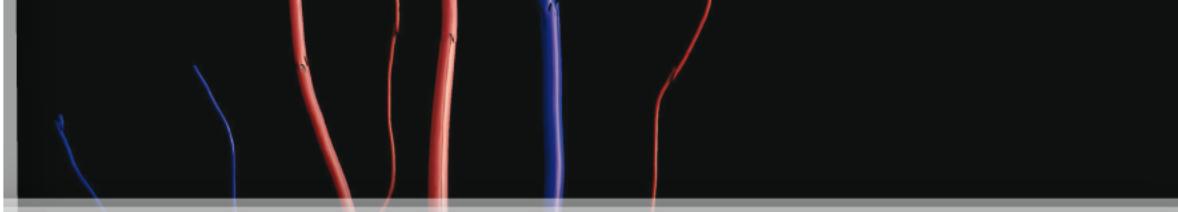


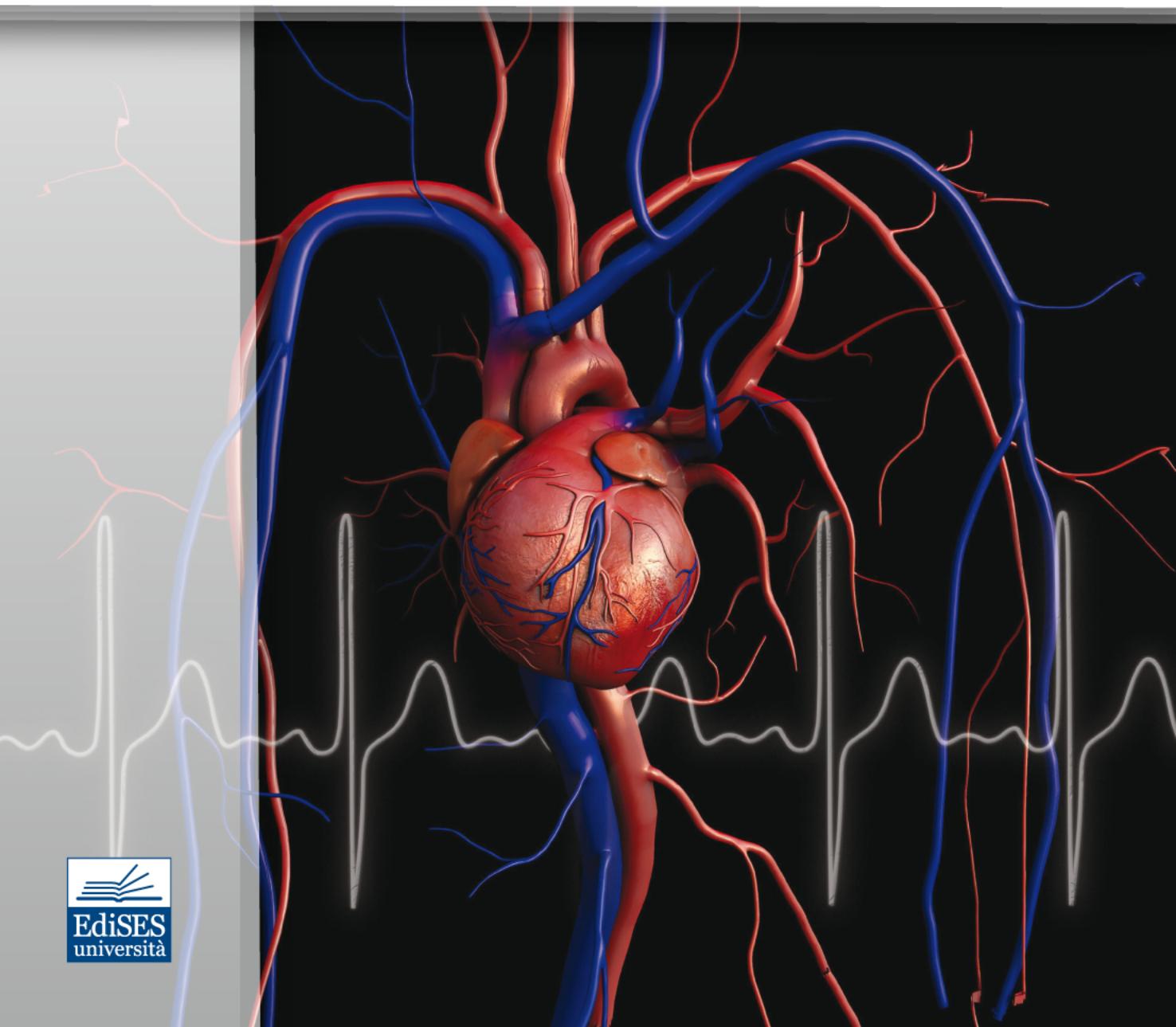
Comprende versione

ebook



P. Pagliaro • C. Penna

# Fisiologia cardiovascolare





# Accedi ai contenuti digitali

**Espandi le tue risorse**  
un libro che **non pesa**  
e si **adatta** alle dimensioni  
del **tuoi lettore!**

▼  
COLLEGATI AL SITO  
**EDISESUNIVERSITA.IT**

▼  
ACCESSI AL  
**MATERIALE DIDATTICO**

▼  
SEGUI LE  
**ISTRUZIONI**

Utilizza il codice personale contenuto nel riquadro per registrarti al sito **edisesuniversita.it** e accedere ai contenuti digitali.

Scopri il tuo **codice personale** grattando delicatamente la superficie

Il volume NON può essere venduto, né restituito, se il codice personale risulta visibile.  
L'accesso ai contenuti digitali sarà consentito per 18 mesi.

Per attivare i **servizi riservati**, collegati al sito **edisesuniversita.it** e segui queste semplici istruzioni

## Se sei registrato al sito

- clicca su *Accedi al materiale didattico*
- inserisci email e password
- inserisci le ultime 4 cifre del codice ISBN, riportato in basso a destra sul retro di copertina
- inserisci il tuo **codice personale** per essere reindirizzato automaticamente all'area riservata

## Se non sei già registrato al sito

- clicca su *Accedi al materiale didattico*
- registrati al sito o autenticati tramite facebook
- attendi l'email di conferma per perfezionare la registrazione
- torna sul sito **edisesuniversita.it** e segui la procedura già descritta per *utenti registrati*



I contenuti digitali sono accessibili dalla propria **area riservata** secondo la procedura indicata nel frontespizio.

