

Il pacchetto ECG

Ezio Aimé, Marco Scavino

Sommario

Nato dalla necessità di avere a disposizione uno strumento in grado di descrivere graficamente qualsiasi condizione elettrocardiografica, il pacchetto ECG qui presentato si propone come ausilio per la creazione di tracciati fittizi, in sostituzione di campioni reali non sempre disponibili nell'archivio di un cardiologo, caratterizzati da buona qualità grafica e uniformità di presentazione a fronte di un'origine elettronica e non umana. Il progetto è presentato in forma ancora molto primitiva in attesa di critiche e suggerimenti costruttivi che stimolino gli autori a perseverare nel loro intento.

Abstract

Developed as a tool to describe graphically any electrocardiographic condition, the ECG package here presented proposes itself as a support to create fictitious graphs which replace those real ones not always available in cardiologists' databases. Furthermore these graphs are characterised by a high graphic quality and a presentation uniformity since they are electronically generated instead, not the result of human inspection. The project is still in progress and is waiting for constructive criticism and useful advices which will spur the authors to reach their goal.

1 Introduzione

Benché la prima registrazione di un elettrocardiogramma (da ora abbreviato in ECG) di un cuore umano integro sia stata effettuata nel 1887 da Augusto Waller, utilizzando un elettrometro capillare a mercurio ed ottenendo una traccia rappresentata da due singole deviazioni distorte, la nascita della tecnica viene attribuita al danese Willem Einthoven che nel 1903 riuscì a migliorare le distorsioni date dall'elettrometro a mercurio introducendo l'uso di un galvanometro da lui stesso progettato. Per ottenere tale registrazione il paziente era invitato ad immergere gli arti in recipienti contenenti una soluzione salina (fig. 1). Da allora i metodi di registrazione si sono raffinati e, soprattutto, standardizzati permettendo di ottenere tracciati confrontabili:

- nel singolo individuo (ricerca di condizioni patologiche intermittenti o evolutive)
- tra vari soggetti (analisi statistica per identificare quadri di normalità o definire morfologie patologiche)

Il “tracciato ECG standard” è ottenuto dalla registrazione di 12 derivazioni di cui 6 agli arti (periferiche) e 6 toraciche (precordiali) ed è articolato in una successione di onde (P, PR, Q, R, S, ST, T) che rappresentano le varie fasi di attivazione elettrica del muscolo cardiaco. Nell'attività di medico-cardiologo si rende necessaria la conoscenza e la capacità interpretativa di tracciati ECG che rappresentano la prima forma di indagine alla quale sottoporre il paziente che si presenta in visita. Possiamo considerare tale esame come una sorta di prima fotografia del nostro paziente e solo con l'esperienza data dalla lettura di innumerevoli tracciati possiamo riconoscere, più o meno rapidamente, la presenza di anomalie che facciano sospettare una possibile situazione di rischio.



FIGURA 1: Metodo utilizzato da Willem Einthoven per registrare i primi ECG

Tale esperienza non va disgiunta dallo studio assiduo della letteratura specializzata in modo da visualizzare e memorizzare quante più possibili variabili (normali o patologiche) che ci permettono di aumentare il nostro bagaglio di conoscenze. In tal senso esistono una moltitudine di testi specializzati e la loro lettura ci consente di giudicare le capacità dei vari autori nel collezionare o reperire esempi esplicativi molto particolari. Talvolta accade che lo stesso tracciato ECG, per caratteristiche assolutamente peculiari, possa comparire in testi di autori diversi; altre volte vengono riprodotte immagini recuperate dal fondo di chissà quale cassetto ed agiustate alla meglio con programmi di fotoritocco;

innumerevoli volte le tracce sono distorte dalla presenza di artefatti di registrazione. Quello che più spesso si evidenzia è la mancanza di omogeneità nella presentazione delle immagini; notiamo quindi alternanza tra ECG in bianco e nero con ECG colorati, registrazioni su carta millimetrata rossa o verde o azzurra, presentazione di tracce a gruppi di 3 o di 6 o in singole strisciate. Proprio durante la stesura di uno di tali testi mi sono scontrato personalmente con la difficoltà di poter reperire alcuni esempi reali di particolare interesse; nell'occasione ho creato alcuni tracciati "ad hoc" servendomi del pacchetto TikZ. Essendomi ora impegnato nella produzione di una seconda edizione del testo ho pensato, con l'aiuto dell'amico e coautore Marco, di creare un file `archivio.tex` di forme predefinite (una sorta di alfabeto) da unire a piacere per poter creare qualsiasi tipo di nuovo tracciato (dalle lettere dell'alfabeto alle parole). È nato quindi questo pacchetto le cui funzionalità verranno mostrate di seguito.

