

Massimo Romagnolo

# Testo-atlante elettrocardiografico



---

# Testo-atlante di elettrocardiografia pratica

---

Massimo Romanò

# Testo-atlante di elettrocardiografia pratica

Approccio clinico ragionato  
all'elettrocardiogramma

Con la collaborazione di Roberta Bertona

Presentazione a cura di Maurizio Marzegalli

 Springer

Massimo Romanò  
Azienda Ospedaliera della Provincia di Pavia  
U.O di Cardiologia  
Ospedale di Vigevano  
Vigevano

I Capitoli 7, 8, 9, 10, 12, 13 e 14 sono stati realizzati in collaborazione  
con la Dottoressa Roberta Bertona dell'Ospedale di Vigevano

ISBN 978-88-470-1375-9

e-ISBN 978-88-470-1376-6

DOI 10.1007/978-88-470-1376-6

© Springer-Verlag Italia 2009

Quest'opera è protetta dalla legge sul diritto d'autore, e la sua riproduzione è ammessa solo ed esclusivamente nei limiti stabiliti dalla stessa. Le fotocopie per uso personale possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni per uso non personale e/o oltre il limite del 15% potranno avvenire solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da AIDRO, Via Corso di Porta Romana n. 108, Milano 20122, e-mail [segreteria@aidro.org](mailto:segreteria@aidro.org) e sito web [www.aidro.org](http://www.aidro.org). Tutti i diritti, in particolare quelli relativi alla traduzione, alla ristampa, all'utilizzo di illustrazioni e tabelle, alla citazione orale, alla trasmissione radiofonica o televisiva, alla registrazione su microfilm o in database, o alla riproduzione in qualsiasi altra forma (stampata o elettronica) rimangono riservati anche nel caso di utilizzo parziale. La violazione delle norme comporta le sanzioni previste dalla legge.

L'utilizzo in questa pubblicazione di denominazioni generiche, nomi commerciali, marchi registrati, ecc. anche se non specificatamente identificati, non implica che tali denominazioni o marchi non siano protetti dalle relative leggi e regolamenti.

Responsabilità legale per i prodotti: l'editore non può garantire l'esattezza delle indicazioni sui dosaggi e l'impiego dei prodotti menzionati nella presente opera. Il lettore dovrà di volta in volta verificarne l'esattezza consultando la bibliografia di pertinenza.

*Layout copertina:* Simona Colombo, Milano

Impaginazione: C & G di Cerri e Galassi, Cremona  
Stampa: Printer Trento S.r.l., Trento  
*Stampato in Italia*

Springer-Verlag Italia S.r.l., Via Decembrio 28, I-20137 Milano  
Springer fa parte di Springer Science+Business Media ([www.springer.com](http://www.springer.com))

Ogni strumento diagnostico deve essere usato con competenza, esperienza e, perché no, con passione. Così un arido tracciato elettrocardiografico si trasforma in un potente mezzo di comunicazione e in un efficace strumento di conoscenza permettendo di esprimere tutte le potenzialità che un semplice esame elettrocardiografico è in grado di dare. Ma perché ciò accada occorre quella passione clinica che, acquisita in tanti anni, permette di rendere interessante e vivo il tracciato elettrocardiografico.

Insegnare agli altri non solo questa competenza ma questa passione è un compito importante. Raccogliere per anni tracciati significativi e chiari e metterli in un testo atlante trasforma l'elettrocardiografia in una sfida diagnostica che appassiona anche i vecchi cardiologi.

Nell'era dell'imaging con apparecchiature sofisticate e costose è incredibile quello che un semplice elettrocardiogramma è ancora in grado di offrire. Le continue sottolineature e integrazioni cliniche presenti nel testo collocano l'esame elettrocardiografico nella sua giusta posizione di strumento in mano a un clinico e non di una somma di onde negative o positive che anche un computer è in grado di analizzare.

Solo chi per anni ha vissuto nei reparti dei nostri ospedali, negli ambulatori, nei reparti di pronto soccorso sa che aiuto prezioso è l'elettrocardiogramma e lo tratta con rispetto conoscendo anche le insidie che minime variazioni possono nascondere. A volte è solo il colpo d'occhio di un cardiologo esperto che sa valorizzare segni che, pur non raggiungendo la significatività, sono espressione di un pericolo. La ricchezza, la quantità e la qualità dei tracciati presentati consente anche a chi è alle prime armi di vedere quello in cui si potrà imbattere e che dovrà interpretare correttamente.

Esprimo perciò da vecchio cardiologo e da amico i miei personali ringraziamenti al Dott. Massimo Romanò come sicuramente faranno tutti quelli che utilizzeranno questo prezioso strumento nella loro pratica quotidiana.

*Milano, maggio 2009*

*Maurizio Marzegalli  
Direttore, U.O. di Cardiologia  
Dipartimento di Emergenza  
Azienda Ospedaliera San Carlo  
Coordinatore, Rete per l'Emergenza-Urgenza Cardiovascolare  
Milano*

## Prefazione

Sono trascorsi più di cent'anni da quando Willem Einthoven inventò l'elettrocardiografia, immergendo le estremità di tre arti in bacinelle contenenti soluzione salina e collegandole a un galvanometro, registrando così per primo i fenomeni elettrici del cuore. Per lungo tempo, insieme alla radiografia del torace e a un buon orecchio, l'elettrocardiogramma (ECG) ha rappresentato il perno fondamentale della clinica cardiologica, provocando e stimolando l'intelligenza del medico e la sua capacità di estrarre da un segnale semplice e di facile acquisizione una serie quasi illimitata di informazioni che, integrate con il quadro clinico, consentivano diagnosi e prognosi altamente affidabili.

Lo sviluppo tecnologico in seguito, ha messo in secondo piano questo decisivo supporto diagnostico: ciò non ha tuttavia impedito all'ECG di conservare il suo valore indispensabile in un'ampia gamma di situazioni cliniche: dal pronto soccorso dei più periferici e sperduti ospedali sino alla realtà della rete dell'emergenza-urgenza nei grandi centri urbani, dove la diagnosi precoce di sindrome coronarica acuta o di aritmie cardiache minacciose rappresenta il confine estremo per il salvataggio di vite umane.

In questo contesto va sottolineato come l'interpretazione dell'ECG debba avvenire ad integrazione del quadro clinico e non debba sostituirsi ad esso. L'ECG va in primo luogo analizzato, poi descritto, e solo alla fine impiegato per formulare una diagnosi corretta: quante volte ad un paziente è stato attribuito un evento ischemico solo sulla base di un'onda T negativa o per la presenza di anomalie aspecifiche della ripolarizzazione!

Per questo motivo ci è parso opportuno e utile racchiudere in un sintetico testo-atlante di elettrocardiografia l'esperienza maturata in trent'anni di lavoro in ospedali di frontiera, dove le più importanti evenienze cardiologiche si sono presentate in tutte le loro manifestazioni. Il senso di quest'opera, nel contesto di un'offerta ampia e variegata, risiede principalmente nel connettere le basi elettrofisiologiche, sinteticamente rappresentate, con la realtà clinica, soprattutto nella molteplicità iconografica. Particolare attenzione è stata dedicata alle alterazioni elettrocardiografiche in corso di angioplastica coronarica, laddove il segnale ECG risulta fondamentale per valutare appieno l'avvenuta rivascolarizzazione e identificare precocemente le complicanze correlate alla procedura. Un vecchio strumento da rivalutare appieno, quindi, in una realtà diagnostico-terapeutica moderna.

