

# Progressi tecnici della elettrocardiografia

*L'A. fa il punto circa gli studi e le applicazioni sull'attività elettrica del cuore, soffermandosi sugli apparecchi e sulle esigenze di installazione dei reparti ospedalieri di elettrocardiografia.*

Sin dal 1856 Kolliker e Müller avevano con mezzi rudimentali messa in evidenza l'attività elettrica del cuore, attività che fu poi confermata da altri autori con esperienze dirette sul cuore messo allo scoperto. Einthoven ha il merito però di aver introdotto nel 1903 il galvanometro a corda di estrema sensibilità e di notevole prontezza e di aver per primo utilizzato il collegamento agli arti in luogo del collegamento diretto al cuore.

Con questa realizzazione la elettrocardiografia ha potuto uscire dal laboratorio di ricerca per diventare un utile procedimento di esplorazione clinica.

L'equipaggio sensibile del galvanometro a corda di Einthoven consiste in un filo di platino o di quarzo argentato (diametro 2 o 3 micron) teso in un campo magnetico uniforme e per quanto possibile intenso. Conviene fare in modo che la direzione del campo sia normale a quella del filo. Rimane così determinato un piano passante per il filo e normale alla direzione del campo magnetico. In tale piano avvengono gli spostamenti del filo quando questo venga percorso da una corrente per-

del campo e alla direzione della corrente. Il segno della forza dipende poi dai segni del campo e della corrente secondo la nota regola delle tre dita della mano sinistra.

L'oscillografo di Einthoven può raggiungere una sensibilità di  $10^{-10}$  Amp. ed una prontezza di  $10^{-2}$  sec. ed è pertanto adatto per l'osservazione di correnti rapidamente variabili nel tempo. poichè l'osservazione diretta dalle minutissime oscillazioni del filo risulta malagevole, ci si vale di un microscopio per proiettare l'ombra ingrandita del filo su un adatto schermo. Sostituendo allo schermo una pellicola sensibile scorrente a velocità uniforme si riesce ad ottenere un diagramma della corrente in funzione del tempo. Questo tracciato varia notevolmente di aspetto a seconda del modo con cui viene rilevato sul paziente.

In fig. 1 sono indicate le tre classiche derivazioni di Einthoven:

- I) braccio destro - braccio sinistro
- II) braccio destro - gamba sinistra
- III) braccio sinistro - gamba sinistra.

I contatti si fanno mediante elettrodi metallici applicati sulla pelle ben sgrassata e bagnata con soluzione satura di sale.

Su queste tre derivazioni si è basata per molti anni tutta la elettrocardiografia; solo recentemente sono stati introdotti altri modi di collegamento come le derivazioni unipolari degli arti (Goldberger) che si ottengono collegando in corto circuito due arti ed inserendo la corda del galvanometro tra questi e l'arto rimasto libero. Così pure le de-

rivazioni rilevate su vari punti ben stabiliti del torace hanno acquistato ultimamente grande importanza.

La corda dell'oscillografo di Einthoven era assai fragile e richiedeva di essere sostituita frequentemente. Con l'avvento della valvola termoionica è stato possibile usare galvanometri di altro tipo, più robusti e più pronti, se pure notevolmente meno sensibili. Un amplificatore a tre stadi è infatti sufficiente per azionare un oscillografo di Duddell (sensibilità  $10^{-4}$  amp., prontezza  $10^{-3}$  sec.) partendo dalle deboli forze elettromotrici (ordine di grandezza 1 millivolt) generate dalle rivoluzioni cardiache. Questi apparecchi rilevano quindi differenze di potenziale e non più correnti come era il caso con il galvanometro a corda.

La fig. 2 rappresenta lo schema di un tipico amplificatore adatto per registrazioni elettrocardiografiche. poichè lo spettro di frequenze del cardiogramma si estende fino a circa un ciclo al secondo, occorre dare ai circuiti di accoppiamento a resistenza e capacità una costante di tempo eccezionalmente lunga. Si adottano comunemente capacità di 5 megafarad e di fuga di 5 megohm che danno quindi una costante di tempo di 5 secondi.