Dalla sezione **materiali e servizi** della tua area riservata potrai accedere all'**Ebook**, ovvero la versione digitale del testo in formato epub, standard dinamico che organizza il flusso di testo in base al dispositivo sul quale viene visualizzato. Fruibile mediante l'applicazione gratuita BookShelf, consente una visualizzazione ottimale su lettori e-reader, tablet, smartphone, iphone, desktop, Android, Apple e Kindle Fire.

L'accesso ai contenuti digitali sarà consentito per **18 mesi**.

# FISIOLOGIA CARDIOVASCOLARE

Pasquale Pagliaro  
Claudia Penna



## **Fisiologia cardiovascolare**

Pasquale Pagliaro, Claudia Penna – Università degli Studi di Torino

Copyright © 2022 EdiSES edizioni S.r.l. – Napoli

9 8 7 6 5 4 3 2 1 0  
2026 2025 2024 2023 2022

Le cifre sulla destra indicano il numero e l'anno dell'ultima ristampa effettuata

*A norma di legge è vietata la riproduzione, anche parziale, del presente volume o di parte di esso con qualsiasi mezzo.*

L'Editore

*L'Editore ha effettuato quanto in suo potere per richiedere il permesso di riproduzione del materiale di cui non è titolare del copyright e resta comunque a disposizione di tutti gli eventuali avenuti diritto*

*Progetto grafico e fotocomposizione:*

ProMedia Studio di A. Leano

*Stampato presso:*

PrintSprint S.r.l. – Napoli

*Per conto della:*

EdiSES edizioni S.r.l. – Piazza Dante 89 – Napoli

[www.edises.it](http://www.edises.it) [assistenza.edises.it](mailto:assistenza.edises.it)

ISBN 978 88 3623 081 5

---

I curatori, l'editore e tutti coloro in qualche modo coinvolti nella preparazione o pubblicazione di quest'opera hanno posto il massimo impegno per garantire che le informazioni ivi contenute siano corrette, compatibilmente con le conoscenze disponibili al momento della stampa; essi, tuttavia, non possono essere ritenuti responsabili dei risultati dell'utilizzo di tali informazioni e restano a disposizione per integrare la citazione delle fonti, qualora incompleta o imprecisa.

Realizzare un libro è un'operazione complessa e nonostante la cura e l'attenzione poste dagli autori e da tutti gli addetti coinvolti nella lavorazione dei testi, l'esperienza ci insegna che è praticamente impossibile pubblicare un volume privo di imprecisioni. Saremo grati ai lettori che vorranno inviarci le loro segnalazioni e/o suggerimenti migliorativi sulla piattaforma [assistenza.edises.it](mailto:assistenza.edises.it)

# Prefazione

La ricerca cardiovascolare è in continua espansione e i meccanismi fisiologici alla base del funzionamento dell'apparato cardiovascolare aumentano sempre più. Nel tentativo di aiutare gli studenti di medicina e di altre discipline sanitarie ad orientarsi in questo vasto campo delle scienze biomediche, abbiamo pensato di scrivere un libro semplice con una ricca iconografia. Sebbene il libro rappresenti solo un resoconto dei concetti di base della fisiologia cardiovascolare, contiene sicuramente più del minimo necessario per soddisfare le conoscenze richieste ad uno studente in discipline pre-cliniche.

Il testo, esposto in maniera lineare e conciso, è corredata da immagini con ampie didascalie per aiutare lo studente a comprendere i concetti discussi. Particolare rilevo è stato dato alla fisiologia degli endoteli, al circolo coronarico e all'elettrocardiografia, nonché alle emergenti differenze fra i sessi nella fisiologia e fisiopatologia cardiovascolare alle quali è stato dedicato il capitolo finale. Nella maggior parte dei casi il capitolo si chiude con l'inserto di approfondimento “Considerazioni fisiopatologiche e cliniche”, in cui gli argomenti affrontati coinvolgono temi trattati in più parti del testo allo scopo di aiutare lo studente ad integrare i concetti e motivarne il processo di apprendimento. In appendice al volume abbiamo inserito una serie di domande a risposta multipla per consentire allo studente una autovalutazione in vista dell'esame.

Vogliamo dedicare questo volume a chi ci ha insegnato la fisiologia cardiovascolare, il prof. Gianni Losano, che ci ha lasciato l'anno scorso. Il presente libro rappresenta una sintesi e rielaborazione e, in alcuni casi, un aggiornamento del libro “*Fisiologia cardiovascolare: un approccio integrato*”, scritto dal prof. Losano insieme ad altri autori qualche anno fa (ISBN:9788792982063; River Publisher). Oltre al prof. Pagliaro, fra gli autori del precedente libro vi erano il dr. Amedeo Chiribiri e la prof. Raffaella Rataldo, che gli autori ringraziano.

Lo scopo di questo volume è quello di rappresentare una introduzione ai concetti di base della fisiologia cardiovascolare per poter superare l'esame in discipline pre-cliniche. Speriamo di esserci riusciti e ci scusiamo se qualche volta nel tentativo di essere semplici ne ha sofferto la rigorosità, anche se abbiamo fatto di tutto per mantenerla.



# Indice generale

1

## Generalità sul cuore e sul sistema circolatorio 1

Come funziona il sistema cardiovascolare 1

Il sistema cardiovascolare è organizzato in sezioni e distretti 1

Condizioni necessarie per i movimenti del sangue nell'apparato cardiovascolare 3

**Le sezioni dell'apparato cardiovascolare 3**

Le diverse sezioni del sistema circolatorio svolgono ruoli diversi 6

**I distretti dell'apparato cardiovascolare 6**

**Il contenuto di sangue nelle varie sezioni dell'apparato cardiovascolare 7**

**CONSIDERAZIONI FISIOPATOLOGICHE E CLINICHE 8**

2

## I tessuti funzionali del cuore e le proprietà elettro-meccaniche del miocardio 11

**Le proprietà dei tessuti funzionali del cuore 11**

L'eccitabilità o batmotropismo e il potenziale d'azione del cardiomiocita di lavoro 13

**Il potenziale d'azione del cardiomiocita 15**

L'automatismo o cronotropismo e il potenziale d'azione delle cellule del nodo del seno 19  
La conduttività o dromotropismo e i sistemi di conduzione del cuore 21