Si tratta di un testo essenziale, accompagnato da molti tracciati elettrocardiografici. I cardiologi clinici, i medici di pronto soccorso, quelli del sistema dell'emergenza-urgenza, gli internisti, gli anestesisti che valutano il malato prima di un intervento chirurgico, i rianimatori alle prese con un paziente critico: ecco i destinatari di questa fatica. Con tempo, cultura, esperienza e grande umiltà si può offrire al malato un aiuto

indispensabile nella cura delle malattie di cuore, consentendo anche il recupero di una metodologia medica legata di più alla clinica e al rapporto con il paziente.

Un ringraziamento particolare va, per primo, ai malati, che ci insegnano ogni giorno molto di più di quanto siamo capaci di apprendere da loro; a medici e infermieri, che hanno contribuito alla raccolta di tutto il materiale; a Roberta Bertona, che non è stata solo una valida e instancabile collaboratrice ma anche una vivace e attenta intelligenza; alla dottoressa Madeleine Hofmann e alla dottoressa Donatella Rizza, di Springer-Verlag, che hanno creduto sin dall'inizio alla proposta; alle dottoresse Catherine Mazars e Angela Vanegas per l'assistenza e la pazienza che sempre rendono possibile la realizzazione di un progetto.

Ma tutto ciò non sarebbe stato possibile senza Ugo Garbarini, Maestro di medicina a Milano, che mi ha insegnato le basi della professione medica e mi ha trasmesso il fascino ritmico ed artistico di queste periodiche oscillazioni della linea isoelettrica rappresentate nell'elettrocardiogramma. A lui la dedica più importante e la riconoscenza per aver consentito la realizzazione di questo libro.

*Vigevano, aprile 2009*

*Massimo Romanò*

# Indice

<b>1</b>	<b>Principi generali di anatomia ed elettrofisiologia cellulare ...</b>	<b>1</b>
	Cenni di anatomia del sistema di eccitoconduzione .....	1
	Cenni di fisiologia del sistema di eccitoconduzione .....	2
<b>2</b>	<b>Le derivazioni elettrocardiografiche .....</b>	<b>5</b>
	Derivazioni bipolari degli arti .....	6
	Derivazioni unipolari degli arti (o unipolari periferiche) .....	7
	Derivazioni unipolari precordiali (o toraciche) .....	7
<b>3</b>	<b>L'elettrocardiogramma normale .....</b>	<b>9</b>
	Onda P .....	9
	Intervallo PR .....	10
	Complesso QRS .....	10
	Punto J .....	12
	Onda T .....	12
	Intervallo ST (o tratto ST) .....	12
	Intervallo QT .....	13
	Intervallo TQ .....	13
	Asse elettrico .....	13
	Approccio all'interpretazione dell'elettrocardiogramma .....	15
<b>4</b>	<b>Elettrogenesi delle aritmie .....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Le bradiaritmie .....</b>	<b>21</b>
	Introduzione .....	21
	Classificazione e caratteristiche elettrocardiografiche .....	22
	<i>Aritmie da alterata formazione dell'impulso</i> .....	22
	Bradicardia sinusale .....	22
	Blocchi seno-atriali ed arresto sinusale .....	24
	<i>Wandering pacemaker</i> (o segnapassi migrante) .....	25
	Ritmo giunzionale .....	25
	<i>Disturbi della conduzione</i> .....	26
	Blocco atrioventricolare di I grado .....	27
	Blocco atrioventricolare di II grado .....	28
	Blocco atrioventricolare di III grado .....	35

Quadri clinici particolari .....	35
<i>La malattia del nodo del seno</i> .....	35
<i>La sindrome del seno carotideo</i> .....	37
<b>6 Le tachiaritmie</b> .....	39
Introduzione .....	39
Battiti ectopici (extrasistoli) .....	39
<i>Battiti ectopici sopraventricolari</i> .....	39
<i>Battiti ectopici ventricolari</i> .....	40
Le tachiaritmie sopraventricolari .....	42
<i>Tachicardia sinusale</i> .....	42
<i>Tachicardia atriale</i> .....	43
<i>Tachicardia atriale multifocale</i> .....	46
<i>Fibrillazione atriale</i> .....	46
<i>Flutter atriale</i> .....	51
<i>Tachicardia sopraventricolare</i> .....	59
Tachicardie con RP breve .....	62
<i>Tachicardia da rientro nel nodo atrioventricolare (AVNRT)</i> .....	62
<i>Tachicardia da rientro atrioventricolare (AVRT)</i> .....	62
Tachicardie con RP lungo .....	63
<i>Tachicardia giunzionale</i> .....	66
Diagnosi differenziale delle tachicardie a QRS fine .....	67
Le aritmie ventricolari .....	67
<i>Tachicardia ventricolare monomorfa</i> .....	67
<i>Tachicardia ventricolare polimorfa</i> .....	79
<i>Fibrillazione ventricolare</i> .....	82
<b>7 L'elettrocardiogramma nella sindrome di Wolff-Parkinson-White</b> .....	85
Introduzione .....	85
Fibrillazione atriale e pre-eccitazione ventricolare .....	87
Pre-eccitazione ed infarto miocardico acuto .....	89
<b>8 I blocchi di branca e gli emiblocchi</b> .....	91
Ritardi di attivazione ventricolare: generalità .....	91
Blocco di branca destra .....	91
Blocco di branca sinistra .....	93
Blocchi fascicolari o emiblocchi .....	97
<i>Blocco fascicolare anteriore o emiblocco anteriore sinistro</i> .....	97
<i>Blocco fascicolare posteriore o emiblocco posteriore sinistro</i> .....	100
Blocchi bifascicolari .....	101
<b>9 Le aritmie geneticamente determinate</b> .....	103
La sindrome del QT lungo .....	103
La sindrome del QT corto .....	104
La sindrome di Brugada .....	105

<b>10</b>	<b>L'elettrocardiogramma nei pazienti portatori di pacemaker</b> .....	109
	Malfunzionamenti del pacemaker .....	118
	<i>Difetto di stimolazione</i> .....	119
	<i>Difetto di cattura</i> .....	119
	<i>Undersensing</i> .....	119
	<i>Oversensing</i> .....	120
	Pseudo-malfunzionamenti .....	121
<b>11</b>	<b>L'elettrocardiogramma nella cardiopatia ischemica</b> .....	125
	Generalità .....	125
	Principali quadri clinico-elettrocardiografici .....	129
	<i>Angina pectoris stabile</i> .....	129
	<i>Angina instabile</i> .....	130
	<i>Infarto miocardico non Q</i> .....	131
	<i>Infarto miocardico con onde Q</i> .....	131
	<i>Complicanze dell'infarto e elettrocardiogramma</i> .....	148
	<i>L'elettrocardiogramma in corso di angioplastica coronarica</i> .....	156
<b>12</b>	<b>Gli ingrandimenti atriali e ventricolari</b> .....	169
	Gli ingrandimenti atriali .....	169
	<i>Generalità</i> .....	169
	<i>Ingrandimento atriale destro</i> .....	169
	<i>Ingrandimento atriale sinistro</i> .....	170
	<i>Ingrandimento biatriale</i> .....	171
	Gli ingrandimenti ventricolari .....	171
	<i>Generalità</i> .....	171
	<i>Ingrandimento ventricolare sinistro</i> .....	171
	<i>Ingrandimento ventricolare destro</i> .....	174
<b>13</b>	<b>L'elettrocardiogramma nelle malattie del pericardio e del miocardio</b> .....	177
	Pericardite acuta .....	177
	Malattie del miocardico .....	179
<b>14</b>	<b>Elettrocardiogramma e malattie del circolo polmonare</b> ....	181
	Cuore polmonare acuto – embolia polmonare .....	181
	Cuore polmonare cronico .....	182
<b>15</b>	<b>Elettrocardiogramma e miscellanea</b> .....	185
	Elettrocardiogramma e farmaci .....	185
	Disionie .....	188
	<b>Bibliografia</b> .....	189