Nel manuale che sarà allegato al pacchetto, e in parte anche nel presente articolo, abbiamo pensato di articolare il lavoro in una serie di tabelle nelle quali sono rappresentate tutte le varie morfologie d'onda raccolte nel file `archivio.tex` (P, intervalli PQ, Q, R, S, intervallo ST, T ed isoelettrica) che potranno essere utilizzate nella composizione di un tracciato ECG assolutamente personalizzato. Stiamo inoltre ampliando lo stesso `archivio.tex` con l'aggiunta di una serie di morfologie elettrocardiografiche complete (complesso P-QRS-T), tratte da situazioni reali, che potranno essere visualizzate nella loro forma tabulare ed utilizzate in scrittura a seconda dei gusti.

L'elenco che segue ci dà una prima indicazione su come è stata effettuata la codifica dei vari componenti di un complesso ECGrafico

1. p = onda P (di durata tra 60 e 120 ms)

- pp = P positiva
- pn = P negativa
- pd = P difasica
- pb = P bifasica

2. pr = intervallo PR espresso in ms

3. q = onda Q

- q21 - q23 = 20 ms da 1 a 3 mm
- q41 - q45 = 40 ms da 1 a 5 mm

4. r = onda R

- r41 - r45 = 40 ms da 1 a 5 mm
- r62 - r610 = 60 ms da 2 a 10 mm (step di 2 mm)
- r612 - r632 = 60 ms da 12 a 32 mm (step di 4 mm)

- r810 - r845 = 80 ms da 10 a 45 mm (step di 5 mm)

5. s = onda S

- s41 - s45 = 40 ms da 1 a 5 mm
- s62 - s610 = 60 ms da 2 a 10 mm (step di 2 mm)
- s612 - s632 = 60 ms da 12 a 32 mm (step di 4 mm)
- s810 - s845 = 80 ms da 10 a 45 mm (step di 5 mm)

6. st = tratto ST espresso in ms

- st+1 - st+10 = sopraslivellamento da 1 a 10 mm
- st-1 - st-10 = sottoslivellamento da 1 a 10 mm

7. t = onda T

- tp2 - tp10 = positiva da 2 a 10 mm
- tn2 - tp10 = negativa da 2 a 10 mm
- td2 - tp10 = difasica da 2 a 10 mm

8. isoelettrica espressa in ms

La codifica di complessi P-QRS-T completi è generata dall'elenco seguente (assolutamente provvisorio e aggiornabile):

1. prima lettera indicante la tipologia di tracciato ECG

- n = Normale
- e = Extrasistole
- b = Blocco di branca

2. seconda lettera di caratterizzazione del complesso

- n = Normale
- b = Bradicardico
- t = Tachicardico
- v = Ventricolare
- a = Aberrante

3. terza e quarta lettera indicanti la derivazione ECGrafica

- d1 - d3 = D1 - D3
- vr = aVR
- vl = aVL
- vf = aVF
- v1 - v6 = V1 - V6

TABELLA 1: Le 12 derivazioni ECGrafiche possono essere etichettate richiamando il relativo **codice** all'interno della definizione di ECG.

Derivazione	Cod. a	Cod. b	Grafica
D1	!{d1}	?d1	I
D2	!{d2}	?d2	II
D3	!{d3}	?d3	III
aVR	!{vr}	?vr	aVR
aVL	!{v1}	?v1	aVL
aVF	!{vf}	?vf	aVF
V1	!{v1}	?v1	V1
V2	!{v2}	?v2	V2
V3	!{v3}	?v3	V3
V4	!{v4}	?v4	V4
V5	!{v5}	?v5	V5
V6	!{v6}	?v6	V6

2 Onde ECG

Dopo aver dato uno sguardo d'insieme al materiale messo a disposizione del pacchetto ECG entriamo nel dettaglio del suo utilizzo attraverso una più approfondita definizione delle varie strutture presenti; seguirà quindi una breve serie di esempi pratici per terminare con la descrizione tecnica del codice e degli algoritmi che ne permettono il funzionamento.

