. Ciò mi induce a ripetere quanto già ho affermato, che per poter sfruttare appieno tutte queste possibilità sono indispensabili due condizioni: 1) una collaborazione permanente dei fisici, non solo coi radiologi e radioterapisti (per i quali ultimi la questione sembra ormai pacifica), ma coi clinici o coi biologi in genere; 2) una preparazione fisica di base più approfondita per i medici. Ciò vale a maggior ragione se si pensa ad un possibile impiego di strumenti di calcolo, come il calcolatore elettronico, ai fini diagnostici.

### F. W. SPIERS

To Professor Francini's excellent presentation of the possibilities of electronics in medical work I should like to give an example of the part now being played by the physicist whose interests lie in electronics. In Leeds we have two physicists whose main work is now in electronics, one who worked into this field after beginning in radiotherapy and one who was more recently apprentice for electronic work in cardiology and Thoracic Surgery. Their work has included the design and construction of an electroencephalograph and an electromyograph at a time when these instruments were at the research stage and unavailable commercially. They were involved in the use and also the problems of interpretation of the records of such apparatus. They have also set up reliable methods of operation of various forms of pressure recorders with special attention to calibration and to stability of performance.

One of them, Mr. G. A. Hay, is engaged on researches on the formation of the X-ray image in relation to the quantum efficiency of fluorescent screen and to methods of measuring the information content of the fluorescent image and its presentation by image intensifiers.

Other examples could be given from British experience but this one illustrates again that a variety of problems can be taken up by a physicist when he is introduced into the hospital.

### P. CIGNOLINI

La relazione del Prof. Francini ha opportunamente dato rilievo allo sterminato campo di applicazione della elettronica alla biologia e alla medicina.

Così vasto che stenderne la bibliografia anche sommaria è impossibile. Tuttavia il relatore mi conceda il rilievo che il contributo dei medici italiani ai progressi di questa branca non è così insignificante come apparirebbe dalle citazioni che egli fa.

Mi associo totalmente alle considerazioni del Prof. Benassi, con particolare consenso per la sua deplorazione delle disordinate modifiche introdotte nei ruoli degli assistenti.

Il richiamo del Prof. Wachsmann alla urgenza di provvedere alla informazione scientifica è opportunissimo. Egli in questa sede lo prospetta per mezzo della elettronica. La raccolta di dati per questa via offre vantaggi impossibili a raggiungersi con altri mezzi quando si tratti di servire un importante servizio di informazioni, come una biblioteca centrale di una disciplina. Però per le necessità correnti di uno studioso o anche di un istituto sarebbe già un grande progresso se si concordasse una classificazione internazionale delle voci principali e ottenesse dagli editori la unificazione di stampa per separata. Ogni articolo portando la sua sigla di classificazione potrebbe trovare immediatamente la sua localizzazione per materia. Non è certo la perfezione come raccolta di informazioni, ma il vantaggio di adattarsi bene ai processi mnemonici dei singoli.

Sia questa o altra la soluzione, è necessario studiarne una a stadio più basso di quello elettronico.

## **RISPOSTA DEL RELATORE**

G. FRANCINI

L'interesse principale di un ingegnere elettronico è rivolto alla progettazione e realizzazione concreta di apparecchiature fatta in collaborazione con l'ambiente medico. Questo spiega in parte la carenza di citazioni bibliografiche di Autori italiani rilevata dal Prof. Cignolini.

Sempre con riferimento alle particolari esigenze di un ingegnere elettronico, l'opera del fisico può essere utile per la rinnovazione di tutti quegli elementi che rendono difficile la reciproca comprensione tra il medico che ordina un'apparecchiatura e l'ingegnere che deve realizzarla.

Si rivendica del pari in generale all'ingegnere elettronico il compito di progettazione e realizzazione, lasciando al fisico lo studio di base, lo studio concettuale del problema e la definizione delle esatte prestazioni richieste all'apparecchiatura. Ciò specie quando la personale preparazione in campo elettronico del fisico fosse tale da comportare un notevole ed inutile dispendio di tempo e di energie.

**Argomento precedente**



**Indice**

**Argomento successivo**