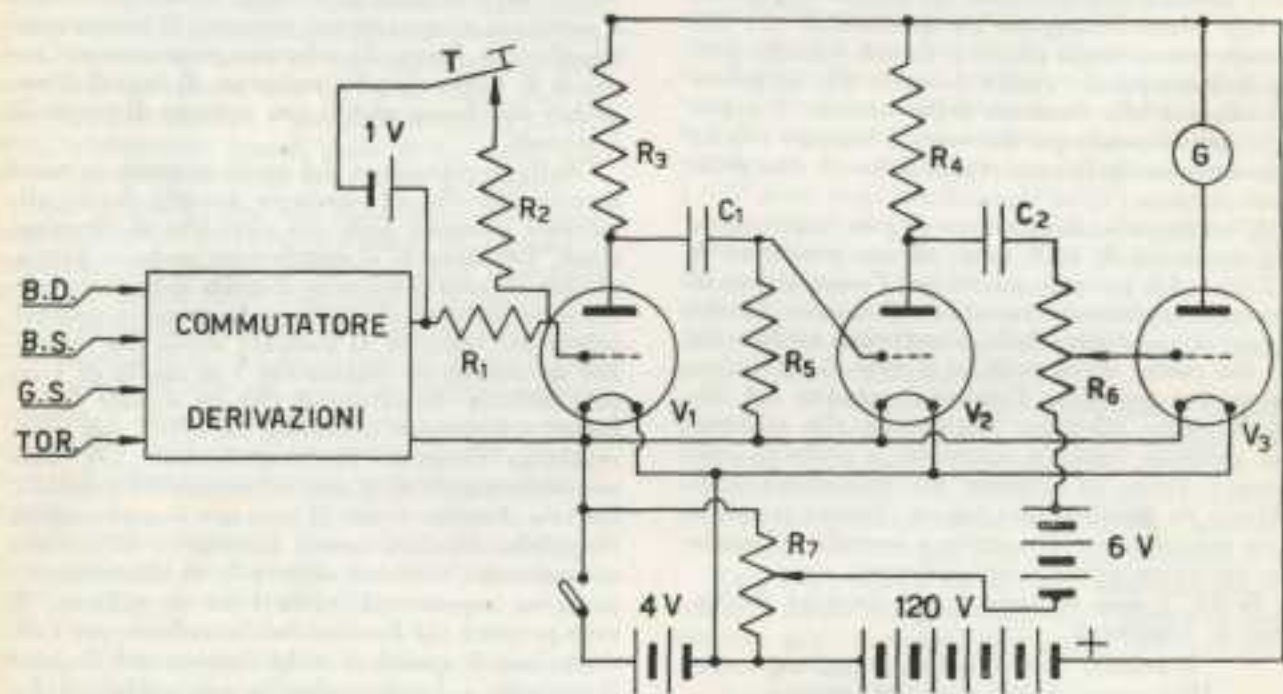
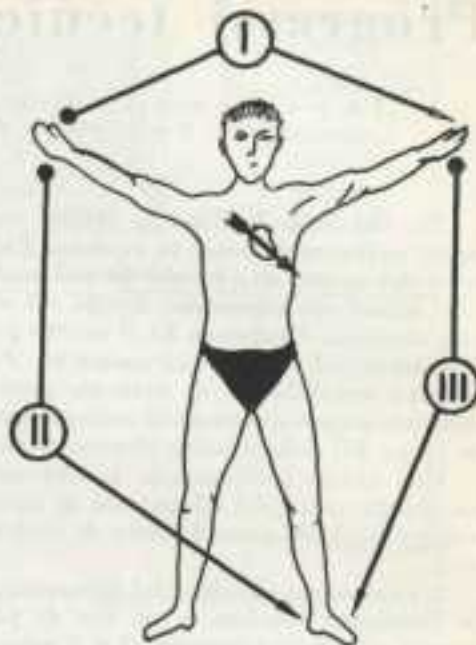
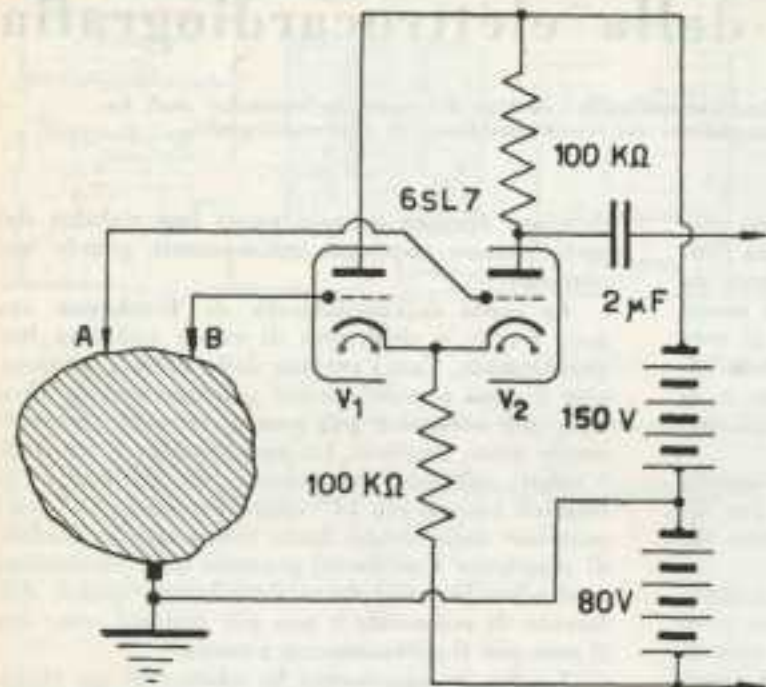
Nella registrazione del cardiogramma si trova sovente difficoltà ad eliminare disturbi dovuti alla corrente alternata delle reti elettriche di illuminazione. Tali disturbi si manifestano anche se l'apparecchio si trova a notevole distanza dalle linee percorse da corrente alternata trasmettendosi generalmente per capacità al paziente stesso. La sensibilità del complesso registratore è in media di 1 cm per millivolt. Basta quindi che un segnale disturbatore a frequenza industriale di  $2 \cdot 10^4$  volt picco raggiunga l'ingresso dell'amplificatore per dare una seghettatura di 4 mm. di altezza sul tracciato. Un tale disturbo rende il tracciato completamente illeggibile. Ora tra questa tensione e la tensione normalmente esistente nelle reti di illuminazione passa un rapporto di circa 1 ad un milione. Si vede pertanto che l'unico rimedio radicale per l'eliminazione di questi disturbi consiste nel disporre il paziente e l'apparecchio in una gabbia di Faraday realizzabile rivestendo le pareti della stanza in cui si opera con una rete metallica posta a terra.