2.1 Codifica delle derivazioni

Volendo iniziare a descrivere un tracciato ECG, per prima cosa potremo inserire l'etichetta della derivazione a cui si fa riferimento presa dalla tab. 1 e richiamandola con il comando `!{<nome>}` o tramite `? [x shift] <etichetta>`, dove *<etichetta>* sarà il testo che verrà stampato direttamente sul tracciato.

Con la prima opzione si ha la garanzia di uniformità e di standardizzazione delle etichette delle derivazioni mentre con la seconda viene reso possibile l'inserimento di eventuali sigle o testo non espressamente previsto dal database. Subito dopo sarà opportuno inserire un simbolo di taratura richiamato dalla lettera `T<cm>` dove *<cm>* indica i centimetri di altezza dell'onda di taratura (analogo risultato con il comando `!{tara}`).

2.2 Onda P

Veniamo ora alla descrizione delle varie parti di un complesso ECGrafico partendo con la definizione delle onde P

pp 02 80

Le due lettere iniziali indicano un'onda P positiva (con "pn" si indicherà una P negativa, con "pd"

una P difasica e con "pb" una P bifasica). Le prime due cifre del numero esprimono in mV l'altezza per le onde positive (1 mV–3 mV) o la profondità (per le onde negative) mentre le due/tre successive cifre indicano la durata in ms (rispettivamente di 60 ms, 80 ms e 100 ms).

Vengono riportate una serie di onde P positive, negative, bifide e difasiche in tab. 2, presenti nel database¹. Anche in questo caso le tabelle riportano il codice `!{<nome onda>}`, dove *<nome onda>* è il nome presente nel database dell'onda che interessa utilizzare.

2.3 Intervalli isoelettrici

I tratti di isoelettrica da interporre tra:

- onda P ed onda Q (intervallo PQ o PR)
- onda S ed onda T (intervallo ST)
- onda T ed onda P (tratto isoelettrico).

Tali intervalli possono essere espressi in millisecondi ed essere richiamati tramite la dicitura `i<misura>`, dove *<misura>* può essere un qualsiasi valore intero, che indica i millisecondi di durata dell'onda isoelettrica.

2.4 Complesso QRS

Onda Q

L'onda Q, che rappresenta la prima deflessione negativa del complesso QRS, può assumere valori di durata fisiologica (10 ms) o patologica (20 ms). Alcune morfologie relative a tale onda sono riportate nella tab. 3(a), accompagnate dal relativo codice di inserimento `q<ms><mm>`. La prima cifra *<ms>* indica le decine di millisecondi (ad esempio 2 indica 20 ms), ossia la durata dell'onda, mentre le successive *<mm>* sono i millimetri di altezza dell'onda.

Onda R

L'onda R, prima deflessione positiva del complesso QRS, viene definita con intervalli di durata che vanno da 30 a 50 ms. Un esempio di come comparire l'onda è riportato in tab. 3(b). In modo simile all'onda Q, il codice per ottenere l'onda R è `r<ms><mm>`, dove la cifra *<ms>* sono le decine di millisecondi e le successive *<mm>* l'altezza dell'onda in millimetri.

Onda S

L'onda S, seconda deflessione negativa del complesso QRS, alla pari delle onde R e Q, può essere richiamata tramite la dicitura `s<ms><mm>`. Si può osservare una serie di onde S riportate in tab. 3(c).

1. In futuro cercheremo di automatizzare anche questa tipologia di onda, più complessa da rappresentare.

TABELLA 2: Esempi di onde P di durata 100 ms.