## Acronimi

AV	Atrio-ventricolare
AVNRT	Tachicardia da rientro nel nodo AV
BAV	Blocco atrio-ventricolare
BB	Blocco di branca
BBD	Blocco di branca destra
BBS	Blocco di branca sinistra
BESV	Battito ectopico sopra-ventricolare
BEV	Battito ectopico ventricolare
BF	Blocco fascicolare
bpm	Battiti per minuto
CD	Arteria coronaria destra
Cx	Arteria circonflessa
D1	Primo ramo diagonale
EAS	Emiblocco anteriore sinistro
ECG	Elettrocardiogramma
EPS	Emiblocco posteriore sinistro
FA	Fibrillazione atriale
FLA	Flutter atriale
IMA	Infarto miocardio acuto
IVS	Ipertrofia ventricolare sinistra; Insufficienza ventricolare sinistra
MO	Ramo marginale ottuso
NAV	Nodo atrio-ventricolare
NSA	Nodo seno-atriale
PJRT	Permanent Junctional Reciprocating Tachycardia o tachicardia permanente reciprocante giunzionale
PM	Pacemaker
RI	Ramo intermedio
RIVA	Ritmo idio-ventricolare accelerato
S1	Primo ramo settale
TdP	Torsione di punta
TPSV	Tachicardia parossistica sopra-ventricolare
TRNAV	Tachicardia da rientro nel nodo atrio-ventricolare
TSV	Tachicardia sopra-ventricolare
TV	Tachicardia ventricolare
WPW	Sindrome di Wolff-Parkinson-White

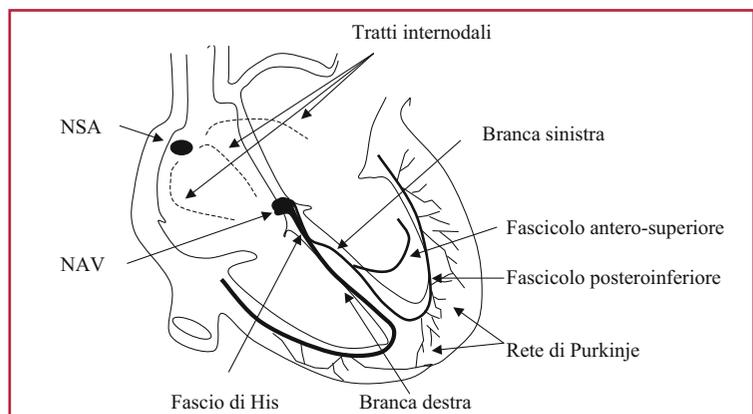
## Cenni di anatomia del sistema di eccitoconduzione

L'attività elettrica del cuore è governata dal nodo seno-atriale (NSA, nodo di Keith e Flack) (Fig. 1.1), microscopica struttura localizzata nell'atrio destro, alla base della vena cava superiore, formato da un insieme di cellule aventi proprietà auto-eccitatorie (cellule pacemaker) e dotato quindi di intrinseca capacità ad emettere ritmicamente impulsi elettrici, ad una frequenza variabile, nella norma, fra 60 e 100 battiti per minuto (bpm). La corrente da qui originata si trasmette agli atri attraverso alcune vie preformate, i fasci internodali: il fascio internodale anteriore di Bachmann, che fornisce un ramo per l'atrio sinistro, il fascio internodale intermedio (di Wenckebach) ed il fascio internodale posteriore (di Thorel). L'onda di depolarizzazione elettrica viene convogliata successivamente al nodo atrioventricolare (NAV, nodo di Tawara). Questa seconda stazione fondamentale del sistema specifico di conduzione è posta sul piano atrioventricolare, quasi all'incrocio tra quest'ultimo e i due setti, l'interatriale e l'inter-

ventricolare. È l'unica connessione tra atri e ventricoli ed è quindi il punto di passaggio obbligato per poter raggiungere questi ultimi.

La propagazione degli impulsi elettrici dal NAV ai ventricoli avviene attraverso un sistema di conduzione specializzato. A livello prossimale, a partenza dal NAV, origina il fascio di His, che si divide, all'interno del setto interventricolare, nelle due branche, la destra e la sinistra. La branca destra discende in posizione sub-endocardica sul lato destro del setto. Alla base del muscolo papillare anteriore ventricolare destro, essa si divide ulteriormente e fornisce fibre alla parete libera del ventricolo destro e al lato destro del setto. La branca sinistra, di maggior calibro rispetto alla destra, si separa a sua volta in un fascicolo anterosuperiore ed in uno inferoposteriore fornendo fibre alla parete del ventricolo sinistro e al lato sinistro del setto.

Le due branche si diramano ulteriormente in una fitta maglia posta nel sub-endocardio, la rete delle fibre di Purkinje, che trasporta la corrente di depolarizzazione a tutta la muscolatura ventricolare.



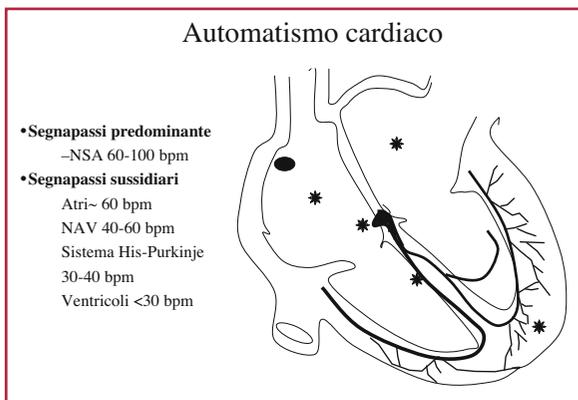
**Fig. 1.1** Anatomia del sistema di eccitoconduzione. NSA, nodo seno-atriale; NAV, nodo atrioventricolare. Per i dettagli vedi testo

## Cenni di fisiologia del sistema di eccitoconduzione

Il NSA possiede una frequenza di scarica superiore a quella del restante miocardio, oscillante, in condizioni normali, fra 60 e 100 bpm; il NAV è il centro sussidiario più importante, potendo emettere impulsi a frequenze variabili fra 40 e 60 bpm, mentre altre zone, sia del sistema di conduzione sia del miocardio comune, sono in grado, in condizioni normali o patologiche, di emettere impulsi a frequenza variabile fra 20 e 40 bpm (Fig. 1.2).

La contrazione del cuore è regolata da un processo di eccitazione elettrica continua e ripetuta, tale per cui ad ogni evento elettrico corrisponde un evento meccanico.