Le proprietà contrattili del miocardio di lavoro 23

**La contrattilità cardiaca e le isoforme della meromiosina pesante 26**

**L'accoppiamento eccitamento-contrazione 28**

**CONSIDERAZIONI FISIOPATOLOGICHE E CLINICHE 32**

3

## La regolazione della forza di contrazione del cuore 35

Regolazione intrinseca eterometrica: la legge di Frank-Starling 35

Regolazione intrinseca omeometrica: fenomeno di Anrep e fenomeno di Bowditch o della scala 36

**Regolazione estrinseca nervosa e umorale 39**

La regolazione nervosa 39

La regolazione umorale 39

**Effetto combinato della regolazione eterometrica e omeometrica 39**

**Sforzo richiesto al cuore in relazione al volume telediastolico ventricolare 41**

**CONSIDERAZIONI FISIOPATOLOGICHE E CLINICHE 42**

4

## Il metabolismo e il lavoro del cuore 45

**Il metabolismo del miocardio 45**

**Il lavoro del cuore 45**

**Il rendimento del cuore 47**

**CONSIDERAZIONI FISIOPATOLOGICHE E CLINICHE 47**

5

## L'attività elettrica del cuore e l'elettrocardiogramma 49

Definizione di elettrocardiogramma e teoria del dipolo 49

**La morfologia e il significato delle onde elettrocardiografiche 54**

Le onde elettrocardiografiche 54

Segmenti ed intervalli 57

**Le derivazioni elettrocardiografiche 59**

Le derivazioni elettrocardiografiche sul piano frontale e l'asse elettrico del cuore 59  
Le derivazioni sul piano orizzontale 62

**CONSIDERAZIONI FISIOPATOLOGICHE E CLINICHE 66**

**6 La pompa cardiaca 77**

**Il cuore è un generatore di gradiente di pressione 77**

Le fasi del ciclo cardiaco 77

**La curva di pressione atriale 79**

**Il ciclo cardiaco del cuore destro 80**

**Variazioni della frequenza cardiaca e durata delle fasi del ciclo cardiaco 80**

**Il ruolo emodinamico della sistole atriale 81**

**La curva di gettata sistolica 81**

**I toni e i soffi cardiaci e i focolai di auscultazione 82**

**I volumi cardiaci e la frazione di eiezione 84**

**CONSIDERAZIONI FISIOPATOLOGICHE E CLINICHE 87**

**7 La gettata cardiaca e il ritorno venoso 89**

**La gettata cardiaca 89**

**I fattori che determinano il ritorno venoso al cuore 90**

**Analisi di Guyton della gettata cardiaca e del ritorno venoso al cuore 91**

La pressione venosa centrale 91

**Gettata cardiaca e ritorno venoso ad un ventricolo devono essere uguali 94**

**CONSIDERAZIONI FISIOPATOLOGICHE E CLINICHE 96**

**8 La pressione e il polso arterioso 99**

**Il dispositivo e la legge di Poiseuille 99**

**I fattori meccanici della pressione arteriosa 101**

**Le resistenze vascolari e la loro misurazione 102**

**La regolazione delle resistenze vascolari 103**

**Disposizione in parallelo delle resistenze distrettuali 104**

**Il mantice arterioso e la pressione arteriosa 104**

**L'onda sfigmica 105**

La velocità di propagazione e la lunghezza dell'onda di pressione 105

Le oscillazioni di I, II e III ordine della pressione arteriosa 106

**Il polso arterioso 108**

**Il polso venoso 108**

**9 L'edominamica generale e il microcircolo 111**

**L'energia totale dei fluidi 111**

**La viscosità del sangue 112**

**Il moto laminare e il moto turbolento 115**

**Le caratteristiche visco-elastiche e contrattili dei vasi 116**

**La regolazione miogena del raggio dei vasi di resistenza 117**

**Il flusso del sangue secondo il modello a cascata d'acqua 118**

**L'onda di flusso lungo l'albero arterioso 119**

**La microcircolazione 120**

**Formazione della linfa 122**

I vasi linfatici 123

Il flusso linfatico 123

**CONSIDERAZIONI FISIOPATOLOGICHE E CLINICHE 123****10****Il controllo nervoso dell'apparato cardiovascolare e la regolazione della pressione arteriosa 127****Il controllo nervoso dell'apparato cardiovascolare 127**L'innervazione del sistema cardiovascolare 127  
Azione del simpatico e del vago sul cuore 128  
Azione del simpatico e di alcune fibre parasimpatiche sui vasi 131  
I recettori simpatici e parasimpatici sull'apparato cardiovascolare 131  
I centri nervosi di controllo dell'apparato cardiovascolare 134**Il controllo nervoso riflesso dell'apparato cardiovascolare 136**

Il controllo del volume ematico e il riflesso di Bainbridge 139

**La regolazione della pressione arteriosa 140**

I meccanismi di controllo della pressione arteriosa 140

**CONSIDERAZIONI FISIOPATOLOGICHE E CLINICHE 143****11****La regolazione umorale ed endoteliale 147****Le catecolamine 147**

11 147

**I fattori endoteliali 148**

Altri fattori umorali che agiscono sull'apparato cardiovascolare 150

**Il sistema renina-angiotensina-aldosterone 151****L'apelinina e il recettore APJ 153****12****La circolazione coronarica e la sua regolazione 155****La circolazione coronarica 155****Le resistenze del circolo coronarico 156**

Meccanismi di regolazione delle resistenze vascolari coronariche 158

**CONSIDERAZIONI FISIOPATOLOGICHE E CLINICHE 164****13****I circoli distrettuali 169****La circolazione cerebrale 169****La circolazione splanchnica 170****La circolazione nel muscolo scheletrico 171****La circolazione renale 172****La circolazione cutanea 173****14****La circolazione polmonare 175****Le caratteristiche della circolazione polmonare 175**

Le variazioni di volume del polmone e le resistenze al flusso ematico polmonare 176

**La regolazione chimica e nervosa del circolo polmonare 178****CONSIDERAZIONI FISIOPATOLOGICHE E CLINICHE 180****15****Gli adattamenti cardiovascolari in fisiologia e patologia 181****Esercizio fisico 181****Reazione di allarme e di difesa 182****Risposta alle emorragie 183****Il danno da ischemia e riparazione 184**