(a) Positive (sigla pp, altezza 1 mV–3 mV).		(b) Negative (sigla pn, altezza 1 mV–3 mV).		(c) Bifide (pb) e difasiche (pd).	
Codice	Morfologia	Codice	Morfologia	Codice	Morfologia
<code>!{pp0199}</code>	^	<code>!{pn0199}</code>	∩	<code>!{pd1199}</code>	∩
<code>!{pp0299}</code>	^	<code>!{pn0299}</code>	∩	<code>!{pb2199}</code>	∩
<code>!{pp0399}</code>	^	<code>!{pn0399}</code>	∩	<code>!{pb1299}</code>	∩

TABELLA 3: Alcuni esempi di onde del complesso QRS.

(a) Onda Q		(b) Onda R		(c) Onda S	
Codice	Morfologia	Codice	Morfologia	Codice	Morfologia
<code>q21</code>	v	<code>r31</code>	^	<code>s31</code>	v
<code>q22</code>	v	<code>r32</code>	^	<code>s32</code>	v
<code>q23</code>	v	<code>r33</code>	^	<code>s33</code>	v

2.5 Onda T

L'onda T può essere positiva, negativa o difasica². Le onde sono ottenibili tramite la sigla `t` (*deviazione*) `{ms}` `{mV}`, dove (*deviazione*) è una lettera tra p, n o d (quest'ultima non ancora disponibile), `{ms}` è un argomento che indica le decine di millisecondi e `{mV}` rappresenta l'altezza in millivolt dell'onda T.

2.6 Complessi P-QRS-T

Questa tipologia di complessi (completi e tratti da ECG reali) viene fornita nel database ed è accessibile tramite la sigla `!{nome onda}`. Nella tab. 4 sono riportate alcune onde a titolo d'esempio.

TABELLA 4: Onde dei complessi P-QRS-T.

Codice	Morfologia
<code>!{nnd2}</code>	
<code>!{evvf}</code>	
<code>!{n2v3}</code>	
<code>!{wbv6}</code>	

2. Attualmente le forme difasiche non sono ancora state implementate e le attuali forme devono essere corrette per rendere al meglio l'aspetto asimmetrico delle stesse.

3 Esempi pratici

Costruiamo un ECG

Volendo costruire *ex novo* un tracciato elettrocardiografico dovremo posizionare in sequenza le diverse onde ed intervalli che lo costituiscono³ antepo-
nendo al tutto il richiamo di un codice di etichetta e del codice di taratura ed ottenendo la fig 2.

```

1\begin{figure}
2\begin{ecg}
3\ECG{?v1, T1, !{pp0160}, i20, q21,
4r48, s31, i20, tp44, i400}
5\end{ecg}
6\caption{Un primo complesso P-QRS-T.}
7\end{figure}

```



FIGURA 2: Un primo complesso P-QRS-T.

È possibile replicare il codice tramite l'opportuna chiave `*` che prende due argomenti. Il primo è il numero di repliche del tratto interessato, mentre il secondo è la sequenza di onde del tratto che interessa replicare.

```

1\ECG{?v1, T1, *{3}{!{pp0160}, i20,
2q21, r48, s31, i20, tp44, i400}}

```

Lo sfondo millimetrato si adatta automaticamente alle dimensioni del tracciato (vedere fig. 3).

Vediamo un altro esempio (fig. 4) generato dal seguente codice:

3. Nella versione attuale non è ancora inserita la definizione dell'onda U.



FIGURA 3: Un esempio del medesimo complesso ripetuto tre volte.

```

1\begin{ecg}
2\ECG{i40, !{pp0260}, i100, q22, r416,
3s42, tp48, i200, i20, !{pp0260}, i140,
4q22, r416, s42, tp48, i160, i60,
5!{pp0260}, i200, q22, r416, s42, tp48,
6i100}
7\end{ecg}

```

dove si nota un progressivo allungamento dell'intervallo PR; il lettore potrà esercitarsi a continuare la costruzione sino ad ottenere un episodio di BAV di II grado tipo Luciani-Wenchebach.

4 Codice

Il pacchetto per creare elettrocardiogrammi è basato principalmente sulle funzionalità fornite dal pacchetto TikZ e del progetto L^AT_EX3. Il primo viene impiegato per disegnare i tracciati, mentre il secondo fornisce gli strumenti per una corretta gestione delle sigle associate ai vari tracciati, in modo che vengano riconosciute e l'onda richiesta sia stampata nelle dimensioni specificate.