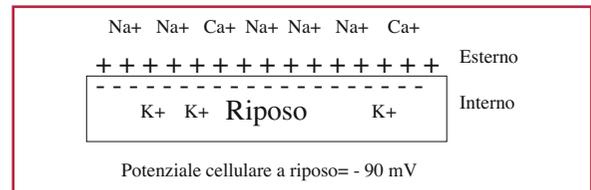
Le attività elettriche e contrattile del cuore sono rese possibili grazie al flusso costante di ioni attraverso la membrana delle cellule cardiache. I più importanti sono il sodio, il calcio e il potassio. Se si pongono dei microelettrodi su entrambi i versanti della membrana cellulare, si evidenzia che, a riposo, essa è caricata negativamente al suo interno e positivamente al suo esterno: è dotata cioè di un potenziale elettrico transmembranario negativo (circa  $-90$  millivolts), detto anche differenza di potenziale (Fig. 1.3). Questa differenza di potenziale è legata a gradienti di concentrazione ionica (elevata concentrazione di sodio all'esterno della membrana e di potassio all'interno), mantenuti da sistemi di trasporto attivo transmembranario (pompa sodio/potassio ATPasi dipendente).



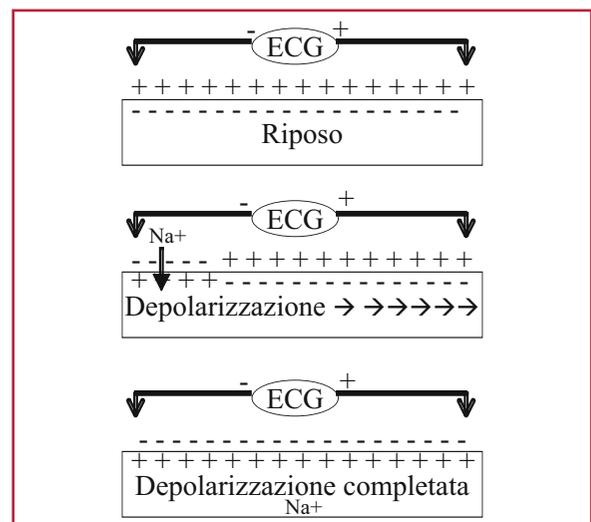
**Fig. 1.2** Gerarchia dei centri segnapassi cardiaci. Gli asterischi evidenziano le aree del miocardio comune, sedi di possibili centri ectopici

Speciali strutture lipoproteiche della membrana cellulare, dette canali ionici, consentono il flusso degli ioni attraverso la membrana stessa.

La membrana cellulare modifica il suo stato elettrico a riposo mediante l'iniziale flusso rapido di ioni sodio dall'esterno all'interno (depolarizzazione) (Fig. 1.4), evento che ne varia la polarità (da positiva a negativa). È possibile registrare i fenomeni elettrici che si verificano quando la cellula viene attivata, graficamente rappresentati nella Figura 1.5. L'ingresso rapido di ioni sodio nella cellula corrisponde alla fase 0 del potenziale d'azione.

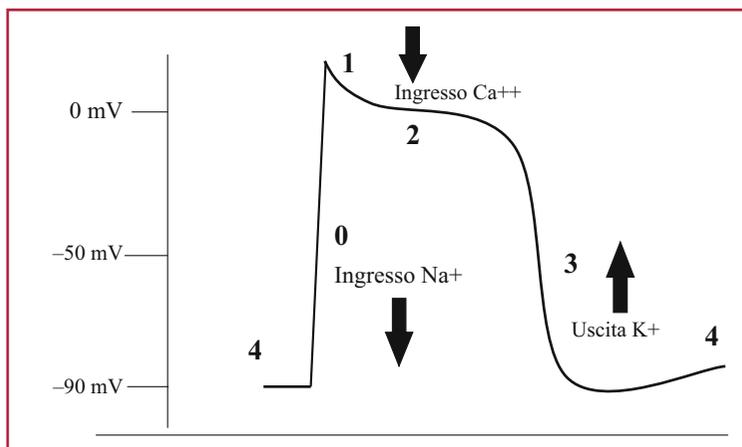


**Fig. 1.3** Rappresentazione grafica della carica elettrica cellulare a riposo. La cellula è caricata positivamente all'esterno e negativamente all'interno. Sulla superficie esterna della cellula sono presenti in gran quantità ioni sodio, mentre all'interno sono presenti ioni potassio



**Fig. 1.4** L'ingresso di ioni sodio all'interno della cellula innesca il fenomeno della depolarizzazione cellulare, con inversione di polarità attraverso la membrana, che si carica negativamente all'esterno e positivamente all'interno. ECG, elettrocardiogramma

**Fig. 1.5** Schema del potenziale d'azione transmembranario a riposo e sue fasi. Per i dettagli vedi testo



Si distinguono successivamente:

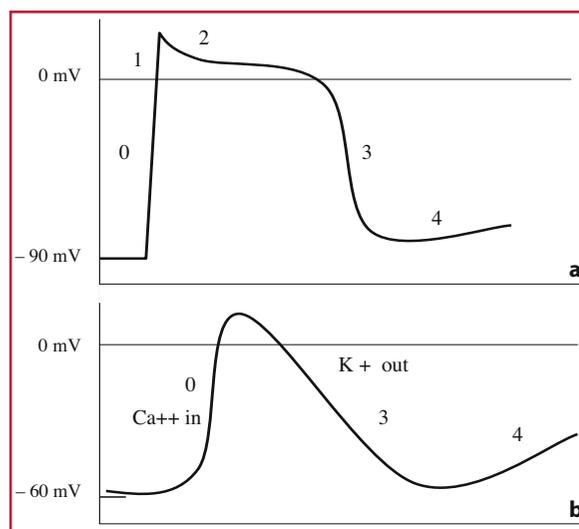
- la fase 1, durante la quale il flusso ionico di sodio rallenta e il potenziale è di circa 0 millivolts; si registra una transitoria corrente in uscita di potassio;
- la fase 2, caratterizzata dall'ingresso lento di ioni calcio dal comparto extracellulare a quello intracellulare; l'attivazione cellulare provoca anche la liberazione del calcio sito nei depositi intracellulari e il successivo accoppiamento con le proteine contrattili;
- la fase 3, che dà inizio alla ripolarizzazione, prodotta da una corrente bifasica in uscita (rapida e lenta) di ioni potassio all'esterno, tramite i canali ionici del potassio (IK) sino a riportare lo stato elettrico della membrana cellulare alle condizioni di riposo;

– la fase 4, durante la quale è presente una corrente interna-esterna di sodio e esterna-interna di potassio, volta a mantenere la polarità negativa basale. Si possono distinguere due tipi morfologici di potenziale d'azione:

- potenziale d'azione rapido, sodio-dipendente, tipico delle cellule del sistema His-Purkinje, del miocardio comune atriale e ventricolare (Fig. 1.6a);
- potenziale d'azione lento, calcio-dipendente, tipico delle cellule del NSA, del NAV e delle cellule miocardiche ischemiche (Fig. 1.6b). In questo caso la fase 0 è legata all'ingresso prevalente di ioni calcio e solo parzialmente di ioni sodio. Ciò caratterizza anche la differente risposta ai farmaci anti-aritmici delle diverse zone del sistema di eccito-conduzione e del miocardio atriale e ventricolare comune.