Il pre-condizionamento e il post-condizionamento ischemico 184



## VIII INDICE GENERALE

Il pre-condizionamento e il post-condizionamento farmacologico 186  
Il condizionamento remoto 186

**L'ipertensione arteriosa 186**



**16**

**Differenze fra i sessi nella fisiopatologia dell'apparato cardiovascolare 189**

Effetti degli estrogeni nella fisiopatologia cardiovascolare 189

Elettrofisiologia cardiaca 190

**Funzione endoteliale 191**

Via di segnalazione ossido nitrico-dipendente 192  
Iperpolarizzazione endotelio-dipendente 192

**Sistema Renina-Angiotensina (RAS) 193**

Regolazione del calcio 193

**CONSIDERAZIONI FISIOPATOLOGICHE E CLINICHE 195**



**Autovalutazione 199**



**Indice analitico 205**

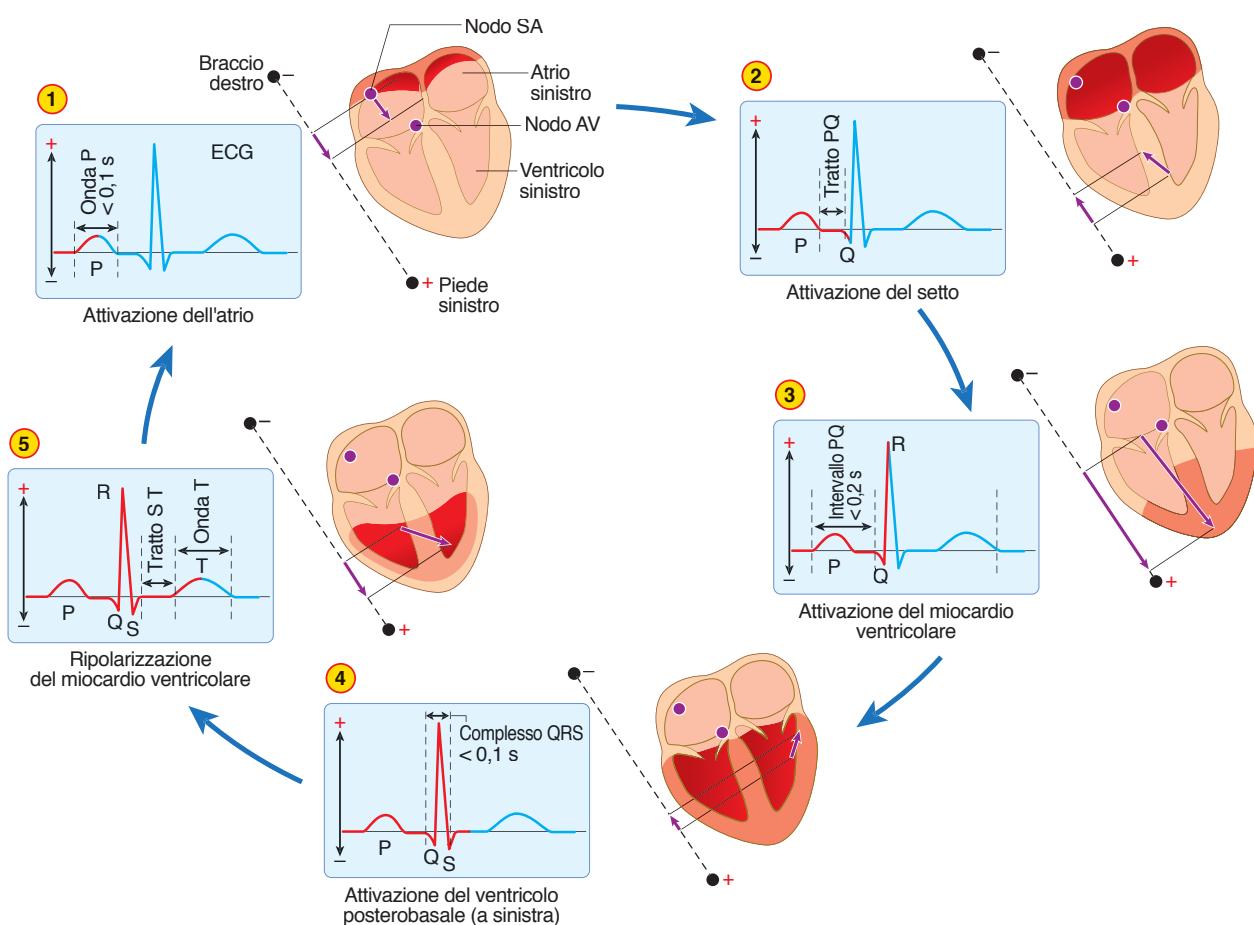


A volte si apprezza un'**onda U**, non sempre presente, un'onda di basso voltaggio che segue talora l'onda T e che attribuita alla ripolarizzazione dei muscoli papillari o cellule della rete del Purkinje, le quali evidentemente hanno un potenziale d'azione che dura molto e si ripolarizzano per ultime.

La ripolarizzazione degli atri dovrebbe essere indicata da un'**onda  $T_a$** , che si ritiene sia nascosta nel complesso ventricolare. Tuttavia, nei casi in cui vi è un blocco atrioventricolare (vedi sotto) dove il QRS interviene tardivamente rispetto all'onda P, non si apprezza nessuna onda  $T_a$ . Come detto in precedenza, la ripolarizzazione è fenomeno disorganizzato che crea dei campi elettrici con voltag-

gi più bassi. Qui i voltaggi sono particolarmente bassi perché la massa atriale è modesta rispetto alla massa dei ventricoli e quindi i voltaggi sono poco apprezzabili nella traccia dell'ECG. In altre parole, l'onda  $T_a$  normalmente non esiste.

La **Figura 5.8** mostra come la depolarizzazione e la ripolarizzazione generino le diverse onde registrabili sull'ECG in una derivazione in cui l'elettrodo esplorante è posto sulla superficie corporea a sinistra del soggetto, come potrebbe essere la II derivazione di Einthoven (D2, vedi sotto). Le frecce viola sulla figura rappresentano il vettore del dipolo che cambia direzione e verso momento per momento e ne viene evidenziata la sua proiezione sull'asse di derivazione della D2.