4.1 Il comando \ECG

Cuore del pacchetto è il comando `\ECG`. Esso accetta come argomento una lista di onde ECG, disegnate poi nell'ordine in cui sono richiamate. Ogni singola onda può essere disegnata direttamente inserendo l'opportuna sigla che la contraddistingue, oppure attingendo all'`archivio.tex` con la scrittura `!{nome onda}`, che permette di disegnare il complesso presente nel database.

```

1\ECG[ opzioni TikZ ] { lista di onde }

```

Il comando si appoggia internamente sulla macro `\sk_ECG:nn`, che prende due argomenti. Il primo rappresenta le opzioni di TikZ, che verrà passato poi come opzione del comando `\draw`, mentre il secondo è una lista formata dalle sigle delle onde. Tale lista viene suddivisa rispetto alla virgola grazie a una *sequence* e ogni singolo elemento della lista viene passato al comando `\sk_ECG_use:w` per essere interpretato.

Il comando `\sk_ECG_use:w` prende quattro argomenti.

```

1\DeclareDocumentCommand \sk_ECG_use:w
2{
3 \tl_set:Nn \sk_ECG_onda_tl

```

```

4 { \draw[thick,rounded ~ corners=0.25
5 mm,line ~ cap=round, shift=(
6 sk_end),#4,#1] }
7 \str_case:nn { #2 }
8 {
9 { ! } { \tl_put_right:Nx \
10 sk_ECG_onda_tl { \
11 cs_if_exist_use:cF { sk_ECG_ #3
12 } { ; } } }
13 { ? } { \sk_ECG_onda_label:nw #3 \
14 q_nil }
15 { i } { \sk_ECG_onda_iso:w #3 \
16 q_nil }
17 { p } { \sk_ECG_onda_p:nnnw #3 \
18 q_nil }
19 { q } { \sk_ECG_onda_q:nw #3 \q_nil
20 }
21 { r } { \sk_ECG_onda_r:nw #3 \q_nil
22 }
23 { s } { \sk_ECG_onda_s:nw #3 \q_nil
24 }
25 { t } { \sk_ECG_onda_t:nw #3 \q_nil
26 }
27 { T } { \tl_put_right:Nx \
28 sk_ECG_onda_tl { (0,0) -- (1mm
29 ,0) -- (.1,1) -- (.5,1) --
30 (.5,0) -- (1,0) } }
31 { * } { \sk_ECG_onda_ripeti:nw #3 \
32 q_nil { #4 } }
33 }
34 \tl_put_right:Nn \sk_ECG_onda_tl {
35 coordinate (sk_end) {} ; }
36 \sk_ECG_onda_tl
37 \bool_if:NT \sk_ECG_start_bool { \
38 bool_set_false:N \
39 sk_ECG_start_bool }
40 }

```

Di seguito sono illustrati nel dettaglio i vari argomenti.

1. Il primo argomento e il quarto sono rispettivamente le opzioni per la singola onda o l'intero tracciato. Vengono passati al comando `\draw`, che è salvato dentro alla *token list* `\sk_ECG_onda_tl`. In tal modo è possibile assegnare opzioni all'intero tracciato o al singolo complesso (per esempio colorare un'onda per evidenziarla).
2. Il secondo argomento rappresenta la prima lettera della sigla, che sarà interpretata per ottenere l'onda corretta o per accedere ad alcune funzionalità. Per ottenere ciò, si sfrutta il comando `\str_case:nn` che premette di confrontare tale argomento con una serie di



FIGURA 4: Un esempio di progressivo allungamento dell'intervallo PR tipico del blocco atrio-ventricolare di II grado tipo Möbitz 1.

valori, utilizzando poi il codice nel caso in cui l'argomento coincida.