Un altro rimedio non sempre applicabile consiste nel togliere completamente la corrente nel locale in cui si opera ed anche nei locali vicini.

Si era formata in molti tecnici la convinzione che fosse impossibile effettuare l'alimentazione di apparecchi elettrocardiografici direttamente dalla rete luce analogamente a quanto si fa con i comuni apparecchi radio.

La soluzione invece è possibile e sta nella ap-

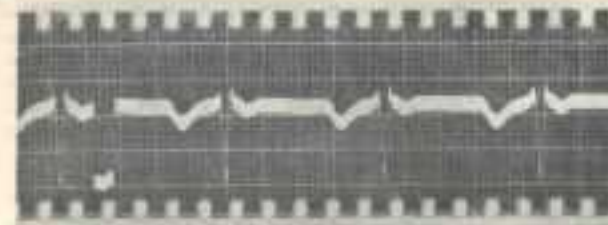




(In alto a destra). Le tre classiche derivazioni di Einthoven.

(In basso). Amplificatore per elettrocardiografo a batterie.  $R_1$  : 10  $\Omega$ .  $R_2$  : 10 K  $\Omega$ , T. tasto per la taratura (1 mV).  $R_3$  ed  $R_4$  : 300 K  $\Omega$ ,  $R_5$  : 3 M  $\Omega$ ,  $R_6$  (potenziometro reg. sensibilità) : 2 M  $\Omega$ ,  $R_7$  (potenziometro centratura raggio) : 10 K  $\Omega$ ,  $C_1$  e  $C_2$  : 2  $\mu$ F.

(In alto a sinistra). Circuito anti disturbo ad entrata differenziale.



Tipico tracciato rilevato con un elettrocardiografo alimentato in C. A. (Minerva NC IO). Si noti la taratura ottenuta mediante un impulso di 1 mV. La velocità della carta è di 3 cm. al secondo.

plicazione di un circuito di ingresso di tipo differenziale di cui si illustra il principio in fig. 3. Questo circuito permette di rivelare le differenze di potenziale che si manifestano tra due punti ad es. A e B ma non sente le variazioni di potenziale che si verificano simultaneamente tra questi punti e la terra. Infatti delle due valvole rappresentate in figura la valvola  $V_1$  funziona come ripetitore catodico e poichè i catodi delle due valvole  $V_1$  e  $V_2$  sono collegati insieme il catodo di  $V_2$  ripete fedelmente le variazioni di potenziale impresse alla griglia di  $V_1$ , in tal modo tra catodo e griglia della valvola  $V_2$  appare la differenza tra il potenziale di A ed il potenziale di B e tale differenza viene amplificata mentre al contrario rimane senza effetto una variazione simultanea e concorde del potenziale dei due punti considerati.