**FIGURA 5.8. Correlazioni delle onde ECG (II derivazione) con l'orientamento del vettore di depolarizzazione o ripolarizzazione.** Le frecce in viola rappresentano il vettore e la sua proiezione sull'asse della II derivazione. Nel complesso elettrocardiografico registrato si vedono in rosso le varie onde che vengono disegnate sul tracciato elettrocardiografico in sequenza.

In un complesso EGC registrato dalla parte sinistra del corpo l'attivazione della parete libera dei due ventricoli dà origine all'onda R che è positiva a causa del maggiore spessore della parete del ventricolo sinistro (**Figura 5.9**) e quindi della maggiore lunghezza del vettore corrispondente che ha la punta rivolta a sinistra. Con un ragionamento analogo si può comprendere la negatività dell'onda *q* dove il vettore che rappresenta la depolarizzazione della componente più spessa del setto ha la punta rivolta verso destra del paziente. Anche la depolarizzazione della base dei ventricoli ha la punta del vettore risultante rivolta verso destra e genera l'onda *s*. Quindi, come si vede meglio in **Figura 5.10** (vettorcardiogramma), la punta del vettore risultante cambia momento per momento man mano che la depolarizzazione procede nei due ventricoli.

Con la **vettorcardiografia** si disegnano delle anse durante i fenomeni di depolarizzazione e ripolarizzazione delle varie parti del cuore. Ogni punto dell'ansa rappresenta la punta del vettore che parte dall'origine dell'ansa e si muove nello spazio per poi estinguersi quando è tutto depolarizzato o tutto ripolarizzato. L'ansa vettorcardiografica ci indica meglio dell'ECG il variare momento per momento di intensità, direzione e verso del vettore durante la depolarizzazione come anche durante la ripolarizzazione. In **Figura 5.10A** sono rappresentate la posizione degli elettrodi e le anse registrabili durante

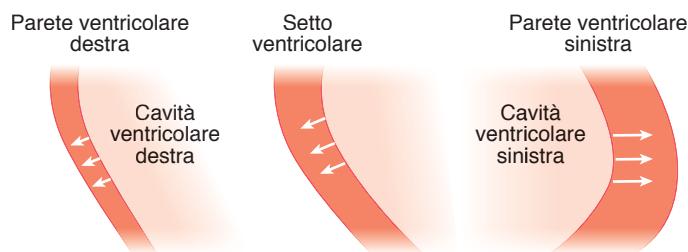
tutto il ciclo cardiaco (anse della P, del QRS e della T). In **Figura 5.10B** è rappresentata l'ansa con la solo depolarizzazione dei ventricoli (ansa del QRS) con i tempi del vettore che gira in senso antiorario.

Con l'elettrocardiografia, nel caso della depolarizzazione ventricolare, riusciamo ad avere solo una idea dei *tre vettori principali* (depolarizzazione del setto, della parete libera dei ventricoli e della base dei ventricoli) che verranno a generare il qRs. In realtà il vettore di depolarizzazione cambia continuamente direzione, verso e intensità, come meglio rappresentato dal vettorcardiogramma (**Figura 5.10**).

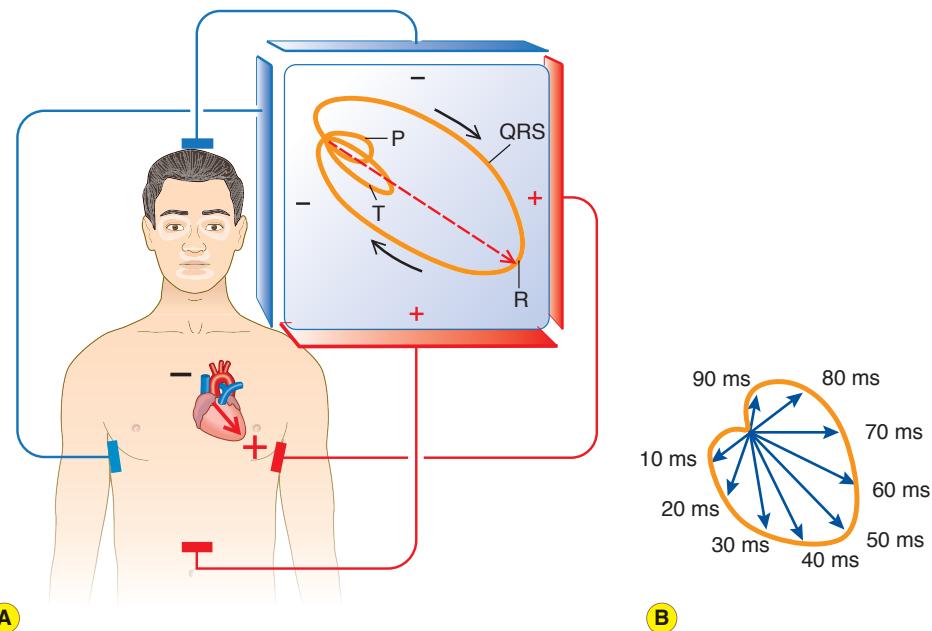
## ■ Segmenti ed intervalli

I *segmenti* sono delle linee orizzontali comprese fra due onde elettrocardiografiche e rappresentano un momento in cui non è normalmente registrabile un dipolo. Gli *intervalli* comprendono i segmenti e una o più onde e sono dei tempi molto importanti nella pratica clinica (**Figura 5.7**).

L'**intervallo PR** (o PQ nel caso l'onda Q sia presente) è compreso tra l'inizio dell'onda P e l'inizio del complesso QRS e la sua durata normale è compresa tra 0,12 e 0,20 s con valore medio e modale di 0,16 s. L'intervallo PR corrisponde al tempo di conduzione atrio-ventricolare. Quando questo tempo è maggiore di 0,20 s, si parla di blocco atrioventricolare di I grado (vedi sotto).