Le fibre lente presentano un potenziale d'azione a riposo meno elettronegativo rispetto a quello delle cel-

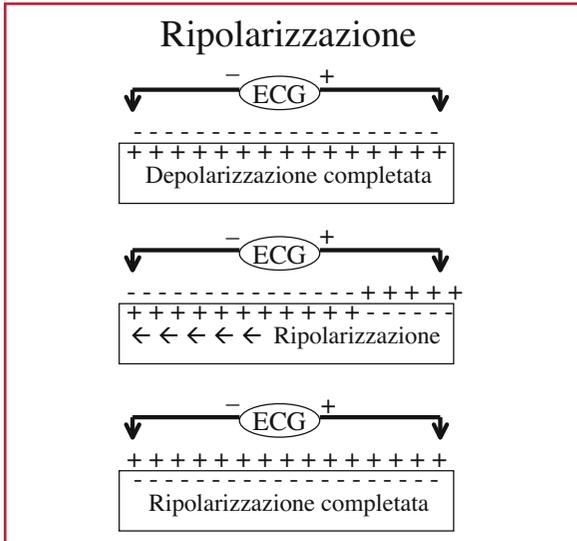
lule rapide ( $-60$  mV vs  $-90$  mV); la fase 0 è più lenta, con altrettanto lenta velocità di conduzione. La fase 4 non è stabile ed è caratterizzata da progressiva e spontanea depolarizzazione della membrana cellulare: dispone cioè di automatismo spontaneo. L'automatismo è una caratteristica potenziale di tutte le cellule, ma in particolare, in condizioni fisiologiche, del NSA, del NAV e del sistema His-Purkinje. Talora anche il miocardio comune, atriale e ventricolare, può presentare automatismo spontaneo. La cellula, una



**Fig. 1.6** a Schema del potenziale d'azione del miocardio atriale e ventricolare comune, sodio-dipendente (per i dettagli vedi testo). b Schema del potenziale d'azione delle cellule pacemaker (NSA e NAV, calcio-dipendenti). Per i dettagli vedi testo

volta depolarizzata, recupera la sua carica elettrica iniziale: è il fenomeno della ripolarizzazione (Fig. 1.7).

Se si applica uno stimolo elettrico sulla membrana della cellula si produce un'inversione di polarità (depolarizzazione); come conseguenza, fra due cellule contigue, una depolarizzata ed una ripolarizzata, si determina un flusso di corrente, che origina dalla cellula attivata e si dirige verso la cellula in stato di riposo (Fig. 1.8).

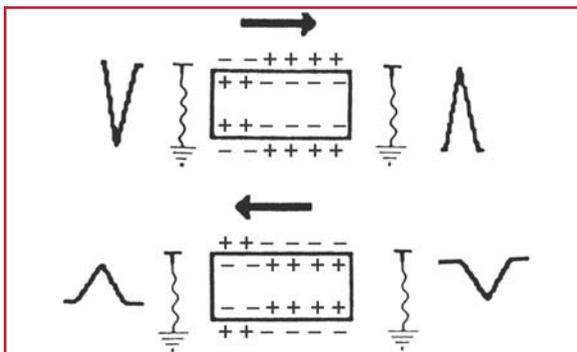


**Fig. 1.7** Nella fase di ripolarizzazione la membrana cellulare recupera la sua polarità iniziale, positiva all'esterno e negativa all'interno. ECG, elettrocardiogramma

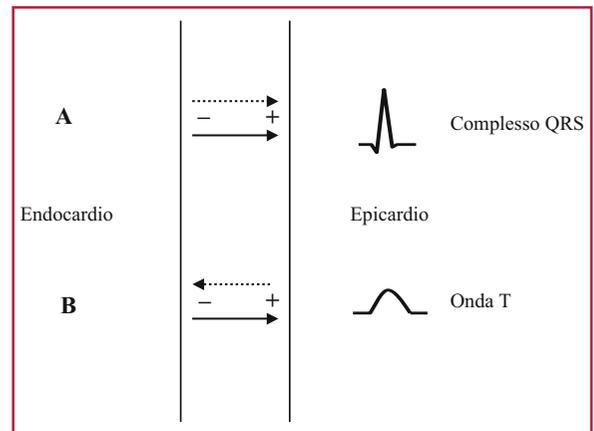
Il flusso di corrente fra due cellule in condizioni elettriche differenti crea un dipolo, entità costituita da una coppia di cariche elettriche uguali di opposta polarità. Il dipolo può essere rappresentato come un vettore, dotato di una grandezza, dipendente dalla quantità di cariche elettriche, una direzione, determinata dai fronti di attivazione elettrica prevalenti in quella zona e in quella fase, e un verso, essendo per convenzione negativa la coda (già attivata) e positiva la testa (zona non ancora attivata).

Nelle cellule miocardiche la depolarizzazione procede dall'endocardio verso l'epicardio. Le cellule subendocardiche, depolarizzate, sono quindi elettronegative rispetto a quelle epicardiche, ancora polarizzate: la direzione pertanto del vettore di depolarizzazione (complesso QRS) ha lo stesso senso della depolarizzazione. Le derivazioni elettrocardiografiche relative registrano una deflessione positiva. Il processo di ripolarizzazione procede invece in senso inverso a quello della depolarizzazione, poiché le cellule sub-epicardiche si ripolarizzano per prime e sono quindi elettropositive rispetto a quelle subendocardiche. Ne consegue che il dipolo corrispondente al vettore di ripolarizzazione (onda T) avrà lo stesso senso di quello della depolarizzazione (Fig. 1.9).

Questo flusso di corrente è in grado di depolarizzare altre cellule vicine, provocando un fenomeno a catena in tutto il miocardio: gli eventi che ne conseguono sono registrabili sulla superficie del corpo e illustrabili graficamente come una successione di deflessioni positive e negative, l'ECG.



**Fig. 1.8** Depolarizzazione e ripolarizzazione cellulare. In alto, attivazione elettrica cellulare, con inversione di polarità fra i due lati della membrana cellulare. Si genera flusso di corrente verso zone ancora in stato di riposo. La freccia indica il vettore di depolarizzazione. In basso, la ripolarizzazione procede in senso inverso. Le derivazioni poste alle estremità che registrano vettori in avvicinamento mostrano deflessioni positive, quelle che registrano vettori in allontanamento deflessioni negative



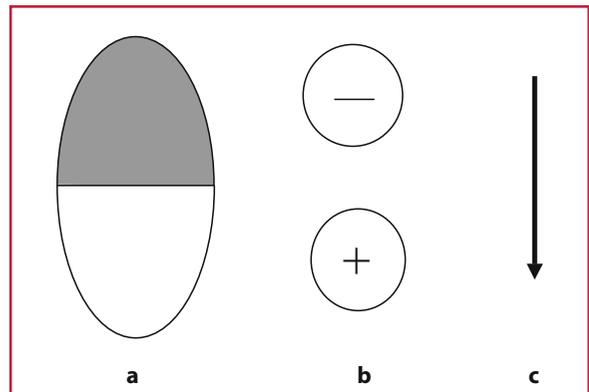
**Fig. 1.9** Direzione del processo di depolarizzazione-complesso QRS (in A) e di ripolarizzazione-onda T (in B) attraverso la parete miocardica dall'endocardio all'epicardio. Le due fasi hanno direzione e polarità opposte, e quindi vettori orientati nello stesso senso

Come è stato ricordato nel Capitolo 1, la propagazione dello stimolo elettrico nel cuore può essere rappresentata con dei dipoli e questi, per maggior semplicità, con dei vettori in cui la testa ha carica positiva e la coda carica negativa (Fig. 2.1).