Attualmente sono disponibili le chiavi

- ? [*x shift*](*etichetta*), che permette di stampare nel tracciato l'(*etichetta*) il cui testo è l'argomento evocando il comando. Può essere spostata del valore opzionale *x shift*.
 - !(*nome onda*), con cui si può accedere all'onda definita con *nome onda* tramite il comando `\nuovoECG`;
 - le lettere *q*, *r*, *s* e *t* permettono di disegnare le rispettive onde (anche la lettera *p* è disponibile, ma deve essere ancora ottimizzata);
 - il simbolo * {(*numero ripetizioni*)} {*lista picchi*} permette di replicare la *lista picchi* tante volte quante indicate in *numero ripetizioni*.
 - La lettera *i*(*millisecondi*), per disegnare una onda isoelettrica di durata (in millisecondi) pari al valore *millisecondi*.
 - La lettera *T*(*altezza picco*) permette di inserire un'onda di taratura di altezza *altezza picco* centimetri.
3. Il terzo argomento è delimitato dal comando `\q_nil` e raccoglie i valori di durata delle onde e la loro altezza passandoli alle varie macro selezionate dal secondo argomento. Ciascuna macro gestisce poi internamente in maniera opportuna i propri parametri: alcune, per esempio, cercano un'ulteriore lettera per distinguere tra casi di onde con morfologie diverse. Un esempio è l'onda *p* che accetta ulteriormente una lettera *n* (onda negativa), *p* (onda positiva) e *d* per onde difasiche e *b* per onde bifide.

4.2 L'ambiente `ecg`

Il comando `\ECG` può essere impiegato dentro a un opportuno ambiente `ecg`, che, oltre a permettere di disegnare più tracciati consecutivi uno sotto l'altro, vi colloca dietro una griglia millimetrata, le cui dimensioni sono automaticamente determinate dalla larghezza dei tracciati.

Questo è reso possibile sfruttando due funzionalità del pacchetto `TikZ`: il nodo speciale `current bounding box` e il livello `sk@back` definito tramite il comando `\pgfdeclarelayer` e posto dietro al livello principale impostando la lista `\pgfsetlayers{sk@back,main}`.

È quindi possibile andare a disegnare la griglia millimetrata ponendo i comandi all'interno dell'ambiente `pgfonlayer`. Si definiscono quindi le due coordinate `grid_start` e `grid_stop`, che dipendono dall'attuale `bounding box` dei tracciati. Tali coordinate sono spostate rispetto ai valori impostati con le chiavi apposite `grid bottom`.

```

1\begin{pgfonlayer}{sk@back}
2 \coordinate(grid_start) at ([xshift
   =-\sk_ECG_gridlf_tl, yshift=-\
   sk_ECG_gridbt_tl] current ~
   bounding ~ box.south ~ west);
3 \coordinate(grid_stop) at ([xshift=\
   sk_ECG_gridrg_tl, yshift=\
   sk_ECG_gridtp_tl] current ~
   bounding ~ box.north ~ east);
4 \draw[color=red!10,step=0.1cm,very ~
   thin] (grid_start) grid (
   grid_stop);
5 \draw [color=red!25,step=.5cm](
   grid_start)grid(grid_stop);
6\end{pgfonlayer}

```

All'interno di tale ambiente il comando acquisisce un ulteriore argomento facoltativo tra parentesi tonde, che permette all'utente di decidere la posizione del tracciato.

```

1\begin{ecg}
2\ECG [ opzioni TikZ ] ( posizione ) {
   lista di onde }
3\end{ecg}

```

Tutti i complessi ECG del database sono definiti nel file `archivio.tex`, caricato automaticamente dal pacchetto. Il database è liberamente ampliabile, utilizzando l'apposito comando `\newECG`, che prende due argomenti: il primo rappresenta la sigla dell'onda che si sta creando e che servirà per poterla richiamare successivamente all'interno del comando `\ECG`, mentre il secondo argomento, rappresentato dalle coordinate `TikZ`, verrà poi impiegato per disegnare la forma d'onda. Tale disegno deve necessariamente partire dalla coordinata (0,0).

5 Conclusioni

Il pacchetto **ECG** nasce con l'intenzione di fornire una base di supporto per la creazione di tracciati elettrocardiografici tramite un'interfaccia semplice, che permetta di disegnare facilmente le varie tipologie di onde tipiche di questi tracciati. È un progetto ancora allo stadio embrionale, ma i suoi autori

si impegneranno per svilupparlo, implementando nuove tipologie di onde e nuove funzionalità.

- ▷ Ezio Aimé
ezio dot aime at fastwebnet dot it
- ▷ Marco Scavino
scavino dot marco93 at gmail dot com