**FIGURA 5.9. L'attivazione simultanea dei due ventricoli.** L'attivazione del setto avviene per prima è determina l'onda *q*, in una derivazione in cui l'Ee è posto a sinistra. A questa segue l'attivazione della parete non settale dei ventricoli che avviene simultaneamente a destra e a sinistra. In entrambi i casi la depolarizzazione procede dalla superficie sottoendocardica a quella sottoepicardica. Tuttavia, i vettori di sinistra sono molto più ampi per la maggior massa ventricolare, per cui la somma algebrica dei vettori di depolarizzazione dei ventricoli determina un vettore rivolto a sinistra che determinerà a sua volta una ampia onda R. Per semplicità possiamo trascurare quanto avviene nel ventricolo destro e considerare nei nostri ragionamenti come se fosse presente solo il ventricolo sinistro. Ovviamente poi in patologia le cose possono cambiare (vedi per esempio le extrasistoli ventricolari).



**FIGURA 5.10. Vettorecardiogramma.** **A:** Posizione degli elettrodi per la registrazione del vettorecardiogramma. Per mezzo di un oscilloscopio si registra la posizione della punta del vettore momento per momento durante un ciclo cardiaco. L'ansa disegnata dalla punta dei vettori è detta *ansa vettorecardiografica*. Si vedono l'ansa della P, del QRS e della T che possono essere registrati con l'ECG. Qui è rappresentato il solo vettore al momento dell'apice della R dell'ECG (freccia rossa tratteggiata). **B:** Orientamento dei vettori che, istante per istante, descrivono l'attivazione dei ventricoli. Qui il vettore ruota in senso antiorario, ma in altri casi potrebbe ruotare in senso orario. La vettorecardiografia, disegnando delle anse durante i fenomeni di depolarizzazione e ripolarizzazione, ci indica meglio il variare momento per momento di intensità, direzione e verso dei vettori. Con l'elettrocardiografia, nel caso della depolarizzazione ventricolare, riusciamo ad avere una idea, ad esempio, dei *tre vettori principali* che danno origine al qRs, dove in sequenza l'onda q rappresenta la depolarizzazione del setto (primi 30-35 ms), l'onda R la depolarizzazione della parete libera dei ventricoli (dal 35esimo al 75esimo ms) e l'onda s la depolarizzazione della base dei ventricoli (dal 75esimo al 90esimo ms).

L'**intervallo QT** è compreso tra l'inizio del complesso QRS e la fine dell'onda T e viene indicato con il termine di *sistole elettrica*. La sua durata è di circa 0,43 – 0,44 s ed è molto influenzata dalla frequenza cardiaca, per cui nella pratica clinica si usa il cosiddetto *QT corretto* (QTc, vedi sotto).

A differenza degli intervalli, la durata dei segmenti ha poca importanza clinica, ma ha molta più rilevanza lo slivellamento di uno rispetto all'altro, poiché indica che vi sono dei potenziali e dei dipoli registrabili in momenti in cui non vi dovrebbero essere.

Il **segmento PR** è compreso tra la fine dell'onda P e l'inizio del complesso QRS. La sua durata dipende da quella dell'onda P e dalla velocità di conduzione atrio-ventricolare.

Il **segmento ST** è compreso tra la fine del complesso QRS, individuata come *punto J*, e l'inizio dell'onda T. Dato l'inizio progressivo dell'onda T e l'andamento sinuoso del segmento, la sua durata non può essere definita. In clinica si parla di *sopra- o sotto-slivellamento* dell'ST che è considerato un segno di diverse patologie, ma in particolare di sofferenza ischemica del miocardio (vedi sotto).

**Il QT corretto:** siccome la durata del QT è fortemente influenzata dalla frequenza cardiaca, nel contesto clinico si utilizza il cosiddetto QT corretto (QTc), che può essere più corto o più lungo del solito in alcune patologie familiari (vedi QT corretto e Sindromi del QT lungo e corto). L'intervallo QT è allungato anche con alcuni farmaci e nelle patologie

**TABELLA 5.1** Valori normali e patologici del QTc nei soggetti maschi, femmine e under 15

Valori QTc (msec)	Maschi	Donne	1-15 anni
<b>Normali</b>	< 430	< 450	< 440
<b>Borderline</b>	431-450	451-470	441-460
<b>Prolungati</b>	> 450	> 470	> 460

più comuni come l'insufficienza coronarica e può essere accorciato in caso di sovradosaggio di glucosidi cardioattivi. Sono state proposte diverse formule per correggere gli intervalli QT in funzione della frequenza cardiaca (Fc), ciascuna con limitazioni (ad es. formule di Bazett, Fridericia, Hodges e Framingham). La formula di Bazett  $QTc = QT/\sqrt{RR}$  è una delle formule più utilizzate per calcolare il QTc. Questo calcolo "corregge" la variazione della lunghezza del QT dovuta alle variazioni della Fc. Quando l'intervallo QT è espresso in millisecondi e l'intervallo RR in secondi, secondo la formula di Bazett i valori normali di QTc sono: tra 350-360 (limite inferiore) e 440-450 (limite superiore) nei maschi e 360-370 (limite inferiore) e 460-470 (limite superiore) nelle donne, rispettivamente; al disotto dei 15 anni non vi sono differenze fra i due sessi (Tabella 5.1).

## Le derivazioni elettrocardiografiche

Le derivazioni elettrocardiografiche possono essere sul piano frontale e sul piano orizzontale. Le derivazioni sul piano frontale si dividono in bipolari degli arti e unipolari degli arti, mentre quelle sul piano orizzontale sono unipolari e sono dette derivazioni precordiali o toraciche.

### Le derivazioni elettrocardiografiche sul piano frontale e l'asse elettrico del cuore

Le **derivazioni bipolari degli arti**, dette anche derivazioni standard o derivazioni di Einthoven, vengono distinte in I, II e III derivazione, che regi-

strano la differenza delle variazioni di potenziale tra due arti:

- la **I derivazione** (D1) si ottiene collegando il braccio sinistro con un polo del galvanometro considerato positivo e il braccio destro con l'altro polo considerato negativo;
- la **II derivazione** (D2) si ottiene invece collegando la gamba sinistra con il polo positivo e il braccio destro con il polo negativo;
- la **III derivazione** (D3), infine, si ottiene collegando la gamba sinistra, sempre positiva, con un polo e il braccio sinistro, che in questa registrazione risulta essere negativo, con l'altro polo.

I punti sui quali abbiamo posto gli elettrodi possono essere considerati gli angoli di un triangolo equilatero, che viene detto triangolo di Einthoven (Figura 5.11). Ciascun lato del triangolo può essere considerato l'asse di una derivazione. Utilizzando il triangolo di Einthoven, è possibile identificare con buona approssimazione l'orientamento del *vettore elettrico del cuore* sul piano orizzontale del torace (vedi *Determinazione dell'asse elettrico medio manifesto*).