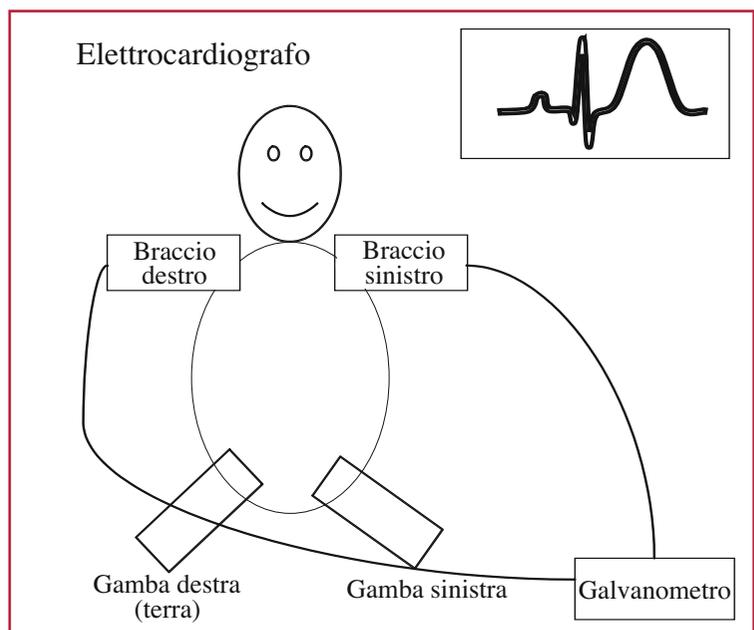
Se si posizionano degli elettrodi su determinate superfici del corpo, è possibile derivare tali fenomeni elettrici e trasmetterli ad un apparecchio di registrazione, un galvanometro: l'elettrocardiografo (Fig. 2.2).

I vettori che si allontanano dal punto di registrazione sono registrati come deflessioni negative; quelli che si avvicinano, come onde positive (Fig. 2.3).

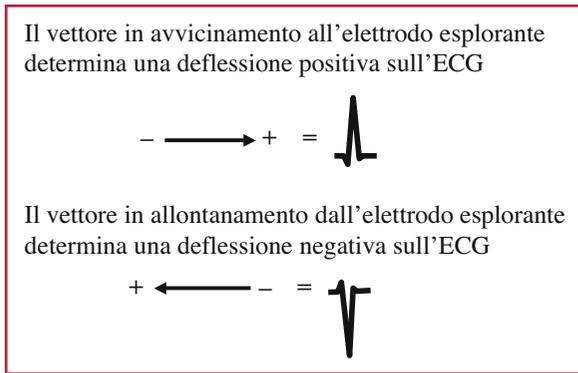
Se si pongono degli elettrodi disposti in punti differenti del campo elettrico e si connettono tra loro si ottiene una derivazione (Fig. 2.2).



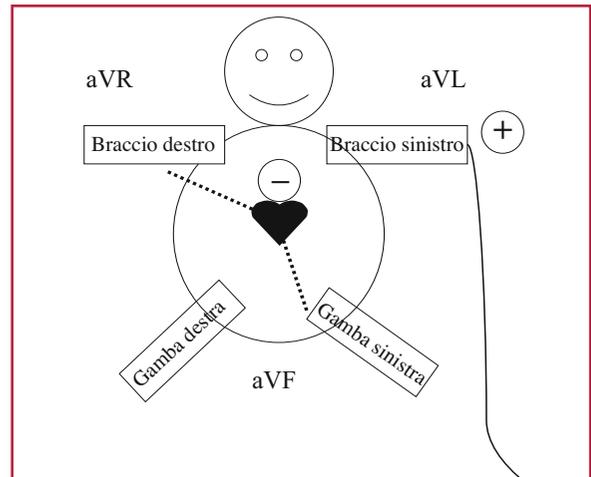
**Fig. 2.1** In **a** fibra miocardica parzialmente depolarizzata (area grigia), in **b** dipolo e in **c** vettore, che presenta coda negativa e testa positiva



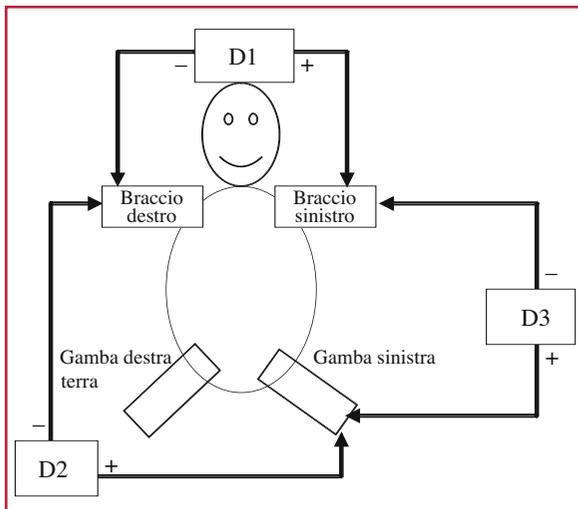
**Fig. 2.2** La connessione di due elettrodi, posizionati su due arti, con un galvanometro consente la registrazione dell'ECG, attraverso una derivazione



**Fig. 2.3** In alto vettore in avvicinamento all'elettrodo, con deflessione positiva. In basso vettore in allontanamento, con deflessione negativa



**Fig. 2.5** Schema delle derivazioni periferiche unipolari aumentate di Goldberger: esempio di registrazione da derivazione aVL (*linea continua*). L'arto superiore destro e inferiore sinistro sono "cortocircuitate" e costituiscono l'elettrodo indifferente idealmente posto al centro del torace e di potenziale zero (*linea punteggiata*). Le derivazioni aVR e aVF registrano con modalità analoga, cortocircuitando le altre derivazioni a rotazione. BD, braccio destro; BS, braccio sinistro; GD, gamba destra; GS, gamba sinistra



**Fig. 2.4** Rappresentazione concettuale delle derivazioni periferiche bipolari. Per i dettagli vedi testo

Le derivazioni abitualmente impiegate sono definite derivazioni bipolari (degli arti) ed unipolari (degli arti e precordiali). Nel primo caso esse collegano due elettrodi, uno positivo e l'altro negativo, posti in due punti differenti e ne registrano la differenza di potenziale (Fig. 2.4): se l'elettrodo positivo ha un potenziale maggiore di quello negativo l'elettrocardiografo registra una deflessione verso l'alto, o positiva, se inferiore registra una deflessione verso il basso, o negativa.