Se il campo elettrico disturbatore in cui si trova immerso il paziente è sufficientemente uniforme, i potenziali indotti nei punti A e B sono eguali in ampiezza ed in fase e pertanto rimangono cancellati. Solo l'elettrocardiogramma che costituisce la differenza di potenziale tra A e B rimane amplificato fedelmente.

Con apparecchi dotati di questo perfezionamento ed alimentati completamente in C. A. si riesce a registrare ottimamente in qualunque locale non eccessivamente disturbato. Naturalmente per alimentare in C. A. apparecchi così sensibili si sono dovute superare anche molte altre difficoltà. In special modo il delicato problema di stabilizzare le tensioni di alimentazione<sup>1</sup>. Tuttavia l'alimentazione sulla rete luce presenta moltissimi vantaggi. Non solo si eliminano tutte le noie relative alle batterie di pile ed agli accumulatori, ma si ha la possibilità di migliorare notevolmente la fedeltà di ripresa potendo disporre di valvole più efficienti alimentate con tensioni più adatte senza limitazioni imposte da economia come succede quando si usano le batterie. L'alimentazione in C. A. ha permesso anche la realizzazione di apparecchi a scrittura diretta sia ad inchiostro stilografico che con stilo caldo su carta termosensibile. Tali apparecchi hanno l'innegabile pregio di permettere la immediata lettura del tracciato: la fedeltà di regi-

strazione è discreta se pure inferiore a quella raggiungibile con i sistemi fotografici.

I costruttori di apparecchi a registrazione fotografica non sono però rimasti a guardare: si hanno così ora apparecchi a registrazione fotografica i quali permettono contemporaneamente l'osservazione del tracciato su un apposito oscillografo catodico dotato di schermo a lunga persistenza. Altri apparecchi permettono l'osservazione immediata del tracciato su un nastro senza fine ricoperto di materiale fosforescente.

In ultimo altri costruttori hanno addirittura elaborato una tecnica di sviluppo rapidissima tale che la carta fotosensibile esce dall'apparecchio già sviluppata ed asciutta dopo solo 8 secondi!

Da quanto si è detto sui vari tipi di apparecchi risulta che non tutti richiedono le stesse cure per l'installazione essendo diversamente sensibili ai disturbi elettrici. Ritengo tuttavia che sia buona cosa disporre per la schermatura elettrica del locale anche se questa per molti apparecchi può risultare superflua.

In difetto di una completa schermatura si otterranno discreti risultati facendo l'impianto elettrico incassato ed in cavo sotto piombo e collegando ad una buona terra la guaina di piombo. La gabbia di Faraday è del resto necessaria con qualsiasi tipo di apparecchio se in vicinanza si debbono azionare apparecchi di diatermia o di marconiterapia.

Si tenga presente inoltre che la gabbia di Faraday protegge solo contro disturbi di natura elettrostatica. I disturbi dovuti ad eventuali campi magnetici dispersi che si hanno in vicinanza di grossi trasformatori o motori non possono in alcun modo essere eliminati se non ponendosi a distanza sufficiente.

Poichè molti apparecchi richiedono lo sviluppo della carta sensibile sarà utile disporre in un locale attiguo una camera oscura per le necessarie manipolazioni. Può servire la camera oscura del laboratorio radiologico ma bisogna ricordare però che gli impianti radiologici sono una fonte notevole di disturbo.

Una certa vicinanza tra il reparto elettrocardiografico e quello radiologico è tuttavia consigliabile anche per il fatto che la tecnica radiologica è a volte necessaria ad es. quando si vuole rilevare l'elettrocardiogramma nell'interno del cuore mediante una sonda. La posizione di tale sonda va controllata radiosopicamente. La stessa cosa si può dire per quanto riguarda il rilievo oscillografico delle pressioni nell'interno del cuore, ottenute mediante apposita sonda che va piazzata sotto controllo radiosopico nei punti voluti del cuore.

Un'ultima tecnica che richiede la collaborazione del radiologo è la fluorocardiografia. Con questa tecnica si registrano i movimenti dell'ombra del cuore sullo schermo fluorescente dell'apparecchio radiografico, traendone utili indicazioni diagnostiche.

Pompeo Colombino

<sup>1</sup> Vedi a questo riguardo la nota dell'A. sulla rivista « Radio » n. 18 « Alimentatore stabilizzato per corrente continua ».