Le **derivazioni unipolari degli arti** registrano le variazioni di potenziale di un singolo arto (braccio destro, braccio sinistro, gamba sinistra) rispetto ad un punto a potenziale zero. Per ottenere un potenziale zero si usa la metodica di Wilson che unisce i cavi provenienti dai tre arti in un *centrale terminale* o *terminale centrale* (TC) da dove "fuoriesce" un potenziale zero (Figura 5.12). Il TC viene collegato al polo negativo del galvanometro, mentre al polo positivo viene collegato di volta in volta l'elettrodo esplorante posto su uno degli arti ottenendo così le derivazioni VR (voltaggio right - dal braccio destro), VL (voltaggio left - dal braccio sinistro) e VF (voltaggio foot - dalla gamba sinistra). Le derivazioni attualmente in uso sono le derivazioni **aVR**, **aVL** e **aVF** di Goldberger, dove la lettera "a" significa *augmented*, la "V" indica il voltaggio e l'ultima lettera indica quale arto viene esplorato. Per ottenere queste derivazione aumentate del 50% in ampiezza, Goldberger propose di disconnettere di volta in volta il cavo proveniente dall'arto esplorato dal TC (Figura 5.12).

Ciascuna derivazione bipolare può essere considerata la differenza, moltiplicata per il fattore di correzione 2/3, tra le due derivazioni unipolari degli arti dai quali viene derivata. La I derivazione standard sarà quindi uguale a 2/3(aVL - aVR), la seconda a 2/3(aVF - aVR) e la terza a 2/3(aVF - aVL).

### Determinazione dell'asse elettrico medio manifesto

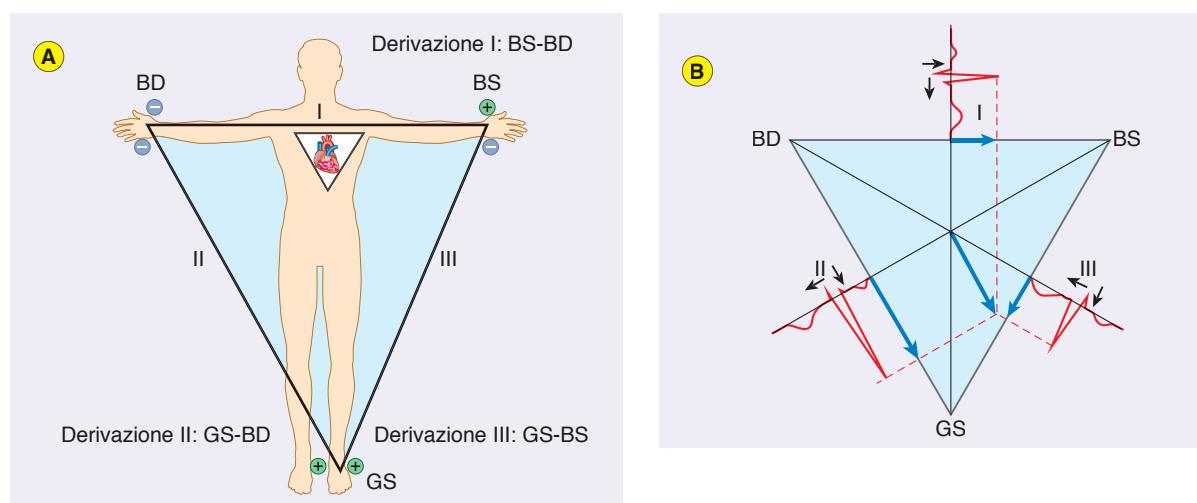
Nell'ECG l'asse elettrico sta ad indicare la direzione media del vettore elettrico nell'arco dell'intera durata della depolarizzazione o ripolarizzazione siano esse atriali o ventricolari. L'asse dell'onda P viene determinato raramente.

L'asse della depolarizzazione ventricolare, quindi *l'asse del QRS o asse elettrico medio manifesto*.

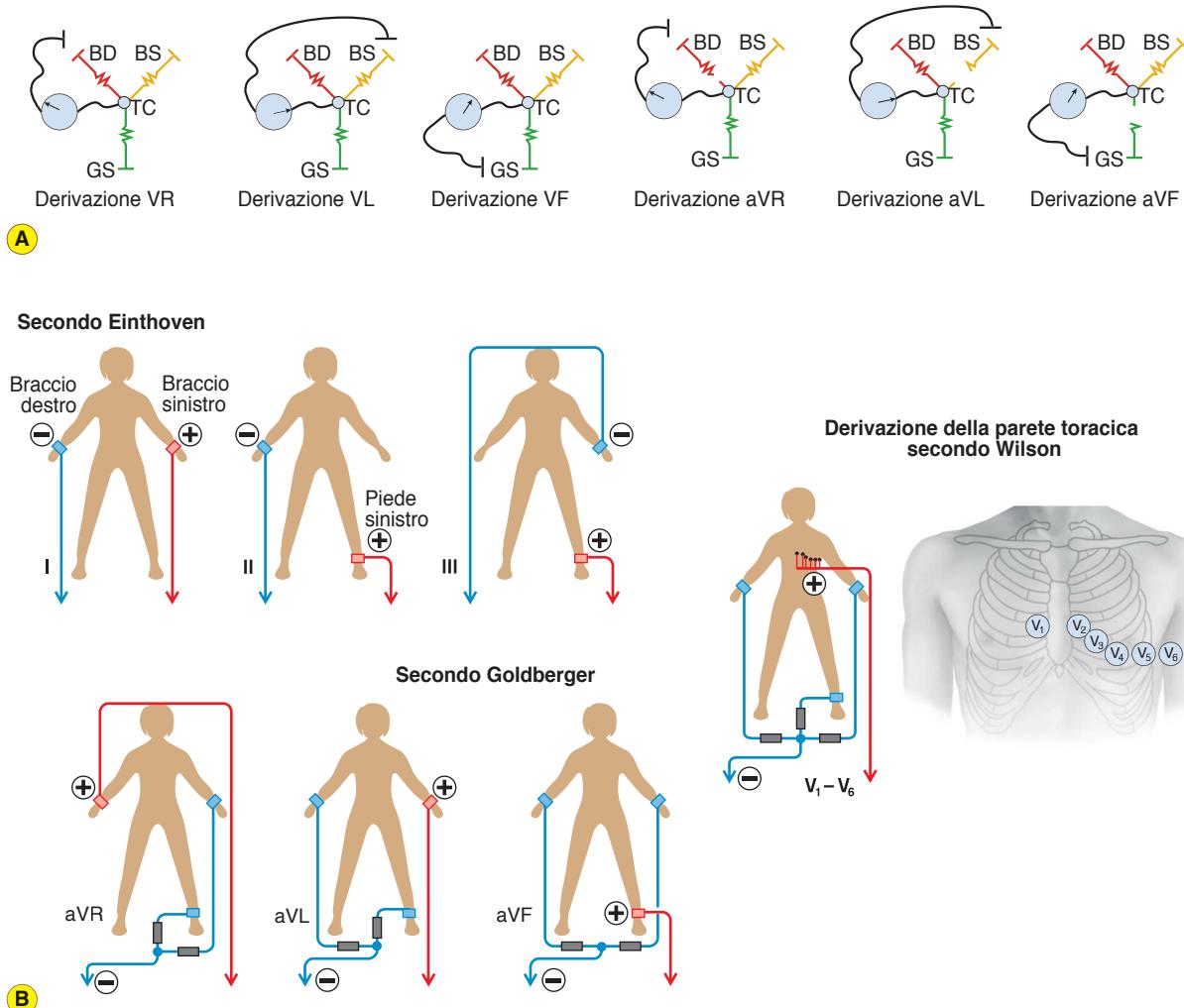
è determinato più frequentemente. Quando si fa riferimento in modo generico all'asse si intende proprio *l'asse del QRS*.