Nel caso delle derivazioni unipolari l'elettrodo esplorante, positivo, è connesso ad un altro elet-

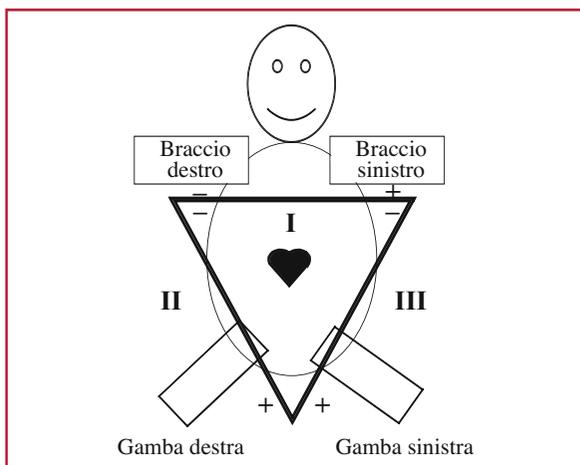
trodo, costituito dal cortocircuito degli elettrodi non esploranti, artificialmente mantenuto a livello zero ed idealmente posto al centro del cuore (Fig. 2.5).

### Derivazioni bipolari degli arti

Sono denominate D1, D2 e D3 e registrano le differenze di potenziale da due punti di osservazione posti a livello degli arti superiori e della gamba sinistra e collegati rispettivamente al polo positivo e negativo dell'elettrocardiografo. Per convenzione il braccio sinistro viene considerato positivo rispetto a quello destro e negativo nei confronti dell'arto inferiore sinistro; questo a sua volta è positivo rispetto al braccio destro. La gamba destra viene invece utilizzata come "terra" (Fig. 2.4). La polarità delle derivazioni è la seguente:

- D1: braccio sinistro (+) e braccio destro (-)
- D2: gamba sinistra (+) e braccio destro (-)
- D3: gamba sinistra (+) e braccio sinistro (-).

Le tre derivazioni, se collegate fra loro graficamente, disegnano un triangolo, detto di Einthoven, al cui centro è idealmente posto il cuore (Fig. 2.6).



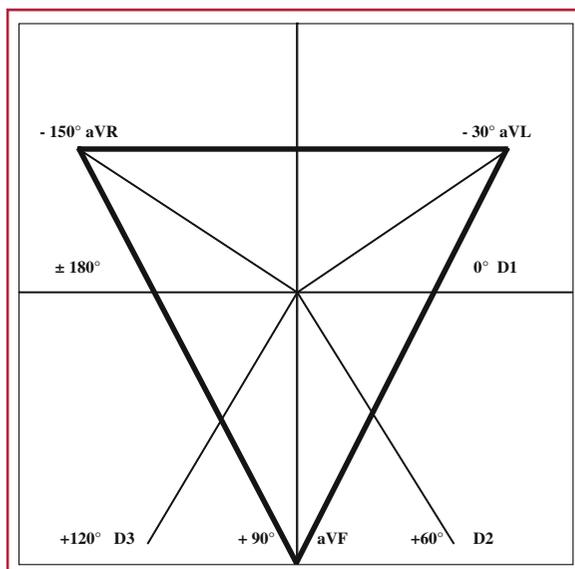
**Fig. 2.6** Derivazioni periferiche bipolari e schema del triangolo di Einthoven

### Derivazioni unipolari degli arti (o unipolari periferiche)

Le derivazioni bipolari registrano una differenza di potenziale; per meglio evidenziare il potenziale elettrico del cuore mediante un solo elettrodo vengono impiegate le derivazioni unipolari periferiche, utilizzando due elettrodi. Il primo, l'elettrodo indifferente, si trova in un punto a potenziale artificialmente mantenuto a zero rispetto al campo elettrico cardiaco ed è collegato al polo negativo dell'elettrocardiografo. L'elettrodo esplorante, positivo, rileva da angolazioni diverse le variazioni assolute di potenziale (Fig. 2.5). Come per le derivazioni bipolari, vengono utilizzati elettrodi posti agli arti superiori e all'inferiore sinistro. L'elettrodo che registra le variazioni di potenziale è posto ai vertici del triangolo di Einthoven, ossia rispettivamente in corrispondenza della spalla destra (VR, R=right), della spalla sinistra (VL, L=left) e dell'inguine sinistra (VF, F=foot).

L'ampiezza del potenziale così ottenuto è piccola e quindi è artificialmente amplificata: le sigle conseguenti sono quindi aVR, aVL, aVF, dove "a" sta per "aumentata". Le tre derivazioni periferiche bipolari e quelle unipolari vengano integrate fra loro disegnando il cosiddetto sistema esassiale (Fig. 2.7).

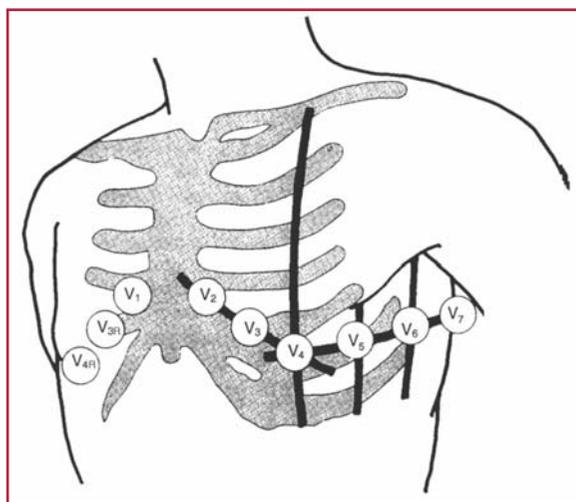
Per ottenere un corretto posizionamento, gli elettrodi sono identificabili con colori particolari: il rosso per l'arto superiore destro, il nero per l'arto inferiore destro, il giallo per l'arto superiore sinistro e il verde per l'arto inferiore sinistro.



**Fig. 2.7** Schema delle posizioni delle derivazioni periferiche bipolari e unipolari, riferite al triangolo di Einthoven: è il cosiddetto sistema esassiale. Per i dettagli vedi testo

### Derivazioni unipolari precordiali (o toraciche)

Si registrano ponendo l'elettrodo esplorante in punti convenzionali del torace (Fig. 2.8); l'elettrodo indifferente è invece lo stesso utilizzato nelle derivazioni unipolari periferiche. Esse rilevano i vettori attivi sul piano orizzontale.



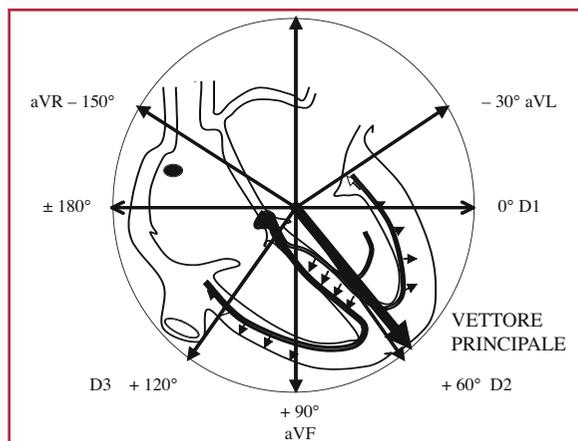
**Fig. 2.8** Posizione delle derivazioni precordiali o toraciche. Per i dettagli vedi testo. Da Slavich, 1997

Le derivazioni toraciche standard sono sei:

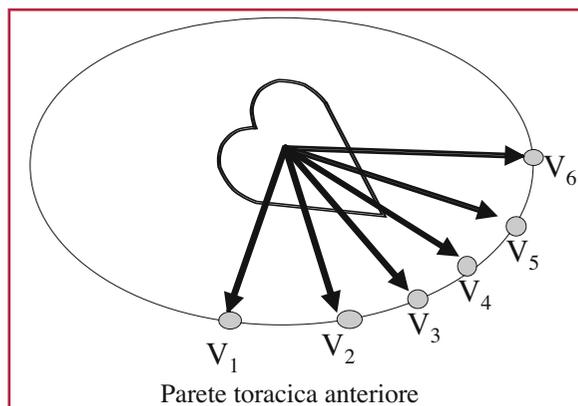
- V1: elettrodo in 4° spazio intercostale parasternale destro
- V2: elettrodo in 4° spazio intercostale parasternale sinistro
- V3: elettrodo in posizione intermedia fra V2 e V4
- V4: elettrodo in 5° spazio intercostale sinistro, sull'emiclaveare anteriore
- V5: elettrodo sulla linea di V4 sull'ascellare anteriore
- V6: elettrodo sulla linea di V4 sull'ascellare media. Possono essere anche utilizzate derivazioni aggiuntive, quali:
  - V7: elettrodo sulla linea di V4 sull'ascellare posteriore
  - V8: elettrodo sulla linea di V4 sull'angolo scapolare sinistro
  - V9: elettrodo sulla linea di V4, in sede paravertebrale
  - V3R e V4R, speculari, a destra, di V3 e V4.

Ogni derivazione analizza il cuore da un unico punto di vista: D1, D3 e aVF osservano la parete inferiore, D1 e aVL “vedono” la parete laterale sinistra, aVR “vede” gli orifizi atrioventricolari (lo stimolo si allontana da questi orifizi diffondendosi dalla base all'apice del cuore e quindi aVR è quasi sempre negativa) (Fig. 2.9). Le derivazioni precordiali da V1 a V3 esplorano l'attivazione del ventricolo destro e del setto interventricolare, la V4 dell'apice, la V5 e V6 la parete laterale. Le derivazioni da V7 a V9 la parete posterolaterale, mentre le derivazioni V3R e V4R registrano l'attività elettrica del ventricolo destro (Fig. 2.10).

Per una corretta registrazione ed interpretazione dell'ECG va seguita punto per punto la sequenza di azioni illustrate nella Tabella 2.1.



**Fig. 2.9** Visione sul piano frontale del cuore usando le derivazioni periferiche. Ogni derivazione analizza il cuore da un unico punto di vista. D2, D3 e aVF osservano la parete inferiore, D1 e aVL la parete laterale sinistra, mentre aVR esplora gli orifizi atrioventricolari



**Fig. 2.10** Le derivazioni precordiali “vedono” il cuore su un piano orizzontale

**Tabella 2.1** Check-list per l'esecuzione dell'elettrocardiogramma

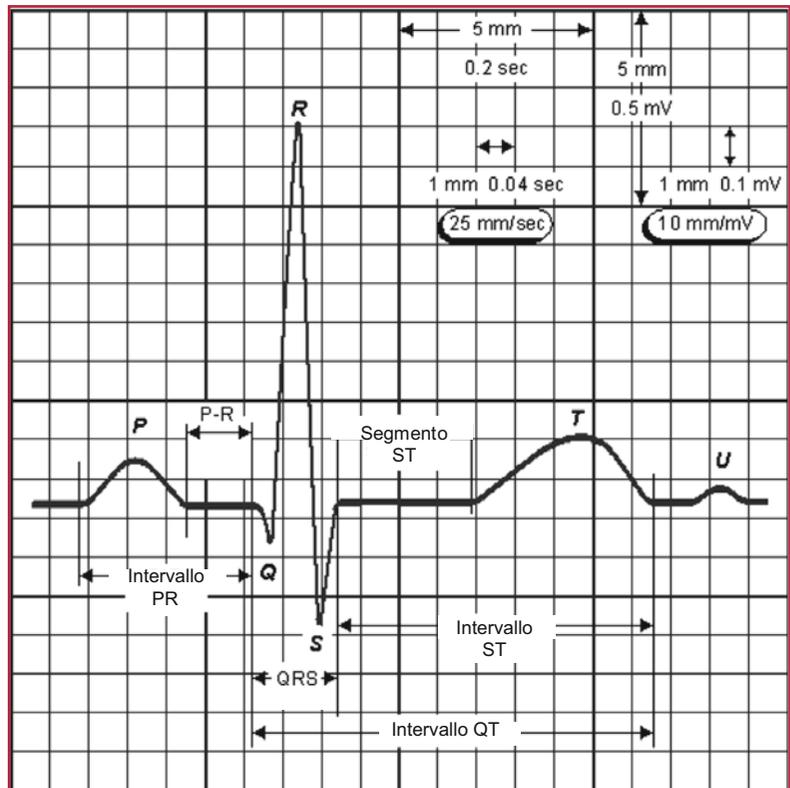
1. Preparazione del materiale necessario:
  - a. Quattro cinghiette a fermaglio (derivazioni periferiche) e sei copette a suzione (derivazioni precordiali), connesse al cavo di registrazione dell'elettrocardiografo;
  - b. Alcool per la detersione della cute o, in alternativa, gel conduttore per elettrodi, per ridurre la resistenza elettrica della cute e ridurre i possibili artefatti di registrazione.
2. Preparazione del paziente:
  - a. Impiegare un batuffolo di cotone imbevuto di alcool per sgrassare la cute dei polsi, delle caviglie e del torace. In alternativa può essere utilizzata pasta conduttrice. Nel caso di paziente uomo con torace villosa e difficoltà al posizionamento degli elettrodi eseguire rasatura;
  - b. Posizionamento degli elettrodi (vedi testo).
3. Registrazione del tracciato elettrocardiografico:
  - a. Verifica della corretta velocità di scorrimento della carta (25 mm/sec);
  - b. Per ogni blocco di derivazioni (3 o 6 in base al tipo di elettrocardiografo) premere il tasto di taratura per verificare che sia correttamente programmata su 10mV o, in alternativa, che risulti su carta;
  - c. Registrare per prime le derivazioni periferiche D1-D2-D3, poi le periferiche unipolari aVR-aVL-aVF. Successivamente registrare le derivazioni precordiali standard da V1 a V6 ed eventuali derivazioni precordiali aggiuntive.
4. Al termine della registrazione lavare gli elettrodi e spegnere l'elettrocardiografo, verificando la connessione a rete per mantenere la batteria in carica. La corretta manutenzione dell'elettrocardiografo è indispensabile per poter continuare a registrare elettrocardiogrammi di buona qualità.

L'elettrocardiografo è un galvanometro tarato in modo che una deflessione di 1 cm di ampiezza corrisponda a 1 mV di voltaggio. La registrazione dell'elettrocardiogramma (ECG) è effettuata su carta millimetrata, fornita di quadratini di 1 mm di lato, con velocità standard di scorrimento di 25 mm/s: a tale velocità ogni quadratino corrisponde a 40 ms (Fig. 3.1). La registrazione dell'ECG va pertanto preceduta dalla taratura dello strumento per verificarne il funzionamento e l'onda quadra così ottenuta va registrata su tracciato.

L'ECG è composto da una successione di deflessioni, l'onda P, il complesso QRS e l'onda T, separate da due tratti isoeletrici, l'intervallo PR e il tratto ST.

## Onda P

L'onda P è la rappresentazione grafica dell'attivazione degli atri; ha una durata di 50–120 ms ed un voltaggio massimo di 2,5 mm (usualmente in D2).



**Fig. 3.1** ECG con le singole componenti e loro rapporti temporali