Proiettato sul piano frontale, il vettore risultante dell'attivazione ventricolare è detto *asse elettrico medio manifesto sul piano frontale*. Usando il triangolo di Einthoven è possibile determinare l'asse elettrico medio manifesto del cuore a partire dalle tre derivazioni bipolari come illustrato nella **Figura 5.11B**.

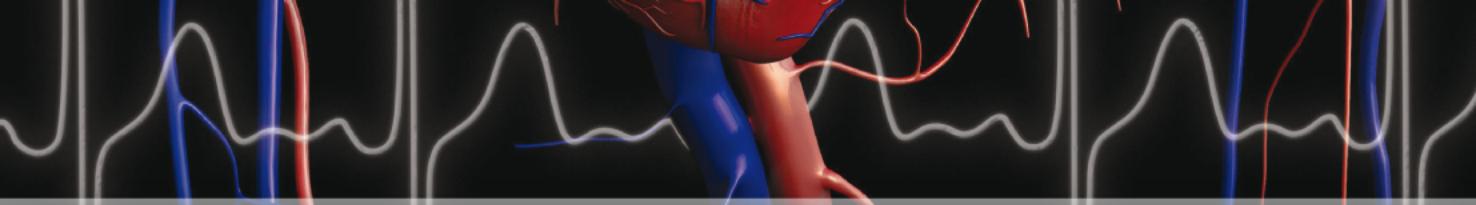
Traslando i lati del triangolo verso il centro è possibile ottenere un *sistema di riferimento triassiale* (**Figura 5.13**) che ci può permettere di attribuire agli assi una gradazione per poi descrivere la gradazione dell'asse elettrico medio manifesto del cuore.



**FIGURA 5.11. Triangolo di Einthoven.** **A:** Derivazioni bipolari degli arti (I, II e III derivazione) iscritte nel triangolo di Einthoven. BD: braccio destro; BS: braccio sinistro; GS: gamba sinistra. **B:** A partire dalle differenze di potenziale misurate durante la registrazione della R, proiettate sui rispettivi assi, si determina l'asse elettrico dell'onda R che in buona approssimazione corrisponde all'asse cardiaco. A rigore per riconoscere l'orientamento dell'asse elettrico cardiaco medio manifesto mediante il triangolo di Einthoven, si calcola l'ampiezza del vettore registrato su ciascuna derivazione facendo la sommatoria delle onde negative (q e s) e positiva (R). Il valore di questa sommatoria si riporta per ciascuna derivazione sul rispettivo lato del triangolo come una freccia con la punta rivolta verso l'elettrodo positivo per quella particolare derivazione. Queste frecce rappresentano la proiezione del vettore sull'asse di una derivazione. Si comprende come da esse si possa riconoscere l'orientamento del vettore tracciando delle perpendicolari dalle estremità delle frecce che si incroceranno su due punti (la coda e la punta del vettore).



**FIGURA 5.12. A: Derivazioni unipolari degli arti secondo Wilson (VR, VL e VF) e secondo Goldberger (aVR, aVL e aVF).** TC=terminale centrale. Le derivazioni di Wilson confrontano l'Ee (positivo) posto su uno dei tre arti o sul torace con un TC a potenziale zero. Il TC è ottenuto collegando i cavi provenienti dai tre elettrodi posti sui tre arti, ciascuno tramite una resistenza di 5000 Ohm. Il TC viene collegato al polo negativo dell'elettrocardiografo. Per ottenere le derivazioni aumentate alla Goldberg (aVR, aVL e aVF) si utilizza l'elettrodo di un arto come Ee e entrambi gli elettrodi degli altri arti come collegamento comune al TC (negativo), il quale viene quindi ad essere "privato" del collegamento dell'arto esplorato in quella determinata derivazione. **B: Rappresentazione schematica delle 12 derivazioni oggi in uso.** Le 6 derivazioni dagli arti sono tre bipolari di Einthoven e tre unipolari alla Goldberg. Le sei derivazioni precordiali sono alla Wilson. Vedi altre spiegazioni nel testo.



P. Pagliaro • C. Penna

# Fisiologia cardiovascolare

Accedi ai  
**contenuti digitali** ➤ Espandi le tue risorse ➤ con un libro che **non pesa** e si **adatta**  
alle dimensioni del tuo **lettore**



All'interno del volume il **codice personale** e le istruzioni per accedere ai **contenuti digitali**.  
L'accesso alle risorse digitali è **gratuito** ma limitato a **18 mesi dalla attivazione del servizio**.

